

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



LAS ALTERACIONES AMBIENTALES EN SISTEMAS NATURALES

PROVOCADAS POR LA MINERÍA METÁLICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. JAVIER ALDO AGUILAR NARVAEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL

INGENIERO DE MINAS

PUNO, PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres Fausto Aguilar Escenarro y

Elsa Catalina Narvaez;

A mis hermanos, a mis sobrinos y demás familiares cercanos.

A todos Ustedes es una satisfacción y

un privilegio dedicarles con alegría y entusiasmo personal,

profesional y también intelectual, la gran cantidad de horas invertidas

en este trabajo de investigación, que no es más que la evidencia mi amor y

cariño y respeto hacia Ustedes.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres por darme la vida, por los valores y fuerzas para afrontar el día a día siempre dispuestos a escucharme y darme su apoyo incondicional, y también por el sacrificio que hicieron para que culmine la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica – profesional y que siempre estuvieron dispuestos a responder mis inquietudes y aclarar mis dudas, impartiendo conocimientos y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater que me tuvo en sus albores durante mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que eh adquirido y que me servirá en mi desenvolvimiento profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	10
LA INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS Y SU INCIDENCIA EN LOS SISTEMAS NATURALES.....	11
Las etapas de investigación y su incidencia en la naturaleza.....	11
A. Pre – exploración (operaciones estratégicas).....	11
B. Exploración (operaciones tácticas y puntuales).....	11
C. Evaluación del yacimiento.....	11
LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS CON INCIDENCIA SOBRE LOS SISTEMAS NATURALES.....	11
1. Trabajos tácticos de geoquímica y geofísica.....	11
2. Excavación de calicatas de reconocimiento y muestreo.	11
3. Campañas de sondeos.	12
LAS ALTERACIONES PROVOCADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN	12
Las Rozas de vegetación.....	12
Las calicatas.	12
Sondeos.....	12
Impactos producidos por el emplazamiento y asistencia al sondeo.	12
Impactos producidos por la ejecución de las perforaciones.	12
IMPACTOS SIGNIFICATIVOS	13
EL PROCESO DE EXPLOTACIÓN MINERA.....	13
El proceso de explotación.....	13
Infraestructura.....	13
Las labores de explotación.	14
Plantas de tratamiento.....	15
Botaderos.....	15

Presas de relave y de residuo.....	15
LAS ALTERACIONES AMBIENTALES EN LOS SISTEMAS NATURALES DURANTE EL CICLO DE EXPLOTACIÓN Y EL CIERRE O ABANDONO POSTERIOR.....	16
El agua.....	16
Deformación de acuíferos.....	17
Alteraciones de cauces y de la escorrentía superficial.....	17
Alteración de caudales.....	17
Contaminación del agua.....	17
El suelo.....	20
Ocupación y destrucción del suelo.....	20
Contaminación del suelo.....	20
Acidificación del suelo.....	20
El aire.....	20
El polvo.....	21
Los gases y vapores.....	21
El ruido.....	21
El equilibrio geodinámico.....	21
La vegetación y la fauna.....	22
Las alteraciones directas en la vegetación y la fauna.....	22
Las alteraciones indirectas de la vegetación y la fauna.....	22
El paisaje.....	23
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
IV. CONCLUSIONES.....	30
REFERENCIAS.....	31

TEMA: Medio ambiente.

AREA: Ingeniería de Minas.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de noviembre de 2019

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos directos e indirectos derivados de la creación de un botadero.....	26
Tabla 2. Alteraciones en la atmósfera.....	26
Tabla 3. Alteraciones sobre el agua superficial.....	27
Tabla 4. Alteraciones de los suelos.....	28
Tabla 5. Alteraciones sobre la flora y fauna.....	28
Tabla 6. Alteraciones en los procesos geofísicos.....	29
Tabla 7. Alteraciones de la morfología y del paisaje.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Alteraciones ambientales producidas por la minería	25
--	----

ALTERACIONES AMBIENTALES EN SISTEMAS NATURALES PROVOCADAS POR LA MINERIA METALICA

ENVIRONMENTAL ALTERATIONS IN NATURAL SYSTEMS CAUSED BY THE METALLIC MINING

Bach. Javier Aldo Aguilar Narvaez

Universidad Nacional del Altiplano

Facultad de Ingeniería de Minas

Dirección: Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria

Correo electrónico: ing.narvaez.min@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo es un artículo de revisión realizado en Puno – Perú en el mes de noviembre de 2019 el cual está basado en las actividades mineras subterránea y superficial que causan alteraciones irreversibles en la naturaleza, ocasionando impactos ambientales de suma importancia. El *objetivo* de la presente investigación es la localización de las alteraciones en el sistema natural en cada una de las actividades mineras y determinar cuáles son los impactos más graves causados por la minería. Y para éste contexto se realizó un estudio bibliométrico en el que se seleccionó diversos artículos, revistas, libros digitales, tesis, guías y manuales usando buscadores como el Google y buscadores especializados y de fuentes confiables obteniendo *resultados* de alteraciones importantes y poco importantes; así mismo se *concluye* con existencia de impactos más graves en la alteración de la circulación natural del agua, la contaminación del agua, la degradación de la vegetación y la profunda alteración del paisaje.

Palabras clave: Impacto ambiental, contaminación, ecosistema, modificación ambiental.

ABSTRACT

This work is a review article carried out in Puno - Peru in the month of November 2019 which is based on the underground and surface mining activities that cause irreversible alterations in nature, causing major environmental impacts. The objective of the present investigation is the location of the alterations in the natural system in each one of the mining activities and to determine which are the most serious impacts caused by mining. And for this context, a bibliometric study was carried out in which several articles, magazines, digital books, theses, guides and manuals were selected using search engines such as Google and specialized search engines and from reliable sources, obtaining results of important and unimportant alterations; It also concludes with the existence of more serious impacts on the alteration of the natural circulation of water, water pollution, degradation of vegetation and the profound alteration of the landscape.

Keywords: Environmental impact, pollution, ecosystem, environmental modification.

I. INTRODUCCIÓN

Hay una diferencia entre “*alteración ambiental*” e “*impacto ambiental*”. El primer concepto describe el proceso desencadenado por las actividades humanas (ejemplos son: la erosión de los suelos, la realización de carreteras, o excavaciones, el vertido de contaminantes, construcción de infraestructuras o instalaciones, etc.); en cambio el *impacto ambiental* es el cambio neto resultante de una alteración ambiental, con repercusión natural en el ecosistema. El impacto ambiental es entonces, la variación de la calidad del medio ambiente entre una situación inicial y una situación final modificada por las acciones humanas. (IGME, 1991).

Para *el antecedente* después de realizar una búsqueda y análisis exhaustivo sobre el tema que abordo, puedo constatar que se trata de un tema al que no se le ha diferenciado en demasía con la definición de “*impacto ambiental*” el cual fue muy poco tratada. Prueba de ello es que la mayor parte de la información, lo recabe del Instituto Tecnológico GeoMinero de España compilados en tres libros y un artículo de Pagés Valcarlos y entre otros del que doy parte en ésta investigación.

El estado de arte de las alteraciones ambientales en sistemas naturales provocadas por la minería metálica, se presenta como producto

de la revisión de literatura mediante un artículo científico de reseña. Dentro del texto encontramos 18 citas; la información está recabada en el periodo de tiempo entre 1988 y 2018. Mostramos algunas citas:

- (aduvire O., 2018) expresa que los drenajes de mina por el contenido que tienen, degradan la calidad de los ecosistemas acuáticos.
- (Sanga-Ccama, 2017) menciona a todas las instalaciones y operaciones que se realiza para un sondeo.
- (Servicio Geológico Minero, 2017) mencionan las etapas de investigación de un yacimiento definiendo a su vez la exploración.
- (Sanchez, E., & Ortiz, L., 2016) explica los impactos ambientales en las fases de explotación minera superficial como devastadores.
- (Rumbo Minero, 2014) explica el proceso de la minería a tajo abierto paso a paso.
- (Pagés-Vilcarlos, 1993) menciona las alteraciones ambientales en la minería y luego selecciona las más resaltantes.
- (Oyarzún et al, 2011) explica las alteraciones y los impactos ambientales en la minería en general.

La investigación *contribuye* en la Identificación de los impactos más graves causados por la minería metálica a través de

desglosamiento de todas las alteraciones del sistema natural.

El *Propósito del artículo*, se propone explicar las operaciones en la etapa de investigación de yacimientos, en el proceso de explotación subterránea y superficial, y el proceso en las plantas de tratamiento; seguidamente, mediante la revisión, identificar las alteraciones ambientales en las diferentes etapas mencionadas.

El objetivo de esta investigación es identificar los impactos más graves causados por la minería.

LA INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS Y SU INCIDENCIA EN LOS SISTEMAS NATURALES

Las etapas de investigación y su incidencia en la naturaleza.

A. Pre – exploración (operaciones estratégicas).

Según Pagés (1993), en esta etapa se pretende detectar anomalías provocadas por la presencia de una mineralización oculta.

B. Exploración (operaciones tácticas y puntuales).

Ya establecidas las posibilidades de un yacimiento, según El Servicio Geológico Mexicano (2017) explica que se pasa al estudio sobre el terreno utilizando técnicas de

prospección minera los cuales son: La recopilación de información, teledetección, geología, geoquímica, geofísica, calicatas o zanjas, perforación e interpretación de resultados.

C. Evaluación del yacimiento.

Detectada el yacimiento mineral que permita llegar a ser explotada pueda que si la exploración finalice sin éxito, habrá que considerar la necesidad de reparar los impactos ocasionados, lo que a veces queda olvidado (Oyarzún et al., 2011).

LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS CON INCIDENCIA SOBRE LOS SISTEMAS NATURALES

1. Trabajos tácticos de geoquímica y geofísica.

Se ejecuta una toma de muestras u observaciones en estaciones situadas sobre una malla con pauta de decenas de metros. Estas mallas se materializan en el campo como perfiles, siendo necesario frecuentemente, rozar para eliminar la vegetación (matorral-arbusto) sobre los perfiles. Las rozas tienen anchuras de 60-80 cm. y longitudes variadas, que pueden alcanzar los 1.000 metros de longitud (Pagés, 1993).

2. Excavación de calicatas de reconocimiento y muestreo.

Estas zanjas se realizan con palas retroexcavadoras, abriéndose normalmente

con anchuras de 80 a 100 cm. y profundidades de 1 a 3 metros. Las longitudes que alcanzan y el número de zanjas que se realizan varían en función de múltiples factores (Pagés 1993).

3. Campañas de sondeos.

La ejecución de un sondeo implica colocar una sonda en un punto determinado del campo, para esto es necesario realizar una pista de acceso hasta ese punto y un emplazamiento (del orden de 100 hasta 1.000 m²) allanando el terreno para la máquina y su servicio durante el trabajo (Pagés, 1993).

LAS ALTERACIONES PROVOCADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN

Las Rozas de vegetación¹.

En la etapa de prospección (geofísica, geoquímica, etcétera), la destrucción de la vegetación no representa un alto interés ecológico (...), son impactos temporales y reversibles (Pagés, 1993). Así mismo Oyarzún et al. (2011), expresa que (...) tienen un escaso impacto sobre el medio, puesto que suelen hacerse sin apenas uso de maquinaria pesada, y sin modificar el entorno ni favorecer la contaminación del mismo.

Las calicatas.

supone una destrucción del sistema Roca – Suelo – Agua (del suelo y gravífica) – vegetación. Éstas representan una trampa para los pequeños vertebrados permaneciendo abiertas en poco tiempo, aunque éstas normalmente sean tapadas después de su estudio y muestreo. “Puede llegarse a producir un impacto de magnitud moderada” (Pages, 1993).

Sondeos.

Impactos producidos por el emplazamiento y asistencia al sondeo.

Según Sanga-Ccama (2017) En una tesis de investigación en la minera Las Bambas, e perforan plataformas para cada taladro, (...) se prepara la poza de sedimentación, los contenedores para almacenar agua para la perforación, contenedor para la mezcla del fluido de perforación (...),ubicación para los caballetes para almacenar y otro para operar la tubería de perforación, la caseta para el personal y otro para el almacenaje temporal de los aditivos de perforación y el área para la luminaria, los contenedores de residuos y el baño químico(...).

Impactos producidos por la ejecución de las perforaciones.

En los diferentes métodos de perforación generalmente se usan lodos de perforación que son a base de mineral Bentonita, generalmente

¹ Según Wikipedia: La roza es un tipo de trabajo agrario. Consiste en la eliminación de la parte aérea de la vegetación, quedando la raíz de la planta. Se trata de rozar

la tierra, penetrando en ella unos pocos centímetros y dejando esa pequeña capa de tierra más suelta y aireada, pero sin levantarlo en exceso.

sódica. Las ventajas de este mineral son múltiples: posee una granulometría muy fina (arcillosa) lo que lo hace apto para revestimiento de paredes del pozo, dándole firmeza a las mismas. Actúa como refrigerante de la sarta y el tricono o broca, es reutilizable, no es contaminante por su composición arcillosa (montmorillonita) y es de fácil preparación (Delgado et al, 2006).

Para formar el lodo se añade aditivos y reactivos del fluido de perforación según su necesidad los cuales son: viscosificantes (Bentonita, atapulguita, asbestos, polímeros), materiales densificantes (barita, óxido de hierro, galena, carbonato de calcio, sales disueltas), reactivos reductores de viscosidad (fosfatos, tanatos, lignitos, lignosulfonatos, poliacrilatos de sodio), reductores de pérdida de agua (bentonita, almidón, CMC, drispac, poliacrilato de sodio, dispersantes), emulsificantes (emulsiones de aceite en agua, lignitos, emulsificante tipo jabón, emulsiones agua de aceite), materiales para el control de la pérdida de circulación (materiales fibrosos, cascara de nuez, recorte de celofán, combinación de materiales fibrosos, diésel M. materiales diversos para pérdida de circulación), y aditivos especiales como floculantes, agentes para control de corrosión, desespumantes, sosa caustica. (Benitez, s.f.).

Los riesgos que se corren suceden cuando el sondeo atraviesa acuíferos los cuales pueden

provocar pérdidas de lodos al comunicarse entre acuíferos pudiendo generar problemas de contaminación (Pagés, 1993).

Así mismo Pagés (1993) indica que “hay que tener en consideración que el motor de la sonda constituye una fuente puntual y continua de contaminación acústica y atmosférica”.

IMPACTOS SIGNIFICATIVOS

Cuanto más avanzada es la fase de investigación, mayores son los impactos por la concentración espacial de los trabajos y su prolongación temporal. Sin duda los elementos del sistema natural más afectados son el suelo a causa del pisoteo permanente que también corren los riesgos de derrame de lodos de perforación que afecta o contamina la vegetación, el agua subterránea y superficial y el paisaje.

EL PROCESO DE EXPLOTACIÓN MINERA

El proceso de explotación

Infraestructura

Es el yacimiento minero, así como los equipos, infraestructuras, instalaciones, complejo metalúrgico, excavaciones superficiales o subterráneas, refinerías y espacios necesarios para el desarrollo de las actividades mineras de explotación, transporte interno, beneficio, disposición de relaves y desmontes, almacenamiento y transporte del recurso mineral

metálico o no metálico de una unidad minera, así como los servicios e instalaciones auxiliares. Según El MEM (2014) Se clasifican en:

1. *Principales.* - Tales como: tajo, labor subterránea, pad de lixiviación y depósito de relaves con sus instalaciones conexas, la planta de procesamiento y los almacenes de concentrados de minerales en zona portuaria, depósito de desmonte, sistema(s) de transporte de relaves, canteras de piedra, entre otros.
2. *Auxiliares.* - Son considerados como tales: ductos (mineroductos y acueductos), campamentos, almacenes, polvorines, grifos, canales de coronación, carreteras o trochas, líneas de transmisión eléctrica.

Las labores de explotación.

Normalmente, se distinguen dos grandes grupos de métodos: de superficie, o a cielo abierto, y de interior, o subterráneos. Es pues, la ubicación de las labores principales el criterio básico de clasificación, pero existen algunos métodos que por el citado criterio podrían denominarse mixtos o combinados (I.T.G.E., 1988).

A. Las labores subterráneas.

Haciendo una síntesis de lo que expresa Pagés (como se citó en De la Cuadra Irizar et al. 1970), en la explotación minera para acceder al

mineral con labores que penetran en el terreno a través de distintos tipos de obra: pozos, rampas, socavones, etcétera, necesitándose además de otras obras de ventilación, generalmente pozos (...).

En cuanto a los métodos de explotación se refiere, estos se suelen clasificar en tres fundamentales Pagés (como se citó en Ramirez et al., 1970) en función de la forma de actuar frente al hueco que se produce al arrancar el mineral:

- *Cámaras y Pilares.*
- *Explotación con Relleno.*
- *Explotación por Hundimiento.*

B. Labores a cielo abierto.

Rajo o tajo.

La extracción, en cada nivel, se realiza en un banco con uno o varios tajos. Debe existir un desfase entre bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo mínimas para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad. Las pistas de transporte se adaptan a los taludes finales, o en actividad, permitiendo el acceso a diferentes cotas (I.T.G.E., 1988). La extracción empieza con la perforación y voladura de la roca, procesos que separan los bloques de roca concreta en pedazos más pequeños, los cuales se cargan en camiones con grandes palas eléctricas o hidráulicas, o con excavadoras, para ser retirados

y clasificados en camiones de gran tonelaje (Rumbo Minero, 2014).

Los placeres.

El laboreo de los placeres, es un caso mas de explotaciones a cielo abierto. Este tipo de yacimiento detríticos se sitúa generalmente de niveles de arenas y gravas de aluviones y terrazas fluviales, por lo que la problemática de estos yacimientos es similar a la de explotaciones de graveras Pagés (como se citó en Smirnov, 1982).

Plantas de tratamiento

Trituración y molienda.

Se consigue con estas acciones (Pages, 1993) la liberación de los granos de la especie mineral deseada. El mineral en bruto es sometido a un proceso progresivo de trituración y cribado, al final del cual pueden obtenerse tamaños inferiores a 1mm. Se hace pasar al mineral a través de una cadena de elementos compuesta de machacadoras, vibro tamices, cribas, molinos (de bolas, de barras, etc.) encontrándose dividido a la salida en tres tipos de partículas, estériles, mineral y mixtos.

Concentración.

El mineral liberado es concentrado por diversos procedimientos, que se apoyan en propiedades físicas o químicas del mismo. Así, se emplea concentración por gravedad en el caso de los minerales pesados, separaciones magnéticas, flotación lixiviación, etc. Pagés (como citó en Sanz-Contreras, 1992).

En la concentración por flotación es necesario el empleo de diversos reactivos como son: ácidos, bases, derivados del petróleo, ácidos orgánicos, etc. Los estériles secos del proceso de tratamiento son acumulados en escombreras de finos o balsas, dependiendo de su tamaño de grano. Normalmente en la minería metálica, se trabaja con procesos de vía húmeda lo que da origen a unos lodos que son acumulados en balsas y presas de residuos. Se obtienen también unos efluentes de características físico químicas diversas. Pagés (como citó en Sanz-Contreras, 1992).

Botaderos.

La llamada roca “estéril” en la minería a cielo abierto y subterráneo de sulfuros de metales de base (p.ej., Cu, Pb, Zn) genera grandes volúmenes de roca consideradas como estériles, que, en muchas ocasiones, son rocas con leyes sub - económicas, esto es, se trata de rocas mineralizadas. Estos materiales serán volados, extraídos de la mina, pero no enviados a flotación. Sin embargo, contienen sulfuros, en particular pirita, con lo cual volvemos al problema del potencial para la generación de drenaje ácido. Así las “botaderos de estériles” pueden constituir un problema de facto mayor incluso que el de las presas de relaves (Oyarzún et al., 2011).

Presas de relave y de residuo.

Pagés Valcarlos (1993) menciona que tradicionalmente, las presas de relave y presas de

residuos han construido próximas a las plantas de tratamiento en zonas de condiciones topográficas favorables. Para su ubicación se tienen en cuenta las condiciones de la red de drenaje, permeabilidad del vaso, acuíferos, precipitaciones, evaporación, etc.

Características de los lodos.

Los materiales estériles que forman las escombreras según el IGME (1989), son de litologías distintas y granulometrías variables, por lo que de entrada plantean problemas físicos, e incluso químicos, para la implantación de la vegetación. Por lo general, predominan los estériles en forma de fragmentos gruesos con una distribución espacial distinta dentro de los depósitos, como consecuencia de la segregación que sufren las partículas al ser depositadas dentro de los botaderos. Además de la granulometría, otras propiedades físicas que deben considerarse son la densidad, la porosidad y la permeabilidad. Entre las propiedades químicas las más importantes, de cara a la revegetación, son el contenido en metales tóxicos, el contenido en nutrientes, la salinidad, etc.

Características de los efluentes.

La naturaleza líquida de los relaves no puede ser considerada separadamente de las características químicas del efluente líquido asociado a la planta. El diseño de los depósitos de relave no solamente es influenciado por la naturaleza de los sólidos, sino también de los

efluentes; dado que el grado de conservadurismo empleado en el diseño de los depósitos de relaves, depende del riesgo que significa la deposición de los materiales, se requiere un conocimiento general de los constituyentes químicos del efluente de la planta. Pagés Valcarlos indica que Las reacciones de oxidación y las precipitaciones que ocurren en las presas suelen disminuir las concentraciones de sustancias nocivas pero algunos aniones como sulfatos nitratos y cloruros no son controlados.

LAS ALTERACIONES AMBIENTALES EN LOS SISTEMAS NATURALES DURANTE EL CICLO DE EXPLOTACIÓN Y EL CIERRE O ABANDONO POSTERIOR

El agua

Los cambios en los acuíferos locales, por acción directa de la minería son muy notorios. Por acción del bombeo y desagüe de minas, se producen variaciones de los niveles freáticos, y cambios localizados en el caudal de los manantiales y en la dirección del flujo; mientras que por acción de la lixiviación de sulfuros se producen alteraciones en la calidad del agua (aguas ácidas). El descenso de los niveles freáticos puede causar la disminución de la extensión de bofedales, la disminución de los caudales de manantiales, el descenso del caudal base de algunos ríos y de la consecuente

disponibilidad del agua para riego (MINEM, 2005).

Deformación de acuíferos.

El Instituto Geológico Minero de España (1989), menciona que las minas subterráneas exigen para su explotación un drenaje continuo a lo largo de grandes periodos de tiempo, lo que da lugar a una alteración interna del balance de los sistemas acuíferos con conos de depresión que pueden alcanzar extensiones con radios de acción de hasta decenas de kilómetros. El colapso de los huecos subterráneos y el efecto que tienen los hundimientos y subsidencia inducidas en todo el entorno de las excavaciones producen siempre complejas interconexiones de los sistemas hidrológicos superficiales y subterráneos.

Las explotaciones de superficie afectan también a los niveles piezométricos de dichas áreas, en unas magnitudes que en ocasiones se han minusvalorado. En muchas minas, durante la operación. se aplican diferentes sistemas de drenaje con el fin de garantizar la estabilidad de los taludes, hacer viable las diferentes labores con los equipos mineros y evitar los problemas de hinchamiento de los materiales del fondo de las explotaciones por presión del agua subterránea (ITGE, 1989).

En el caso de la explotación de un placer sobre terrenos aluviales el nivel freático también es deprimido en el entorno de la explotación, pero de una forma asimétrica, ya que la depresión es

más importante aguas abajo. Esta depresión asimétrica se mantiene, aún más acusada, al cese de los trabajos mientras que el hueco creado es ocupado por el agua Pagés (como se citó en IGME, 1993).

Alteraciones de cauces y de la escorrentía superficial.

Aumento de la escorrentía por la pavimentación y modificación de relieve natural por efectos de los movimientos de tierras.

Alteración de caudales.

Los caudales naturales de agua explica Pages-Valcarlos, (1993), “son modificados por la actividad minera. Los desagües de labores merman caudal a los acuíferos y lo aportan en los cauces superficiales. Por otro lado, los procesos mineralúrgicos son consumidores de agua que generalmente es de origen superficial”.

Contaminación del agua.

La contaminación se produce tanto en minería superficial como en minería subterránea; hay algunas que tienen una especial incidencia que se pueden destacar.

Cambio de las características físico-químicas de agua por manipulación de cauces y de la escorrentía superficial y subterránea.

El aumento de la turbidez afecta de forma muy importante al medio biótico existente en las corrientes fluviales, pues dificulta la penetración

de la luz y reduce la función de fotosíntesis, dando lugar todo ello a un aumento de la mortandad y a un empobrecimiento de la flora y de la fauna. Además, si las partículas son gruesas, puede producirse una sedimentación continua que provoque el aterrado de los canales, presas, etc.

Otro efecto perturbador de la calidad de las aguas superficiales se debe a la elevación de la temperatura de éstas, como consecuencia de la irradiación solar y temperatura ambiente del aire. El diferencial térmico entre el agua y el aire depende entre otras cosas de las dimensiones del depósito o lámina de agua (superficie y profundidad), permeabilidad de los terrenos atravesados, gradiente hidráulico, etc.

Los efectos que tiene el recalentamiento del agua son dos: modifica la fauna acuática en beneficio de las especies más tolerantes, en detrimento de otras que pueden ser las de mayor valor ecológico, y disminuye el ritmo de saturación de oxígeno disuelto llegando a agravarse el fenómeno anterior. La contaminación química de las aguas superficiales se produce, generalmente, por la disolución de determinados compuestos solubles que constituyen las rocas y por los cambios de pH originados por la oxidación de la pirita. Este mineral no sólo es el componente principal de los yacimientos de sulfuros metálicos, sino que también abunda en los depósitos de otros minerales metálicos y, de

forma especial, en los yacimientos de carbón (ITGE, 1989).

Contaminación por hidrocarburo y aceites.

El uso de maquinaria pesada en minería conlleva una serie de riesgos de vertidos accidentales de combustibles y lubricantes, causantes de impactos importantes.

Contaminación por lixiviados de los botaderos.

La minería a cielo abierto de sulfuros de metales genera grandes cantidades de base (p.ej., Cu, Pb, Zn) genera grandes volúmenes de roca consideradas como estériles, que, en muchas ocasiones, son rocas con leyes sub - económicas, esto es, se trata de rocas mineralizadas. Estos materiales serán volados, extraídos de la mina, pero no enviados a flotación. Sin embargo, contienen sulfuros, en particular pirita, con lo cual volvemos al problema del potencial para la generación de drenaje ácido. Así los “botaderos de estériles” pueden constituir un problema de facto mayor incluso que el de las presas de relaves.

Este no es solo un problema ambiental relacionado con el potencial de los botaderos para generar drenaje ácido, hablamos también de volúmenes inmensos. Por poner un ejemplo muy simple, si una mina tiene una razón de estéril a mineral de 3:1, significa que por cada tonelada enviada a planta tres irán a las escombreras. Así,

si diariamente se envían a planta 50.000 toneladas de mineral, 150.000 pasarán a estériles (...) (Oyarzún et al., 2011).

Contaminación por aguas ácidas.

La formación de aguas ácidas tiene lugar a partir de la oxidación química de los sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción bacteriana. Los principales elementos que intervienen son: los sulfuros reactivos, el oxígeno y el agua (vapor o líquida), y como elemento catalizador las bacterias (Aduvire, 2006)

El drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua (Aduvire, 2006):

– (Sulfuro mineral + Oxígeno + Agua = Sulfato + Acidez + Metal).

También otros oxidantes como hierro férrico puede reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno del agua (Aduvire, 2006):

– (Sulfuro mineral + Hierro férrico + Agua = Sulfato + Acidez + Metal).

Las aguas ácidas son aparentemente aguas limpias, pero al mezclarse con las aguas naturales producen en éstas importantes alteraciones ya que (Pagés, 1993):

- Acidifican las aguas naturales, anulando su capacidad de

amortiguación para las pequeñas oscilaciones de pH, confiriéndoles un carácter corrosivo que las hace inútiles para muchos usos y altamente dañinas para los ecosistemas que dependen de esas aguas.

- Precipitan hidróxido férrico, que da coloración amarilla a las aguas y forma costras en los cauces.
- Su bajo pH les permite llevar metales pesados en disolución. La disminución del pH producida por la mezcla de aguas reduce la solubilidad de los iones metálicos que precipitan. La persistencia de descargas de aguas ácidas en lagos y embalses produce un proceso de envenenamiento progresivo por acumulación de metales tóxicos en el sedimento y en los organismos bentónicos, entrando así en las cadenas tróficas.
- Las aguas ácidas pueden contaminar los acuíferos cuando se produce su percolación en profundidad. -Los impactos que generan son importantes y críticos constituyendo un problema de solución compleja y costosa.

El suelo.

Ocupación y destrucción del suelo.

Las operaciones mineras son consumidoras importantes de suelo en el entorno de las explotaciones. Este consumo detrae suelo fértil para otros usos de manera generalmente irreversible. La ocupación del suelo produce su destrucción física por la creación de huecos de explotación, implantación de escombreras y balsas, edificios y plantas de tratamiento. También consume y destruye suelo la red viaria que acompaña la explotación de un yacimiento (Pagés, 1993).

Contaminación del suelo

En relación a los procesos de contaminación, puede presentar distintas tipologías:

Contaminación por aceites y combustibles.

Las Instalaciones mineras auxiliares (talleres, oficinas), equipos, maquinarias, etc. en torno a las minas, tienen también un cierto potencial de generación de impactos, en especial los talleres de la maquinaria minera, que a menudo implican la presencia de grandes volúmenes de hidrocarburos líquidos (combustibles, lubricantes), susceptibles de escapes accidentales (Oyarzún et al., 2011).

Contaminación por metales pesados.

Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de

materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (García & Dorronsoro, 2002)(como se citó en Puga, et al, 2006).

Acidificación del suelo.

Pagés (1993), menciona que los suelos sufren un proceso de acidificación por circulación de aguas ácidas o por aportes importantes de polvo que contengan piritas. Esta acidificación, produce una degradación del suelo que puede llegar a impedir el crecimiento de la vegetación.

El aire

El transporte de emisiones en el aire ocurre durante todas las etapas del ciclo de vida de una mina, si bien en particular se dan durante la exploración, desarrollo, construcción y operación. Las operaciones mineras movilizan grandes cantidades de material; requieren maquinaria pesada y equipos industriales para procesar el mineral. Las pilas o depósitos de

desechos contienen partículas pequeñas que pueden ser fácilmente dispersadas por el viento. Las mayores fuentes de contaminación del aire en operaciones mineras son: El polvo y los gases y vapores (Wieczorek & Schiefelbein, 2014).

El polvo.

Material particulado transportado por el viento como resultado de excavaciones, voladuras, transporte de materiales, erosión eólica (más frecuente en tajos abiertos), polvo fugitivo proveniente de los depósitos de relaves, depósitos, pilas de desechos, caminos. Las emisiones de los gases de escape de fuentes móviles (vehículos, camiones, maquinaria pesada) también contribuyen a aumentar el nivel de material particulado (Wieczorek & Schiefelbein, 2014).

Los gases y vapores.

Wieczorek & Schiefelbein (2014) explican que las emisiones gaseosas provenientes de la quema de combustibles en fuentes estacionarias como móviles, voladuras y procesamiento de minerales. Cuando una fuente emite contaminantes en la atmósfera, los contaminantes son transportados en el aire, se diluyen y son sujetos a cambios (físicos y químicos) en la atmósfera y finalmente alcanzan al receptor. Estos contaminantes pueden causar serios efectos en la salud de las personas y en el ambiente.

El ruido

Las dos categorías principales de fuentes de ruido en minería según (ITGE, 1989), son las plantas de tratamiento y los equipos móviles. Las plantas fijas comprenden una amplia gama de aparatos, incluyendo trituradoras, cribas, cintas, tolvas, celdas de flotación, acondicionadores, motores, etc. Normalmente, se ubican en una o varias áreas próximas a la mina y, frecuentemente, se construyen cubiertas para proteger a los operarios y maquinaria de las inclemencias del tiempo, e incluso para mejorar la seguridad.

El equilibrio geodinámico

La estabilidad geodinámica es alterada por la creación tanto de huecos y taludes, como de nuevos volúmenes artificiales en presas de relave y botaderos, perturbando el equilibrio natural. Se pueden señalar varias desestabilizaciones características, provocadas por la minería IGME & Sanz Contreras (como se citó en Pagés, 1993):

- Los hundimientos mineros.
- La inestabilidad de taludes en los tajos.
- La inestabilidad de los botaderos.
- La inestabilidad de presas de relave.
- Alteración de los procesos de erosión - sedimentación.

La vegetación y la fauna

La vida silvestre es un término amplio que se refiere a todos los seres vivos especialmente todos los vegetales, animales y otros organismos no han sido domesticados. La minería afecta al ambiente y a la biota asociada mediante la remoción de vegetación y capa superficial del suelo, desplazamiento de la fauna, la liberación de contaminantes y la generación de ruido (Wieczorek & Schiefelbein, 2014).

Las alteraciones directas en la vegetación y la fauna.

En la etapa de operación.

Flora. Con las actividades mineras se elimina la vegetación en el área de operaciones, se destruye parcialmente o se modifica la flora en áreas circunvecinas. Como consecuencia de la remoción de la vegetación, se producen cambios en las condiciones del hábitat de la fauna asociada con ella. Además, un proyecto minero pone en riesgo a las especies protegidas y a otras de interés biológico y local por los desmontes y despalmes (Sánchez & Ortiz, 2016).

Fauna. La fauna se ve perturbada o es ahuyentada por el ruido y la contaminación del aire y del agua, así como por el aumento en el nivel de sedimentos en los ríos. También puede haber envenenamiento por reactivos residuales contenidos en aguas provenientes de la zona de explotación. De esta manera, los desmontes y despalmes afectan a mamíferos, reptiles y aves asociados a la vegetación, y se ha demostrado que

los residuos de metales pesados tienen efectos mutagénicos en la flora y fauna circundantes a los sitios de disposición (Ibid, 2016).

Las alteraciones indirectas de la vegetación y la fauna

A. A partir de los suelos

la vegetación es alterada de varias maneras Pagés (1993). Puede degradarse y llegar a desaparecer por erosión del suelo provocada por la manipulación de la escorrentía. La acidificación del suelo produce efectos negativos sobre la vegetación que pueden llegar a eliminarla.

B. A partir del agua.

La vegetación y la fauna sufren alteraciones de diversa índole (Pagés, 1993):

- *La distorsión de la circulación natural del agua.*
- *Hay un aporte de metales pesados en disolución.*
- *El aumento de la Turbidez.*
- *El aumento de la temperatura.*
- *Los vertidos aportados por los efluentes de las plantas de tratamiento.*
- *El envenenamiento lento de lagos y embalses.*

C. Demanda de la actividad.

Las explotaciones subterráneas han sido tradicionalmente importantes

consumidoras de madera para la realización de los entibados. Esta demanda ha «tragado» bosques por la boca de la mina y en el pasado ha sido sin duda un factor importante de la deforestación de algunos distritos mineros.

El paisaje

Tanto la minería superficial como la subterránea provocan alteraciones como huecos, escombreras, edificaciones, presas de relave y residuos, botaderos, etc.

Las etapas de preparación mecánica: trituración, molienda, clasificación, etc. son construcciones que producen una gran intrusión visual.

En las minas subterráneas, además de las instalaciones de tratamiento, edificios de oficinas, etc., destacan, por su forma y altura, los castilletes de extracción. Son construcciones metálicas o de hormigón. En cuanto a los talleres, oficinas, estaciones de servicio, etc., en las grandes minas a cielo abierto y algunas subterráneas, son instalaciones que pueden llegar a ocasionar cierto impacto visual (ITGE, 1989).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo se llevó a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano; inicio el 01 de noviembre y finalizó el 12 de noviembre del 2019.

Para realizar este trabajo se hizo un estudio bibliométrico, en el que se seleccionó diferentes revistas, artículos científicos, libros digitales, tesis, guías y manuales relacionado al tema de interés del presente trabajo, indizadas en las distintas bases de datos. La base de datos escogida cumple con las exigencias requeridas para éste y cualquier artículo científico.

La búsqueda y revisión de las contribuciones bibliográficas originales se realizó a través de las páginas web de las bases de datos de Scielo, IGME (del Instituto Geominero de España), UNAM (de la Universidad Nacional de México), MINEM (Ministerio de Energía y Minas), Revista “Rumbo Minero”, Repositorio de la UNA-Puno, museo virtual del Servicio Geológico Minero, y algunos conceptos de Wikipedia.

El procedimiento empleado para esta revisión se hizo desde el buscador *Google* y *Google académico* para cada una de las fuentes mencionadas. La revisión de la información recolectada se hizo en el *Software Mendeley Desktop* el cual también fue instalada en los buscadores de la web mediante un parche llamado *Mendeley Web Importer*, el cual me

permitió descargar todas las citas y documentos directamente. Revisados cada uno de la información obtenida, se siguió con la elaboración de la investigación sobre el tema.

Los materiales para la elaboración de la investigación fueron una Laptop con un sistema Windows 10, y la rúbrica de evaluación de trabajo emitido por la Facultad de ingeniería de Minas de la Universidad nacional del Altiplano.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan según el objetivo que se planteó para identificar los impactos más resaltantes a partir de las alteraciones al sistema natural causados por la minería como la alteración de la circulación natural del agua, la contaminación de agua, la degradación de la vegetación y la profunda alteración del paisaje; para los cuales se usaron

19 contribuciones fiables que se indizaron para el presente trabajo.

La presente investigación principalmente se hizo basado en un artículo de Pagés Valcarlos el cual trata de las Alteraciones ambientales en sistemas naturales provocadas por la minería metálica. Otra de las muy buenas referencias de las que pude extraer muy buenos aportes en relación al tema, fue la del Instituto Geominero de España (Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería); así como también el libro de Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea, perteneciente también al IGME que presentan detalladamente los métodos de explotación en minería subterránea, el cual se usó en el presente artículo.

A continuación, presentamos la *Figura*:

SIMBOLOGIA		ELEMENTOS, CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER AFECTADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA																			
●	Alteraciones generalmente importantes	ACCIONES PRODUCTORAS DE IMPACTOS O ALTERACIONES	PRINCIPALES OPERACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y MODELOS DE LA ACTIVIDAD MINERA A CIELO ABIERTO	COMPOSICION DE LA ATMOSFERA	ATMOSFERA	NIVEL DE RUIDOS	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUBTERRANEA	SUELOS	SUELOS	VEGETACION	FAUNA	PROCESOS ECOLOGICOS	INUNDACION	EROSION	SEDIMENTACION	INESTABILIDAD	SISMICIDAD (VIBRACIONES)	SUBSIDENCIA	MODIFICACIONES EN EL PAISAJE	MORFOLOGIA Y PAISAJE
□	Alteraciones generalmente poco importantes			1. EXPLORACION E INVESTIGACION	2. INFRAESTRUCTURA	EDIF. Y PLANTAS DE TRATAMIENTO	NUEVOS VIALES Y CONDUCCIONES	DESAGUES Y DRENAJES	PERFORACION	VOLADURA	ARRANQUE Y CARGA	TRANSP. DE MATERIALES Y TRAFICO DE MAQUINARIA	MANTENIMIENTO	TRATAMIENTO DE MINERALES	CREACION DE HUECOS	ESTERILES, BOTADEROS Y RELAVES					
				3. OPERACION	4. MODIFICACIONES FISIGRAFICAS																

FIGURA 1. Alteraciones ambientales producidas por la minería

La fig. 1. Muestra la identificación de posibles alteraciones ambientales producidas por la minería metálica.

Tabla 1. *Efectos directos e indirectos derivados de la creación de un botadero*

<p>SUELO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de morfología: • Ocupación del suelo: 	<ul style="list-style-type: none"> – Alteración del paisaje. – Pérdida del suelo por erosión. – Perdida de comunidades vegetales. – Alteración de poblaciones animales
<p>AGUA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la red de drenaje natural: 	<ul style="list-style-type: none"> – Contaminación del agua superficial. – Inundación de áreas próximas
<p>AIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambios temporales en la calidad del aire: 	<ul style="list-style-type: none"> – Alteración de la vida silvestre y afectación de la vegetación de áreas cercanas.

La tabla 1 muestra los efectos en el suelo, agua y aire durante la creación de un botadero (ITGE, 1989).

Tabla 2. Alteraciones en la atmósfera.

<ul style="list-style-type: none"> • IMPACTOS SOBRE LA ATMOSFERA 	<ul style="list-style-type: none"> – Contaminación, fundamentalmente por partículas sólidas. polvo y gases, derivada de las operaciones de apertura de huecos, de la creación de las escombreras y del tráfico de volquetes y de maquinaria pesada (impactos severos), y en menor grado, de la construcción de pistas (impactos moderados). En todos los casos enunciados, estos efectos son temporales, asociados con el período funcional de las operaciones. – Contaminación sónica, ruidos; impactos temporales, pero severos, durante las operaciones de apertura del hueco, creación de las escombreras y tráfico de volquetes y de
---	---

maquinaria pesada; impactos temporales, también y de menor intensidad, durante la construcción de pistas e infraestructuras.

La tabla 2 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural en la atmosfera (ITGE, 1989).

Tabla 3. Alteraciones sobre el agua superficial.

<ul style="list-style-type: none"> • IMPACTO SOBRE EL AGUA SUPERFICIAL 	<ul style="list-style-type: none"> – Alteración permanente de los drenajes superficiales, severa en el caso de la construcción de botaderos y moderada en el de la implantación de viales e infraestructuras. – Contaminación de las aguas superficiales (turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación derivada de la oxidación e hidratación de elementos piríticos, precipitación química de compuestos de hierro, etc.) derivada de las operaciones necesarias para la creación de escombreras (impacto temporal crítico), y del tráfico de volquetes y maquinaria pesada, del bombeo y la descarga de efluentes, y de la implantación de viales e infraestructuras (impactos temporales y moderados).
<ul style="list-style-type: none"> • IMPACTO SOBRE LOS ACUIFEROS 	<ul style="list-style-type: none"> – Alteración temporal del régimen de caudales subterráneos motivada por la de creación de huecos y excavación de galerías y bombeos del agua de los niveles freáticos seccionados. Impacto temporal, recuperable al cesar las operaciones de menor entidad. – Contaminación de acuíferos (aceites, hidrocarburos, etc.) temporal y de efectos preocupantes, derivada del mantenimiento de maquinaria.

La tabla 3 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural en el agua superficial y acuíferos (ITGE, 1989).

Tabla 4. Alteraciones de los suelos.

<p>IMPACTO SOBRE LOS SUELOS</p>	<p>- Ocupación irreversible de suelo fértil por la creación de huecos y botaderos (impactos críticos y severos), y por la construcción de pistas, edificios y plantas de tratamiento (impactos moderados).</p> <p>- Inducción de efectos edáficos negativos en los alrededores de la explotación por las operaciones derivadas de la creación de huecos, escombreras y pistas (impactos locales moderados y compatibles, debido a la acumulación de residuos, elementos finos, polvo. Etc.</p>
---	--

La tabla 4 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural en los suelos (ITGE, 1989).

Tabla 5. Alteraciones sobre la flora y fauna.

<p>IMPACTOS SOBRE LA FLORA Y FAUNA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación o alteración de hábitats vegetales terrestres para la fauna, así como desplazamientos o concentración de especies o individuos, motivados por la construcción de huecos y por la creación de pistas (impactos de magnitud moderada). Sin embargo, la creación de escombreras produce un impacto crítico (cambio de hábitat total) sobre estos aspectos. - Cambios en las pautas de comportamiento de la fauna por perturbaciones causadas por el tráfico de volquetes y maquinaria pesada, y por la creación de pistas e infraestructura. Impactos temporales y de carácter compatible. - Eliminación o reducción de la cubierta vegetal, así como provocación de dificultades para la regeneración de la vegetación (pérdida de elementos fértiles, aumentos drásticos de la pendiente y erosión, etc.) estos impactos generalmente son severos en el caso de las escombreras y moderados en el de los huecos y pistas.
--	--

La tabla 5 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural en la flora y fauna (ITGE, 1989).

Tabla 6. Alteraciones en los procesos geofísicos.

RIESGOS GEOFISICOS	<ul style="list-style-type: none"> – Aumento del riesgo de los desprendimientos, deslizamientos o hundimientos de tierras, motivado por la creación de botadero (impacto severo) y por la construcción de huecos y galerías subterráneas (impacto moderado). – Aumento de la carga de sedimentación aguas abajo, producido por la adición de material sólido, derivado de la creación de escombreras, de pistas e infraestructura. Impactos genéricos, y de carácter severo en el caso de los botaderos. – Aumento de la erosión, derivada de las operaciones que son precisas para la creación de escombreras y pistas, de la propia existencia de botaderos y taludes, y del tráfico de volquetes y maquinaria pesada. Impacto de magnitud moderada a severa, aunque temporal en el caso del tráfico. – Aumento del riesgo de subsidencia, producido por la creación de las escombreras. Impacto permanente de carácter moderado.
-------------------------------	---

La tabla 6 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural en los procesos geofísicos. (ITGE, 1989).

Tabla 7. Alteraciones de la morfología y del paisaje.

IMPACTOS SOBRE LA MORFOLOGIA Y EL PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"> – Perturbación del carácter global del paisaje, generalmente grave en el caso de las escombreras, severa en el de los huecos de explotación y de menor entidad por su mayor facilidad de control y temporalidad las derivadas de la construcción de edificios y plantas, y de la implantación de accesos e infraestructura.
--	---

La tabla 7 muestra los impactos a partir de las alteraciones al sistema natural sobre la morfología y el paisaje (ITGE, 1989).

IV. CONCLUSIONES

Desglosadas e interpretadas las alteraciones, podemos dar lugar a los impactos más graves causados por la minería metálica:

La alteración de la circulación natural del agua.

Alteraciones permanentes de los drenajes superficiales, severa en el caso de la construcción de los botaderos y moderadamente en la implantación de vías e infraestructura.

La contaminación del agua.

(turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación derivada de la oxidación e hidratación de elementos piríticos, precipitación química de compuestos de hierro, etc.) derivada de las operaciones necesarias para la creación de los botaderos, y del tráfico de camiones y maquinaria pesada, del bombeo y la descarga de efluentes, y de implantación de viales e infraestructura.

La degradación de la vegetación.

Se da alteración por ocupación o eliminación de suelo fértil; por la alteración o pérdida de la cobertura vegetal de los horizontes productivos; por el consecuente aumento de la erosionabilidad; por la alteración de la naturaleza y textura del suelo por aportes químicos.

La profunda alteración del paisaje.

Cambios físicos del terreno superficial por alteración morfológica (huecos, botaderos, edificaciones, etc.) se conviertan en factores dominantes; así mismo la modificación de los cauces por aporte de sedimentos difícilmente movilizables.

Se sugiere para unas próximas investigaciones se realicen estudios de *medidas correctoras* de todas las alteraciones ambientales al sistema natural para incidir de la menor manera posible o mitigarla en su totalidad.

REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2018). Aguas Acidas De Mina. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 5, 11. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522018000200001&script=sci_arttext
- Aduvire, Osvaldo. (2006). *Drenaje acido de mina - Generacion y tratamiento*. Retrieved from http://info.igme.es/SIDIMAGENES/113000/258/113258_0000001.PDF
- Benitez-Hernandez, M. A. (n.d.). *Apuntes de fluidos de perforación*. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13244/FUIDOS DE PERFORACIÓN.pdf?sequence=1>
- Delgado, G., Basaez, G., & Hinojosa, D. (2006). Medio ambiente en perforaciones. *Tecnicos Superiores En Minería*. Retrieved from <http://economia.mendoza.gov.ar/wp-content/uploads/sites/44/2016/10/medio-ambiente-en-perforaciones-Delgado1.pdf>
- I.T.G.E. (1988). Manual de evaluacion técnico-economica de proyectos mineros de inversión. In *Instituto Tecnológico GeoMinero de España*. Madrid.
- ITGE. (1989). *Manual de restauración de terrenos y evaluacion de impactos ambientales en minería*. Retrieved from http://info.igme.es/SidPDF/065000/106/65106_0001.pdf
- MINEM. (2005a). El agua subterránea en el medio ambiente minero Peruano. *Ministerio de Energia y Minas - Perú*, 15. Retrieved from https://bit.ly/http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/curs_o_cierreminas/02_Técnico/02_Hidrología/TecHidro-L2_Aguas Subterráneas.pdf2VoRBbz
- MINEM. (2005b). Guía ambiental para el cierre y abandono de minas. *Ministerio de Energia y Minas - Perú*, 37. Retrieved from <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/Cierreminas/cierreabandono.pdf>
- MINEM. Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. , Pub. L. No. Decreto Supremo N° 040-2014-EM, 53 SENACE 75 (2014).
- Oyarzún, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). Minería ambiental. Una introducción a los impactos y su remediación. In *GEMM - Aula2punto.net*. Retrieved from https://www.aulados.net/Libros_Aula2punto

onet_GEMM/Libro_Mineria_MA.pdf

Pagés, J. L. (1993). Las alteraciones ambientales en sistemas naturales provocadas por la minería metálica. *Cuadernos Laboratorio Xeológico de Laxe*, 18, 18. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2183/6137>

Pagés Vilcarlos, J. L. (1993). *Las alteraciones ambientales en sistemas naturales provocadas por la minería metálica*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2183/6137>

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Cesar, Q., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5((1-2)), 149–155. [https://doi.org/*Mineral industries *Pollution *Soils *Metals](https://doi.org/*Mineral%20industries%20*Pollution%20*Soils%20*Metals)
Regression analysis

Ramirez, P., de la Cuadra Irizar, L., Lain Huerta, R., & Grijalbo-Obeso, E. (1970). *Mecánica de rocas aplicada a la minería*. Madrid.

Rumbo Minero. (2014, September). Tecnología y equipos : Haciendo el tajo abierto. *Revista Rumbo Minero*. Retrieved from <https://www.rumbominero.com/revista/informes/tecnologia-y-equipos-haciendo-el-tajo-abierto/>

Sanchez, E., & Ortiz, L. (2016). Escenario ambientales y sociales de la minería a cielo

abierto. *Centro de Investigación En Biotecnología (Ceib)*, UAEM., 10(20), 27–34. Retrieved from <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/272/447>

Sanga-Ccama, F. T. (2017). *Implementación de controles para una adecuada gestión de SSOMA en las actividades de perforación diamantina en Explomine S.A.C. en la U.M. Las Bambas*. Universidad Nacional del Altiplano.

Servicio Geológico Mexicano. (2017). Factores que controlan un yacimiento. Retrieved November 2, 2019, from Museo Virtual Mexico website: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Factores-control-yacimiento.html

Wieczorek, A., & Schiefelbein, U. (2014). Vista general de la actividad minera y sus impactos. In *Plant Diversity and Evolution* (Vol. 130). <https://doi.org/10.1127/1869-6155/2013/0130-0074>