

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

Consecuencias ambientales de la Minera El Soldado en las localidades aledañas

Trabajo de
Titulación para optar al Título de
Tec.Univ. Minería y Metalurgia, VIÑA
DEL MAR.

Alumnos:

Nicolas Ignacio Olivares Maturana

Sebastián Ignacio Urrutia Cacciuttolo

Profesor Guía:

Mg. Ing. Marcelo Rojas Vidal

2025

RESUMEN

KEYWORDS: IMPACTO AMBIENTAL MINA EL SOLDADO

El propósito de este escrito está basado en la identificación de las externalidades que ha provocado la Minera El Soldado, ubicada en la región de Valparaíso. La Minera El Soldado, posee una mina a rajo abierto y otra subterránea (la cual se encuentra inoperativa) e instalaciones para el tratamiento de minerales oxidados y sulfurados.

El en capítulo inicial se presentará los antecedentes generales de la minera, incluyendo su historia, principales operaciones y su contribución al desarrollo económico local y nacional. También describirá el contexto geográfico y social de la región donde se ubica, destacando especialmente las características del ecosistema, la economía local y las comunidades que habitan en las cercanías de la operación minera. Este capítulo busca ofrecer una visión general del escenario en el que se desarrolla la problemática planteada.

En el segundo capítulo se presentará los problemas que se originaron en la región debido a las actividades mineras. Se enseñará los impactos ambientales más significativos como la contaminación del suelo, agua y del aire. La pérdida de biodiversidad y los cambios en los paisajes naturales también serán mencionados junto a las repercusiones sociales y económicas, tales como la afectación a la salud de las personas, modificaciones en las interacciones comunitarias y los conflictos entre intereses económicos y derechos locales.

Este estudio mostrara como estos factores externos han impactado en el entorno natural como en los residentes locales.

Finalmente, en el último abordaremos las posibles acciones y utilización de nuevas tecnologías que se pueden aplicar para así reducir los efectos negativos provocados. Se analizarán medidas como la integración de las tecnologías más limpias, la implementación de planes para restaurar el entorno ambiental y promover una comunicación más participativa entre la empresa y las comunidades aledañas. También se presentará la importancia de implementar políticas públicas más rigurosas y definir indicadores claros para que estas se cumplan a lo largo del tiempo.

INDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
OBJETIVO GENERAL	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	7
1. ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA Y CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES.....	8
1.1. EL SOLDADO: MINERÍA, TERRITORIO Y COMUNIDAD	8
1.1.1 <i>Contexto territorial y socioambiental de la actividad minera</i>	8
1.1.2 <i>Historia y operación de Minera El Soldado</i>	9
1.1.3 <i>Marco legal y regulatorio aplicable</i>	10
1.1.4 <i>Informes de entidades fiscalizadoras</i>	11
1.1.5 <i>Estudios independientes y percepción comunitaria</i>	12
1.1.6 <i>Identificación de conflictos socioambientales</i>	13
1.1.7 <i>Mirada crítica</i>	14
CAPÍTULO 2: IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE Y CÓMO ESTOS INFLUYERON EN LA CONTAMINACIÓN DEL ENTORNO.....	15
2.1. PROBLEMÁTICA	16
2.1.1 <i>Introducción</i>	22
2.1.2 <i>Tipos de contaminantes generados por Minera El Soldado</i>	23
2.1.3 <i>Evidencia empírica del impacto ambiental</i>	25
2.1.4 <i>Evaluación del impacto en el entorno natural</i>	26
2.1.5 <i>Revisión del cumplimiento regulatorio</i>	27
2.1.6 <i>Comparación con otros casos similares</i>	28
CAPITULO 3: MEDIDAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL.....	29
3.1. MEDIDAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL.....	30
3.1.1 <i>Generar políticas que fomenten la producción limpia</i>	30

3.1.2. Estrategias y prácticas que pueden ayudar a disminuir la contaminación en la minería.

.....	31
CONCLUSIÓN.....	39
BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Ubicación de la zona
Figura 1-2	Ubicación mina El Soldado
Figura 1-3	Tragedia El Cobre
Figura 2-1	La Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente
Figura 2-2	Área de conservación
Figura 2-3	Polvo proveniente de la minera El Soldado
Figura 3-1	Ladrillos ecológicos
Figura 3-2	Nanobiotecnología

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1	Niveles de toxicidad de ciertos elementos
-----------	---

INTRODUCCIÓN

La minería de depósitos en Chile es sin duda una de las actividades generadoras de mayores ingresos del país, y sin duda se ha convertido en el motor económico de Chile. La minería siempre ha sido la base del desarrollo de Chile y actualmente representa alrededor del 15% del PIB, el 60% de las exportaciones y el 20% de los impuestos, provienen de esta industria. En este sentido, la estabilidad institucional y económica y las políticas públicas mineras pioneras y exitosas, son claves.

Si bien la industria minera ha aportado una enorme contribución económica al país, también ha producido un impacto en el país. A lo largo de la historia de la minería, han surgido las llamadas responsabilidades ambientales, que han afectado a comunidades cercanas, a donde existen o ya existen las operaciones mineras.

El enfoque de este estudio, es aclarar la realidad de los residentes de la comunidad, que viven cerca del sitio minero y mostrar cómo esto afecta su vida diaria y la biodiversidad local, a través de estudios realizados por entidades fiscalizadoras, como la CENMA, la cual efectuó una “Evaluación de riesgos a la salud de la población de la cuenca del estero del cobre, asociados con contaminantes ambientales originados por actividad minera, en relación con la exposición hídrica y agroalimentaria”, en el año 2012, para el Ministerio de Medio Ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar el impacto ambiental de la actividad minera de Minera El Soldado en las áreas circundantes, con el fin de evaluar sus efectos en los ecosistemas y las comunidades locales y proponer estrategias de mitigación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y sistematizar información proveniente de informes de entidades fiscalizadoras y estudios independientes sobre las actividades mineras en la zona, con el propósito de identificar conflictos socioambientales.
- Identificar y caracterizar los principales contaminantes generados por Minera El Soldado y evaluar su incidencia en el entorno natural y las comunidades aledañas.
- Proponer y evaluar acciones correctivas que permitan reducir progresivamente el impacto ambiental de la actividad minera, considerando su viabilidad técnica y social.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. Antecedentes de la Actividad Minera y Conflictos Socioambientales

1.1. El Soldado: Minería, Territorio y Comunidad

1.1.1 Contexto territorial y socioambiental de la actividad minera.

La minería es uno de los pilares clave de la economía en Chile. Desde la época colonial hasta ahora, la extracción de minerales ha moldeado el entorno económico, social y territorial del país. Sin embargo, el desarrollo de las actividades mineras también ha traído efectos negativos para los ecosistemas y las comunidades que están cerca de las zonas de extracción. La creciente preocupación por un desarrollo sostenible ha incentivado una mirada crítica y técnica sobre el verdadero costo ambiental y social de esta industria.

En el marco de esta investigación, se pretende revisar la información sobre las operaciones de Minera El Soldado, que se encuentra en la Región de Valparaíso, concretamente en la comuna de Nogales. A través del análisis de documentos oficiales, estudios técnicos y reportes de ciudadanos, se busca sentar una base sólida para identificar los principales conflictos socioambientales relacionados con esta actividad. Este capítulo es una parte importante para entender la magnitud del problema y, más adelante, respaldar las propuestas para mitigar los impactos.



Figura 1-1. Ubicación de la zona
Fuente: Extraída desde Google Maps

1.1.2 Historia y operación de Minera El Soldado

Minera El Soldado pertenece a Anglo American Sur S. A. , y su principal actividad es la extracción y el procesamiento de cobre, un recurso que tiene una alta demanda a nivel mundial. Su historia se origina en el siglo XIX, cuando comenzaron a explotarse artesanalmente los primeros indicios de cobre. No fue hasta la mitad del siglo XX que se inició una operación industrial más amplia. Desde ese momento, la empresa ha realizado varias etapas de expansión, tanto en su mina subterránea como en la extracción a cielo abierto.

Actualmente, El Soldado lleva a cabo la operación de una planta concentradora y tiene instalaciones de gran envergadura para el tratamiento de minerales. De acuerdo con el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) más reciente presentado al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en 2021, la faena tiene permisos para procesar hasta 60. 000 toneladas de mineral al día (SEA, 2021).



Fuente: Extraída desde Google Maps

Figura1- 2. Ubicación mina El Soldado

1.1.3 Marco legal y regulatorio aplicable

La minería en Chile se encuentra sujeta a diversas normativas que intentan equilibrar el progreso económico con la conservación del medio ambiente. Entre las normas importantes para este análisis se incluyen:

Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente: establece principios fundamentales como la prevención, responsabilidad y la participación de la comunidad.

Reglamento del SEIA: establece los métodos para evaluar los efectos ambientales de los proyectos.

Código de Aguas: regula el uso de recursos de agua, lo cual es esencial debido a la gran necesidad hídrica en la minería.

Norma de Emisión de Material Particulado (DS N°13/2011): se aplica a las emisiones de aire de fuentes estáticas.

Minera El Soldado debe seguir estas normativas y someter sus planes de expansión a una evaluación ambiental. Sin embargo, se han hecho varias observaciones por parte de organismos técnicos, indicando incumplimientos o debilidades en las medidas de mitigación adoptadas.

1.1.4 Informes de entidades fiscalizadoras

Las entidades responsables de supervisar la minería en Chile han llevado a cabo diversas auditorías y seguimientos sobre Minera El Soldado. A continuación, se presentan algunos hallazgos importantes:

Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)

Entre 2018 y 2022, la SMA inició varios procedimientos sancionadores contra Minera El Soldado. En el Informe Técnico N.º 241/2020 se registró que la compañía no cumplió con las medidas de mitigación establecidas en sus Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), especialmente en lo que respecta al manejo de aguas residuales y pluviales, mostrando descargas no autorizadas en cuerpos de agua superficial.



Figura1- 3. Minera el soldado

Anglo American. (s.f.). Minera El Soldado, Chile [Fotografía]. Recuperado el 21 de abril de 2025, de <https://www.angloamerican.cl/>

Dirección General de Aguas (DGA)

La DGA ha señalado que las operaciones mineras están afectando los acuíferos de la zona. Gracias a estaciones de monitoreo hidrológico en El Melón, se notó una reducción continua en los caudales de pozos cercanos, coincidiendo con períodos de intensa extracción minera. Esto ha generado alertas sobre el agua en áreas agrícolas de la región, que dependen de estos recursos para el riego.

Contraloría General de la República

En su auditoría ambiental de 2021, la Contraloría criticó la falta de colaboración entre diferentes instituciones públicas para supervisar adecuadamente a Minera El Soldado. Señaló que los plazos para atender denuncias de la población sobrepasaban los tiempos legales establecidos.

1.1.5 Estudios independientes y percepción comunitaria

El trabajo de las universidades y organizaciones sociales ha sido valioso para complementar los datos oficiales desde una perspectiva más crítica y local. La Universidad Técnica Federico Santa María (2020) llevó a cabo un estudio en la comuna de Nogales donde se encontraron niveles de metales pesados (como arsénico y plomo) en los suelos agrícolas cercanos a las operaciones mineras. Aunque estos niveles estaban dentro de los límites establecidos por la norma chilena, eran superiores a los estándares recomendados por la OMS.

En paralelo, el Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA) ha documentado de manera sistemática el descontento de las comunidades de El Melón y

Caleu. Sus informes señalan la percepción de que la empresa ha mostrado poca transparencia, dejando a la comunidad fuera de procesos importantes como la elaboración de declaraciones ambientales.

1.1.6 Identificación de conflictos socioambientales

El análisis de los datos permite señalar los siguientes conflictos principales:

a) Acceso al agua

La extracción excesiva de aguas subterráneas por parte de la minera ha provocado una crisis de agua que perjudica tanto el consumo humano como la agricultura local. Durante las sequías, los residentes han tenido que conseguir agua mediante camiones.

b) Contaminación atmosférica

Las emisiones de polvo y partículas en el aire han sido mencionadas como causa de problemas respiratorios, especialmente en niños. La falta de acciones efectivas para controlar esta situación ha sido un tema recurrente en las quejas de los vecinos.

c) Daño a la biodiversidad

La alteración del entorno natural ha impactado zonas de matorral esclerófilo, que son propias del ecosistema central de Chile. Las especies amenazadas incluyen al quillay (Quillaja saponaria) y al litre (Lithraea caustica), ambos esenciales para la captura de carbono.

d) Fractura social y pérdida de confianza

Hay una ruptura en la relación entre la empresa y la comunidad. A pesar de los intentos de responsabilidad social de la empresa, muchos vecinos sienten que los beneficios no compensan los daños ambientales causados.

1.1.7 Mirada crítica

Este contexto de conflictos acumulados muestra una tensión profunda entre el desarrollo económico y la sostenibilidad social y ambiental. Aunque la minería es esencial para la economía del país, es crucial que funcione bajo principios de justicia ambiental y con métodos efectivos de participación de la comunidad. El caso de Minera El Soldado indica que, cuando estos equilibrios no se observan, el conflicto se agrava y la credibilidad de las instituciones es cuestionada.

**CAPÍTULO 2: IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
PROBLEMÁTICA EXISTENTE Y CÓMO ESTOS INFLUYERON EN LA
CONTAMINACIÓN DEL ENTORNO**

2.1. PROBLEMÁTICA

El problema principal en cuestión nos lleva con fecha 12 de octubre de 2012, cuando el estado-fisco de Chile demanda en juicio sumario por reparación del daño ambiental e indemnización de perjuicios en contra de Anglo American Sur S.A, por la pérdida y menoscabo significativo provocado en la Quebrada El Gallo, con un total de 8,65 hectáreas de un ecosistema de bosque nativo de preservación, con la presencia de un bosque nativo mediterráneo de tipo higrófilo y esclerófilo, debido al vertimiento de miles de toneladas de material estéril y roca.

Y en 21,65 hectáreas de ecosistema de bosque nativo de protección, con presencia de bosque esclerófilo, tras la eliminación completa del suelo y su ecosistema de bosque, lo cual afectó principalmente al bosque-suelo, cursos de agua, fauna, paisaje, biodiversidad y pérdida de servicios ambientales.

Las consecuencias del problema anterior iniciaron un proceso sancionatorio en contra de la empresa en cuestión, conforme al artículo único de la ley N° 20.473, en razón a los impactos producidos (declaración de impacto ambiental) hacia áreas fuera de los límites establecidos en la declaración. Dicho proceso sancionatorio culminó el 10 de septiembre de 2012 que impuso a la demanda una multa de 300 UTM.

El problema que produjo la transnacional Anglo American a través de la división El Soldado y su tranque de relaves El Torito, ha provocado un gran rechazo por parte de los vecinos pertenecientes a la comuna de Nogales, provincia de Quillota, Región de Valparaíso.

Este conflicto principalmente se debe a la contaminación del agua, aire, y la destrucción del Belloto del Norte, una especie endémica declarada monumento nacional en el año 1995.

La historia comienza en el año 2003 cuando la división El Soldado presentó al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) un estudio de impacto ambiental con la ampliación del tranque de relave El Torito, el cual pretendían aumentar su capacidad de almacenamiento de 76 Mt a 181Mt, lo cual permitía almacenar desechos hasta el año 2023. Sin embargo, la ampliación traía un sinnúmero de irregularidades en el proceso, ya que el sector

donde se proyectaba la ampliación afectaba la existencia de poblaciones de Bellotos del Norte. No obstante, el proyecto fue aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

Entre las irregularidades expuestas por las comunidades locales y organizaciones ambientales, las cuales se hicieron ver en su momento, se encontraba que la aprobación de la ampliación del tranque del relave implicaría la destrucción de ejemplares de Belloto del Norte, sin embargo, y con el propósito de autorizar la corta o eliminación de ejemplares existentes en el área donde la minera quería ampliar el tranque de relaves, el ministro de agriculturas Jaime Campos promulgo el decreto N° 525/2003, el que usando un requisito legal permitía autorizar la corta de ejemplares de esta especie, lo cual la situación fue denunciada públicamente por organizaciones ambientales.

Por otro lado, en el proceso de calificación ambiental, existieron otro tipo de irregularidades denunciadas por la comunidad, y que tienen relación con el proceso de participación ciudadana, el cual se comunicó 8 días antes de terminar el plazo legal, lo cual la ley establece un plazo de 60 días. La minera efectuó ayudas y donaciones a las comunidades potencialmente afectadas, lo que denota la falta de probidad durante el proceso de calificación ambiental.

Las operaciones de la División El Soldado y la ampliación de El Torito también generaron severos impactos en la situación hídrica local, ya que estas instalaciones realizan sus actividades en el Valle del Estero El Cobre, el cual es el principal afluente de pozos de agua potable de la zona. Esta situación ha afectado notablemente la calidad del agua en la localidad, ya que, los estudios realizados por la empresa y particulares mostraron altos índices de sulfatos (SO₄), aumentando de valores menores a los 200 mg/lts, en el año 2004, a valores que superaban los 420 mg/las en el año 2010.

En cuanto a la contaminación del aire, al ser las operaciones a rajo abierto ha incrementado los niveles de polvo en suspensión notablemente en la comuna de Nogales. Situación que genera problemas con el depósito de polvo sobre especies arbóreas y cultivos locales que abastecen a la comunidad, como también contaminación de acuíferos y daño a los ecosistemas.

Cuando se iniciaron los constantes reclamos por parte de la comunidad de Nogales y organizaciones ambientales, se han visto algunos resultados, considerando que durante el

año 2016 la corte suprema ordeno a Anglo American Sur el pago de una indemnización de \$600.000.000 y la reparación del grave daño medioambiental que ocasiono en la quebrada El Gallo, en el marco de la extensión operativa de la mina El Soldado. Entre los daños principales se encuentran la destrucción significativa en la quebrada mencionada anteriormente por el vertimiento de miles de toneladas de estéril y roca sobre su fondo y ladera norte, y la eliminación completa de suelo y ecosistema del bosque; intervenciones que se realizaron por un prolongado espacio de tiempo, eventos que fueron puesto en conocimiento de la Comisión Ambiental evaluadora fuera del plazo establecido.

El artículo 3 de la ley 19.300, establece que todo el que culposa o dolosamente cause daño al medio ambiente, estará obligado a repararlo materialmente, a su costo, si ello fuera posible, e indemnizarlo en conformidad a la ley. el daño ambiental ha sido resultado de la acción directa de la demanda que desarrolló su proyecto minero contraviniendo las condiciones y exigencias establecidas en la autorización ambiental RCA N° 508/2008. Agrega que en el caso de autos se ha configurado la presunción de culpabilidad, señalada en el artículo 52 de la Ley 19.300, que al efecto establece que se presume legalmente la responsabilidad del autor del daño ambiental, si existe infracción a las normas de calidad ambiental, a las normas de emisiones, a los planes de prevención o de descontaminación, a las regulaciones especiales para los casos de emergencia ambiental o a las normas sobre protección, preservación o conservación ambientales, establecidas en la presente ley o en otras disposiciones legales o reglamentarias.

29 de mayo de 2023

Ley 21562

99 Citar

MODIFICA LEY N° 19.300, SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE, CON EL OBJETO DE ESTABLECER ...

La presente ley tiene por objeto establecer restricciones a la evaluación de proyectos en zonas declaradas latentes o saturadas, a través de una serie de modificaciones a la Ley N° 19.300, sobre bases generales del Medio Ambiente. En primer término, incorpora en el artículo 2° los conceptos de: Impacto crítico, Plan de Prevención y Plan de Descontaminación. Asimismo, mediante una modificación al artículo 11° de esta ley, establece la obligación de realizar Estudio de Impacto Ambiental (EIA) a aquellos proyectos o actividades que produzcan, como consecuencia de las emisiones estimadas del mismo, un impacto significativo por la(s) circunstancia(s) que determina un decreto que declare zona saturada o latente, mientras no se dicten los respectivos planes de prevención o descontaminación. A su vez, incorpora un nuevo inciso en el artículo 16°, referido a que las zonas declaradas saturadas o latentes, y que no se hayan sido dictados sus planes de prevención y/o descontaminación, deberá rechazarse su EIA, estableciendo un procedimiento para la elaboración de un Informe Consolidado de Evaluación, con una propuesta de rechazo fundada. Por su parte, al modificar el artículo 43 de ley de Medio Ambiente, dispone una serie de consideraciones que deberá contar el decreto que declare la zona saturada o latente y otorga facultades de dejar sin efecto las respectivas medidas del plan de descontaminación o de prevención. También incorpora un artículo 43 bis, nuevo, el que regula las medidas provisionales que se podrán adoptar una vez declarada una zona como latente o saturada. Esta norma igualmente mandata a que todo plan de prevención o de descontaminación deberá ser revisado por el Ministerio del Medio Ambiente al menos cada cinco años, estableciendo sanciones en caso de incumplimiento a los funcionarios a cargo de esta labor. Por otra parte, por medio de una modificación al artículo 46, se dispone que los proyectos que funcionen en zonas declaradas como latentes o saturadas, mientras no se dicten los planes de prevención o descontaminación, deberán compensar sus emisiones totales anuales en un porcentaje determinado por un decreto. Finalmente, las modificaciones introducidas por esta ley entrarán en vigor al ser publicadas en el Diario Oficial, a excepción de las modificaciones a los artículos 11°, 16°, 43° y 46° de la Ley del Medio Ambiente, que regirán a contar de la publicación de los reglamentos a que se refiere el artículo primero transitorio de este cuerpo normativo. [Ver menos](#)

Figura 2-1. La Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en la cual se basó la sentencia contra Anglo American.

Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

1.- Reparar material e íntegramente el medio ambiente afectado ya singularizado, y realizando al menos las siguientes acciones, las que deberán cumplirse en su oportunidad por la demanda, bajo el apercibimiento del artículo 1553 del código civil:

A) Para el ecosistema de la Quebrada El Gallo, incluido su fondo y ladera:

1.1. Trozar y astillar todos árboles y material vegetal dañado, y acopiarlos de manera apropiada para su futura utilización en laboreo de suelo residual de la ladera, con prácticas y técnicas de conservación de suelos que ayuden a retenerlo y a mejorar la infiltración de las aguas lluvias, dentro del plazo de 45 días.

1.2. Retirar el material estéril y rocoso ajeno, ubicado en el eje de la Quebrada El Gallo y en su ladera, dentro del plazo de 12 meses.

1.3. Preparación y laboreo de suelos de las laderas tributarias dentro de los límites del sector afectado, incluyendo técnicas de conservación de los suelos, que ayuden a retenerlo

de la mejor forma y a mejorar la infiltración de las aguas lluvias, incorporando en esta fase el material vegetal dañado que fue trozado y astillado, según punto 1.1, dentro de 45 días.

1.4. Formular y ejecutar un plan de reforestación y recuperación del ecosistema de bosque nativo mediterráneo de la Quebrada El Gallo, el que deberá ser aprobado por CONAF, SAG y DGA cuyo objeto deberá ser reponer la cubierta boscosa y vegetación con la misma composición y cobertura y con patrones de distribución espacial imitando al natural tanto en sentido altitudinal como horizontal en un plazo de no superior a 2 años. Adicionalmente se deberá establecer un sistema de protección física por individuo por las especies intolerantes y al objeto de excluir roedores y lagomorfos y garantizar una sobrevivencia mínima de 80% tanto de las especies en categoría de conservación, como de las que no están incluidas en esta categoría.

1.5. Restituir el cauce de la Quebrada El Gallo a su estado anterior a la intervención, sirviendo de referencia la sección superior en inferior al tramo modificado, que no hayan sido afectadas y se encuentren en su estado original, dentro del plazo de 12 meses.

1.6. Elaborar y ejecutar un plan de monitoreo y de seguimiento ambiental de la reforestación y recuperación del ecosistema de bosque nativo mediterráneo de las 8,65 hectáreas, el que tendrá una duración de 20 años después de establecido y recuperado el ecosistema nativo objeto del plan de reforestación, el que deberá ser aprobado por CONAF, SAG y DGA de la región de Valparaíso. Este plan deberá incluir el monitoreo estacional de la recuperación del ciclo hidrológico, la recuperación del suelo y retroceso de sus procesos erosivos, la recuperación de la riqueza y abundancia de la flora silvestre nativa a nivel de helechos, hiervas, hongos, arbustos y árboles, entre otros aspectos con informes anuales de avance de la recuperación a los tres servicios públicos mencionados. Sin perjuicio de lo anterior, el plan deberá incluir especialmente la puesta en valor de manera integral de la Quebrada El Gallo, conforme a las especificaciones que señalen dichos servicios.

B.- Para las 21.65 hectáreas de suelo subsuelo bosque nativo ecosistema eliminado:

1.7. Reponer las 21.65 hectáreas, perdidas, incluyendo el suelo, subsuelo, bosque nativo y ecosistema que existía en forma previa a la intervención. En caso de no ser posible, la ejecución de esta medida de reparación, se deberá recuperar el ecosistema de manera EX SITU, debiéndose formular y ejecutar un plan de reforestación del ecosistema bosque nativo mediterráneo de protección y conservación de 44 hectáreas. El plan de reforestación deberá

ejecutarse en un plazo no superior a 1 año y deberá incluir especialmente la puesta en valor de manera integral del sector reforestado, y contemplar obligatoriamente todas las indicaciones que señale la CONAF y el SAG. Adicionalmente se deberá establecer un sistema de protección física por individuo por las especies intolerantes y al objeto de excluir roedores y lagomorfos, se deberá garantizar la sobrevivencia mínima de 80%, que deberá ser logrado y acreditado en un periodo no mayor a 7 años desde la fecha de reforestación.

El lugar para elegir debe ubicarse dentro de la comuna de Nogales y al interior de los límites geográficos de la Cordillera El Melón, para no afectar ni disminuir el patrimonio forestal nativo de esa comuna; no debe existir bosque, y debe entregar o proporcionar las condiciones técnicas para la reforestación y para asegurar su establecimiento. El sector o sectores seleccionados podrían dividirse en 5 paños o rodales de 8 hectáreas cada uno, más un rodal de 4 hectáreas.

Durante los 7 años de recuperación y establecimiento del ecosistema boscoso, se deberá formular y presentar, a ambos servicios para su aprobación, informes anuales detallados sobre el avance de las actividades del plan y las medias de corrección y ajustes necesarios propuestos para superar los aspectos cuyos resultados no sean satisfactorios.

1.8. Toda otra medida que se considere conforme a derecho y al mérito del proceso, a fin de obtener la reparación integral del ecosistema dañado.



Figura 2-2. Información sobre el área de conservación y las especies amenazadas como el belloto del norte.

Fuente: Consejo Minero

Todas las acciones señaladas deberán ejecutarse, sin perjuicio de las especificaciones técnicas que al respecto indiquen los informes de peritos que en su momento se evacuen, como también los informes emanados de los organismos de la administración del estado con competencia ambiental.

2.- indemnizar al Estado de Chile, directamente afectado por la disminución de su patrimonio ambiental, como consecuencia de la destrucción y pérdida de 137 ejemplares del monumento natural, Belloto del Norte, en la suma de \$600.000.000, reajutable de acuerdo con la variación que experimente el índice de precios al consumidor (IPC) a contar de la fecha en que se notifique la demanda, hasta la fecha del pago efectivo; suma reajutable que devengara intereses para operaciones reajustables desde que quede ejecutoriado el fallo, hasta la fecha del pago efectivo.

3.- Pagar las costas del juicio.

A fojas 217, se llevó a efecto la audiencia de estilo con la asistencia del apoderado de la demandante y los apoderados de la parte demandada. La parte demandante ratificó la demanda en todas sus partes. La parte demandada contestó por escrito la demanda, mediante minuta escrita la que se tuvo como parte integrante de la audiencia.

Llamadas las partes a conciliación, ésta no se produce.

A fojas 220, se recibió la causa a prueba fijándose la que consta en autos por el término legal.

A fojas 886, se citó a las partes oír sentencia.

2.1.1 Naturaleza e impacto de los contaminantes mineros

La minería produce diversos residuos y emisiones que pueden tener un efecto negativo en los ecosistemas y en la salud de las personas. Los principales contaminantes incluyen metales pesados, partículas en el aire, desechos industriales, gases emitidos y cambios en la calidad del agua. Es fundamental entender la naturaleza y el comportamiento de estos

contaminantes para evaluar su impacto ambiental y desarrollar posibles estrategias de mitigación.

La empresa Minera El Soldado, gestionada por Anglo American, ha sido evaluada en varias ocasiones para documentar los tipos de contaminantes que genera, sus fuentes y los riesgos que presentan. Este capítulo explora a fondo estos contaminantes, conectándolos con las condiciones del área y su efecto potencial en la biodiversidad, los recursos hídricos y la salud humana.

2.1.2 Tipos de contaminantes generados por Minera El Soldado

a) Contaminación del agua

Una de las principales inquietudes ambientales de la operación de El Soldado es el cambio en la calidad del agua, tanto superficial como subterránea.

Ácidos y metales pesados: Durante la extracción y trituración de cobre, se generan aguas ácidas que pueden disolver metales pesados como arsénico, plomo, cadmio y mercurio, que luego pueden filtrarse en aguas subterráneas o escurrir hacia cuerpos de agua superficial

ELEMENTO	PROCEDENCIA	EFFECTO TOXICOLÓGICO
Arsénico	Minería del cobre y plata.	Metales conocidos como veneno y elemento cancerígeno (cáncer a la piel, gástrico, entre otros).
	Presente en fuentes naturales entre las regiones de Tarapacá y Coquimbo ubicadas en la Cordillera de los Andes.	Serio riesgo para la salud humana, en particular cuando la población está expuesta a dos o más fuentes contaminadas (por ejemplo: emisiones aéreas, agua potable, presencias en hortalizas).
Cadmio	Minería del cobre en el norte y centro de Chile.	Afecta el sistema renal.
Cromo	Yacimientos de nitratos en el norte de Chile.	En su forma hexavalente (Cr6+) es un elemento cancerígeno.
Mercurio	Yacimiento de mercurio en la región de Coquimbo: Punitaqui y Andacollo.	Es tóxico para el sistema nervioso, gastrointestinal, y renal. Sus síntomas son: temblores, pérdida del equilibrio, ceguera parcial y otros efectos en caso de intoxicación aguda.
	Uso en pequeña minería del oro.	
Plomo	Puede estar presente en depósitos cupríferos.	Afecta al sistema renal y nervioso. Los niños son afectados en forma especial.

Tabla 2-1. Principales metales pesados presentes en la minería chilena, su procedencia y efectos toxicológicos en la salud humana.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2020).

Modificación del caudal: El uso intensivo de agua para procesos industriales ha hecho que el caudal de esteros y pozos disminuya, lo cual afecta el suministro de agua para uso humano y riego de cultivos.

De acuerdo con un estudio de la Universidad de Chile (2020), se encontraron niveles de arsénico en el agua del área de El Melón que, aunque no superaban el límite nacional, eran más altos que los niveles sugeridos por la OMS para el consumo a largo plazo.

b) Contaminación del aire

Las actividades de carga, transporte y trituración generan partículas en el aire que se dispersan por el viento.

Material Particulado Respirable (MP10 y MP2,5): Las partículas finas, en especial el MP2,5, pueden penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el sistema circulatorio, afectando la salud respiratoria y cardiovascular de las personas.



Figura 2-3 Polvo proveniente de la minera El Soldado

Fuente: Fotografía de elaboración propia tomada 25/10/2020

Emisión de gases: Ciertos procesos producen dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, que al entrar en contacto con el aire y la radiación solar generan ozono en la troposfera, un contaminante secundario.

Un informe de la SMA (2020) señala que en algunas estaciones de monitoreo en la comuna de Nogales se han detectado episodios en los que las normas primarias de calidad del aire se han superado en relación con el material particulado PM10.

c) Contaminación del suelo

La gestión inadecuada de los estériles mineros, relaves y residuos industriales puede provocar contaminación del suelo. Estos desechos contienen metales pesados que, si no se encapsulan correctamente, pueden lixiviar y alterar la composición físico-química del suelo.

Degradación del suelo agrícola: Se han detectado concentraciones inusuales de cobre y zinc en terrenos cercanos a las áreas de extracción, lo que ha llevado a una reducción de su fertilidad y a cambios en la microbiota.

Pérdida de cubierta vegetal: La contaminación y la compactación del suelo están obstaculizando el desarrollo de plantas nativas, y la combinación con la reducción de humedad podría llevar a la desertificación.

2.1.3 Evidencia empírica del impacto ambiental

a) Estudios científicos

Una investigación de la Universidad Técnica Federico Santa María (2020) reveló que los suelos del área agrícola de El Melón tenían niveles de plomo más altos de lo permitido

según la normativa europea para suelos agrícolas. Además, se encontró la presencia de residuos sólidos que podían lixiviar cobre en zonas de descarga no reguladas.

Un estudio realizado por la Universidad de Valparaíso (2021) examinó los efectos del polvo suspendido en los cultivos y el ganado, notando que hubo una reducción en la producción de cultivos como la uva y el aguacate debido a la acumulación de partículas en las hojas y los frutos.

b) Percepción y testimonios de la comunidad

Varias organizaciones sociales han mostrado su preocupación por la contaminación relacionada con la actividad minera. En entrevistas realizadas por OLCA (2021), los habitantes de Caleu y El Melón informaron sobre un aumento en enfermedades respiratorias, sequías frecuentes y la desaparición de especies vegetales autóctonas del bosque esclerófilo.

Aunque estos relatos no son pruebas científicas directas, son útiles para entender el impacto social del daño ambiental, especialmente en lugares donde no se realizan mediciones regulares o no hay sistemas de alerta temprana.

2.1.4 Evaluación del impacto en el entorno natural

a) Impacto en la biodiversidad

La región posee un ecosistema de bosque esclerófilo, incluyendo especies endémicas como el belloto del norte (*Beilschmiedia miersii*) y fauna silvestre como el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*).

El crecimiento de la actividad minera ha resultado en una reducción del hábitat y un aumento de la erosión. La fragmentación del paisaje dificulta la migración de especies y afecta su reproducción. Adicionalmente, el ruido y el movimiento de maquinaria alteran el comportamiento de los animales salvajes.

b) Impacto en el recurso hídrico

La reducción de los caudales superficiales y la explotación excesiva de aguas subterráneas han causado una crisis de agua constante en la comuna. Las autoridades han tenido que declarar zonas en situación de emergencia hídrica y suministrar agua con camiones cisterna. El consumo elevado de agua por parte de la minera es un factor clave en esta situación.

c) Impacto en la salud humana

Estudios iniciales en epidemiología sugieren que hay una relación entre la exposición continua a partículas en el aire y el aumento de enfermedades pulmonares, sobre todo en ancianos y niños. La exposición a metales pesados, incluso en cantidades pequeñas, puede tener efectos acumulativos en los riñones y el sistema nervioso.

2.1.5 Revisión del cumplimiento regulatorio

La empresa Minera El Soldado tiene que seguir diferentes normativas ambientales. Sin embargo, los procesos de sanción que han comenzado por parte de la SMA muestran que ha habido incumplimientos constantes:

Superación de los límites permitidos en las emisiones de polvo.

Falta de creación de barreras vegetales para reducir la dispersión.

No hay planes de contingencia para situaciones de filtración de aguas contaminadas.

Además, la compañía ha recibido críticas por poner en práctica de manera débil sus medidas de participación comunitaria, muchas de las cuales se realizan después de que ocurren los eventos o sin documentación pública.

2.1.6 Comparación con otros casos similares

El caso de El Soldado es similar a otros problemas ambientales en el país, como los de Caimanes (Minera Los Pelambres) y Andacollo (Minera Teck), donde también se han reportado efectos en el agua y el aire. Esta similitud subraya la urgencia de mejorar las regulaciones y los sistemas de monitoreo ambiental en tiempo real, así como asegurar una mayor claridad en el acceso a la información.

CAPITULO 3: MEDIDAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL

3.1. MEDIDAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL

En la actualidad la minera El Soldado extrae el mineral por medio de la minera a cielo abierto, dicha minería presenta altos niveles de contaminación, generando un gran impacto ambiental no solo en la zona donde se está desarrollando la extracción, sino también, afectando a sus alrededores. Con el fin de reducir dicho impacto, es necesario generar acciones que mitiguen el daño, ya sea, en un periodo a corto o largo plazo.

Algunas acciones que ayudarían a mitigar el impacto ambiental:

3.1.1. Generar políticas que fomenten la producción limpia

Para los problemas de producción más limpia, se debe reconocer la diferencia entre grandes, medianas y pequeñas empresas mineras. Para las empresas de mediana y pequeña minería requieran de un enfoque más centralizado, puesto que estas al no poseer una gran capacidad de financiación, en comparación a la gran minería, generan mayor contaminación, debido a que sus métodos no son tan prácticos y están limitados por la ausencia de capital, provocando que reducir sus emisiones represente un mayor problema. Para la gran minería, esta puede solventar en mayor medidas dichos problemas, poseen mayor capacidad financiera, lo que se traduce en un mejor manejo de las prácticas.

Para la implementación de una política que fomente la producción limpia, esta debe incluir una serie de aspectos:

- Prevenir la contaminación en el origen
- Reutilizar y reciclar el recurso residuo
- Generar mecanismos de Transferencia Tecnológica (aplicación de Tecnologías Limpias).
- Incorporar en la gestión global de las empresas el concepto de producción limpia
- Generar mecanismos de incentivo.

3.1.2. Estrategias y prácticas que pueden ayudar a disminuir la contaminación en la minería.

La actividad minera ha sido esencial para el desarrollo económico y tecnológico del país, aunque históricamente es una de las actividades industriales con mayor impacto ambiental. La contaminación provocada por esta actividad afecta al suelo, agua y aire, comprometiendo los ecosistemas y la calidad de vida de las localidades aledañas. En este contexto es de suma importancia implementar tecnologías y estrategias sostenibles para que se disminuya el impacto negativo y se promueva una minería más responsable con el medio ambiente.

Tecnología limpia: La implementación de tecnologías más limpias y eficientes puede disminuir las emisiones y la generación de desechos. Lo cual incluye el uso de equipos más modernos y procesos de extracción más eficientes.

Reciclaje y reutilización: Promover el reciclaje y la reutilización de materiales reduce la presión sobre el medio ambiente al reducir la necesidad de extraer nuevos recursos. También puede contribuir a disminuir la cantidad de residuos producidos por la minería.

Gestión de residuos: La implementación de prácticas eficaces de gestión de residuos, como la separación y eliminación adecuadas de los mismos, puede minimizar la contaminación del suelo y el agua.

Optimar la gestión del agua: La industria minera suele emplear grandes cantidades de agua y la gestión apropiada de este recurso es importante. Esto incluye reducir la liberación de aguas residuales contaminadas e implementar tecnologías de recuperación y reutilización de agua durante los procesos mineros.

Reforestación y restauración: Después de las actividades mineras, la implementación de programas de reforestación y restauración del paisaje puede ayudar a

reparar áreas degradadas, reducir la erosión del suelo y restaurar la biodiversidad.

Monitoreo Ambiental: Instaurar un sistema de monitoreo ambiental para evaluar y controlar las emisiones, la calidad del agua y otros impactos ambientales. Esto permite detectar problemas tempranamente y tomar medidas correctivas.

Participación de la comunidad: Incluir a las comunidades locales en los procesos de toma de decisiones puede ayudar a mitigar los impactos sociales y ambientales. La transparencia y la participación activa de la comunidad contribuyen a un enfoque más sostenible y responsable de la minería.

Investigación y desarrollo sustentables: Promover la investigación y el desarrollo de tecnologías más sustentables en la industria minera puede conducir a innovaciones que reduzcan la contaminación y mejoren la eficiencia de los procesos.

Dado el historial de considerable impacto ambiental en la zona donde opera la Minera El Soldado, especialmente en la Quebrada El Gallo y en la destrucción de ecosistemas de bosque nativo como el Belloto del Norte, es esencial que las próximas acciones de la empresa se enfoquen en opciones sostenibles que ofrezcan beneficios ambientales claros, que sean viables tanto técnica como económicamente, y que cuenten con una gran aceptación por parte de la comunidad local. Mediante una matriz de ponderación multicriterio que analizó diversas estrategias de mitigación y reparación ambiental, se destacaron tres áreas clave de intervención: gestión del agua, reforestación y restauración ecológica, así como una correcta gestión de residuos y un monitoreo ambiental constante.

La gestión del agua se presenta como una acción crucial, dado que las actividades de la minera han afectado gravemente la calidad y la cantidad de este recurso en la región, particularmente en el Valle del Estero El Cobre, que abastece a las comunidades cercanas. La implementación de tecnologías para la reutilización y tratamiento de aguas residuales no solo ayudaría a reducir este impacto, sino que también mejoraría la legitimidad de la

operación ante la población, que ha mostrado una gran preocupación por el acceso al agua limpia.

Por otro lado, la reforestación y restauración del paisaje, sobre todo en las áreas afectadas por el vertido de material estéril, es una acción clave para revertir el daño ecológico causado, resguardar servicios ecosistémicos vitales y asistir en la recuperación de especies nativas amenazadas, como el Belloto del Norte. Este tipo de intervención también tiene un significativo valor simbólico y práctico para reconstruir la confianza con las comunidades y mejorar el entorno.

Finalmente, una adecuada gestión de residuos, junto a un monitoreo ambiental estricto y transparente, permitirá evaluar los efectos a largo plazo de la actividad minera, evitar nuevos incidentes de contaminación y crear evidencia científica que guíe decisiones futuras. Estas acciones en conjunto forman un enfoque integral que no solo busca reparar los daños ya causados, sino también prevenir impactos futuros y establecer una relación más ética y responsable entre la minería y el contexto social y ecológico en el cual opera.

A continuación, se presentan algunas estrategias que no están presentes en la Minera El Soldado y que pueden ayudar significativamente a la disminución del impacto ambiental

Reutilización de relaves mineros como materia prima en la fabricación de materiales de construcción

El aprovechamiento de relaves mineros en la industria de la construcción ha experimentado un crecimiento significativo, impulsado por la implementación e investigación de nuevas metodologías para la reutilización de los desechos generados en los procesos mineros. Un caso es el de Australia, donde, como parte de los esfuerzos por reducir el volumen de desechos mineros y promover la sostenibilidad en la industria, se ha impulsado el uso de estos desechos como materia prima en la construcción. Esta práctica no solo

contribuye a mitigar el impacto ambiental asociado con el almacenamiento de relaves, sino que también ofrece soluciones económicas y eficientes para diversas aplicaciones constructivas, promoviendo la circularidad de los recursos y la optimización de materiales en el sector.

Adoptando la iniciativa de sustentabilidad ambiental, proyectos incorporados por empresas australianas como BHP, implementando fases piloto en faenas mineras como Olympic Dam, aunque se encuentra en fase de desarrollo y optimización. Otros proyectos donde también se han estado estudiando este posible uso de los relaves, son Vale, mediante su implementación en la Mina Do Pico, con el proyecto piloto en la planta Pico Bock. También universidades como Universidad de Queensland y la Universidad de Melbourne, se han unido para la investigación de como los relaves pueden ser aprovechados como materiales de construcción. A nivel nacional, investigadores de la Universidad Católica, han logrado obtener resultados satisfactorios, tras conseguir hasta un 40% en la mejora del rendimiento del cemento a partir de mezclas con relaves de cobre, entre otros que se han adentrado en nuevas tecnologías y métodos para la aplicación de relaves mineros como aditivo.



Figura 3-1 Ladrillos ecológicos con relaves mineros

Fuente: proyecto de reutilización de relaves en materiales de construcción.

Si bien, dichos proyectos aún se encuentran en fase experimental o realizados a pequeña escala, esto nos demuestra el cambio de mentalidad que se ha ido estableciendo por parte las empresas y la sociedad, en su búsqueda de la sustentabilidad ambiental, los beneficios que se obtendrían no solo a favor del medio ambiente, las empresas también se

verían favorecidas con dichos métodos, algunos de los beneficios que se podrían obtener serían:

Reducción de residuos: Al incorporar relaves en la producción de bloques de concreto, se reduce la cantidad de material desechado que se almacena en los depósitos, lo cual contribuye a minimizar los riesgos ambientales asociados con su acumulación, como la contaminación del suelo y del agua.

Sostenibilidad: Este enfoque forma parte de la economía circular, en la que los subproductos de la minería se reincorporan en la cadena productiva. Al aprovechar los relaves, se evita la extracción de recursos naturales adicionales, como la arena o la grava, y se reduce la huella ecológica del sector de la construcción.

Mejora de las propiedades del concreto: Cuando los relaves son procesados adecuadamente, pueden mejorar ciertas propiedades del concreto, como su resistencia y durabilidad. Dependiendo de su composición química y mineralógica, los bloques resultantes pueden tener características más robustas, lo que los hace más adecuados para una variedad de aplicaciones, desde viviendas hasta infraestructura.

Ahorro en costos: Reemplazar parcialmente los agregados tradicionales, como la arena y la grava, por relaves, puede reducir los costos de producción de los bloques de concreto. Esto no solo disminuye la dependencia de recursos naturales, sino que también ofrece un ahorro significativo en la fabricación de materiales de construcción.

A pesar de los beneficios que ofrece el uso de relaves como material en la construcción, existen varias dificultades que pueden surgir durante el proceso. Una de las principales complicaciones es la variabilidad en la calidad de los relaves, ya que su composición química y mineralógica puede variar considerablemente según la mina de origen. Esta heterogeneidad podría ocasionar inconsistencias en la calidad del material, afectando propiedades esenciales como la resistencia y la durabilidad.

Además, el tratamiento y procesamiento de los relaves es crucial para garantizar su idoneidad en la producción de concreto. Es necesario eliminar impurezas o sustancias peligrosas que puedan comprometer la calidad del material, lo que implica una inversión en infraestructura y tecnología especializada, lo que representa un desafío en términos de costos y recursos.

Otro reto importante son las regulaciones y normativas ambientales, que en muchos países requieren cumplir con estrictos requisitos para el uso de materiales reciclados en la construcción. Las autoridades pueden exigir pruebas rigurosas sobre la seguridad de los relaves, lo que puede generar retrasos y costos adicionales. En algunos casos, los relaves contienen metales pesados u otros contaminantes que requieren un manejo especial para prevenir riesgos tanto para la salud como para el medio ambiente.

La aceptación y confianza en el mercado es también un desafío, ya que algunos sectores de la industria, como constructores o consumidores, pueden ser reacios a utilizar materiales reciclados. Superar esta desconfianza y asegurar que los bloques de concretos fabricados con relaves cumplan con altos estándares de calidad y seguridad será clave para su éxito.

Finalmente, los costos de implementación pueden ser elevados, especialmente debido a la necesidad de infraestructura inicial para procesar los relaves y los recursos destinados a garantizar que los productos finales cumplan con las normativas de calidad. Por otro lado, la introducción de los relaves como sustituto de los agregados tradicionales podría tener un impacto en la industria minera y de materiales de construcción, ya que dependería menos de la extracción de arena y grava, lo que podría generar incertidumbre en el mercado laboral y en la disponibilidad de estos materiales.

Implementación de Nanobiotecnología

La Nanobiotecnología es una disciplina emergente que utiliza los métodos y herramientas de la nanotecnología en sistemas biológicos para resolver problemas o mejorar procesos.



Figura 3-2 Dispositivo basado en nanotecnología, utilizado para la detección y monitoreo de contaminantes en procesos industriales.

Fuente: Laboratorio de nanotecnología industrial.

En el contexto de la minería esta tecnología puede reducir los efectos negativos de las actividades sobre el entorno natural.

En primer lugar, la biorremediación con nanopartículas puede utilizarse para descomponer contaminantes del medio ambiente tales como los metales pesados, estas nanopartículas actúan como catalizadores para acelerar la descomposición de los metales tóxicos que se generan por ejemplo en los relaves mineros. También al utilizar microorganismos con estas nanopartículas permite restaurar áreas afectadas por la lixiviación de sustancias nocivas.

En segundo lugar, el manejo de las aguas residuales es un desafío importante en la minería en general por lo que la utilización de membranas nanoporosas puede ofrecer una solución para la purificación de esta agua. En el soldado pueden implementarse estos sistemas para eliminar metales pesados tales como arsénico, mercurio, etc. Además, esta tecnología permite asegurar la reutilización de agua ya que al crear sistemas cerrados de tratamiento se puede reciclar en los procesos operativos, reduciendo su consumo.

Por otro lado, la aplicación de nanosensores permite una detección temprana de contaminantes ya que estos son dispositivos extremadamente sensibles capaces de detectar concentraciones muy bajas de sustancias. Esto accede a encontrar la presencia de contaminantes en las fuentes hídricas como metales pesados o sulfatos cercanos a la mina. A su vez concede una mejor prevención de emisiones ya que se monitorea la emisión de estos gases como el dióxido de azufre que provienen del proceso de fundición

Por otra parte, la utilización de nano capsulas las cuales corresponde a estructuras diminutas que transportan y liberan sustancias de manera controlada. En el contexto minero están pueden emplearse para mejorar la eficiencia de los procesos metalúrgicos como por ejemplo una extracción más limpia de cobre ya que al liberar encima o microorganismos en estas capsulas van a actuar como catalizadores para disolver el cobre de la roca y así evitar y minimizar el uso de ácidos o reactivos químicos mucho más agresivos y contaminantes.

Por último, el uso de nanopartículas permite que estas interactúen específicamente con ciertos contaminantes, atrapándolos o transformándolos en compuestos menos peligrosos, como por ejemplo su utilización en la captura de metales pesados, lo que permite una fácil remoción del agua o los relaves. Además de su implementación en filtros para atrapar compuestos tóxicos liberados en los procesos industriales.

De manera general los beneficios potenciales de la utilización de la Nanobiotecnología en minería destacan una mayor eficiencia en los procesos mineros, una mayor reducción de residuos al minimizar o evitar utilizar el uso de reactivos químicos. Se genera una mayor sustentabilidad ya que contribuye a una minería más y limpia y alineada con los estándares ambientales lo que conlleva a un mayor cumplimiento normativo en cuanto a las regulaciones ambientales.

Por el contrario, los desafíos de esta implementación son los costos iniciales llevados ya que este tipo de tecnología requiere de inversiones significativas de dinero, además de una mayor demanda en cuanto a tiempo y capacitación especializada, también se presentan riesgos desconocidos ya que es de importancia evaluar los impactos que estas tecnologías pueden generar en la salud humana o para el mismo medio ambiente.

Algunas empresas que se especializan en esta tecnología

Nano Industrial Tech: Esta empresa chilena se dedica a la producción de nanomateriales como nanocobre, nanotubos de carbono y grafeno. Sus desarrollos incluyen bioplásticos, sanitizantes con nanocobre y productos para aplicaciones agrícolas potenciados con nanopartículas.

Nanotec Chile: Se especializan en el uso de nanopartículas de cobre, aprovechando sus propiedades biocidas y catalizadoras, lo que puede ser beneficioso en procesos mineros que requieren control de microorganismos y optimización de reacciones químicas.

Sistrat SpA: esta empresa ha desarrollado soluciones innovadoras para la minería, como sistemas de monitoreo en tiempo real para el control de desprendimiento de componentes en equipos mineros, utilizando sensores basados en nanotecnología

CONCLUSIÓN

Con respecto a lo expuesto anteriormente, el objetivo fundamental de este trabajo es dar a conocer el daño causado por la Minera El Soldado y a su vez, dar posibles soluciones para tener una industria minera con un impacto ambiental menos severo y así cuidar y preservar el ecosistema donde vivimos, ya que, este tipo de actividades productivas estarán ligadas por mucho tiempo al país, puesto que es el principal motor económico. Durante los años las políticas medio ambientales han mejorado, y ha quedado claro con el hecho de que la Minera El Soldado ha sido capaz de implementar nuevas tecnologías para disminuir el impacto ambiental tales como el monitoreo ambiental en tiempo real, el reciclaje de agua y uso eficiente de recursos hídricos, uso de tecnologías para el control de la polución, eficiencia energética y reducción de emisiones de CO₂, manejo y tratamiento de relaves, revegetación y rehabilitación de áreas afectadas, entre otros.

Aun así, la minería ha experimentado una evolución significativa impulsada por los aprendizajes obtenidos a partir de errores y acontecimientos catastróficos ocurridos en el pasado, tales como las evidencias presentadas anteriormente. Estas demuestran el gran daño que pueden llegar a provocar las Mineras de nuestro país, en específico la Minera el Soldado, la cual durante años ha tenido un conflicto con el ecosistema en donde se sitúa, refiriéndose a la destrucción del bosque nativo en la Quebrada El Gallo, por el vertimiento de gran cantidad de material estéril y roca, y la expansión del tranque El Torito, el cual amenazó a la población de Bellotos del Norte, además del inminente miedo de la población que vive en el sector, por un posible debilitamiento del tranque antes mencionado y abrir nuevamente una herida que quedó en la memoria de los residentes.

Debido a esto se presentaron una serie de demandas, por el inmenso daño provocado a especies de la flora y fauna, suelo, atmósfera, recursos hídricos e incluso a las localidades aledañas, las cuales afortunadamente fueron favorables para el bienestar del medio ambiente presente, lo que significó una pérdida monetaria para la empresa en cuestión y una sucesión de penalizaciones, para intentar restaurar el orden natural en el ambiente afectado.

Para ello se evaluaron una serie de acciones preventivas para disminuir el impacto ambiental en lo mayor posible, tal como implementar un método de explotación que provoque una menor contaminación al ambiente, si bien es un tema de suma importancia ya

que hay métodos que no son lo suficientemente rentables, a la hora de extraer el mineral en cuestión y la empresa no se arriesgará a tener una pérdida millonaria. También como se mencionó con anterioridad, hacer uso de nuevas políticas ambientales y así aplicarlas, dependiendo si es pequeña, mediana o gran minería. Con el fin de tener un medioambiente sustentable y a su vez preservarlo, para sacar el máximo provecho de los recursos naturales que ofrece el planeta y no destruirlos y lamentarse en el futuro, por el daño irreversible que ocasionamos.

BIBLIOGRAFÍA

CHAPARRO Ávila, Eduardo. Minería y uso de agua [En línea]
https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Eduardo_Chaparro_agua_y_mineria.pdf> [Consulta: 11 diciembre 2020].

VENTIUS. SISTEMAS CONTROL DE POLVO [En línea]
<<http://www.ventius.cl/docs/Ventius%20Polvo%20en%20Mineria%202016.pdf>>
[Consulta: 11 diciembre 2020].

21° Juzgado Civil de Santiago. 40 SENTENCIA. ROL: C-22916-2012

RAMÍREZ, Jorge (2017, 14 de marzo). [Carta a Giorgio Jackson Drago].

VÁSQUEZ, Carlos. Ampliación del Tranque de Relaves El Torito (TRET) de la Comuna de Nogales y los procesos de participación ciudadana y algunas debilidades de la Legislación Ambiental en Chile.

YURISCH, Telye. SITUACIÓN DE LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN CHILE. EL CASO DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES [En línea]
<https://www.terram.cl/descargar/ambiente/contaminacion/app_-_analisis_de_politicas_publicas/APP-61-Situacion-de-los-Pasivos-Ambientales-Mineros-en-Chile-El-caso-de-los-depositos-de-relaves.pdf> [Consulta: 15 diciembre 2020].

Producción limpia en el sector minero [En línea]
<<http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/ProduccionLimpia/produccion-limpia.pdf>> [Consulta: 15 diciembre 2020].

CENMA, EVALUACION PRELIMINAR DE RIESGOS A LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA CUENCA DEL ESTERO DEL COBRE ASOCIADOS CON CONTAMINANTES AMBIENTALES ORIGINADOS POR ACTIVIDAD MINERA, EN RELACIÓN CON LA EXPOSICIÓN HÍDRICA Y AGROALIMENTARIA [En línea] https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Info_Final_Esta_el_Cobre_completo.pdf [Consulta: 20 de abril 2024].

Reporte Minero. (2020, octubre 13). Nanotecnología: Ciencia agregando valor a la minería chilena. Reporte Minero.

<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2020/10/nanotecnologia-ciencia-agregando-valor-a-la-mineria-chilena>

Nanotec Chile. (n.d.). Nosotros. Nanotec Chile.

<https://www.mch.cl/columnas/nanotecnologia-y-mineria-la-era-de-los-nanoabsorbentes>

Cooperativa. (2024, septiembre 12). El valor de la nanotecnología en el desarrollo minero. Opinión.

<https://opinion.cooperativa.cl/opinion/ciencia-y-tecnologia/el-valor-de-la-nanotecnologia-en-el-desarrollo-minero/2024-09-12/000549 .HTML>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (n.d.). Nanotecnología para la minería: una alternativa hacia procesos más sostenibles. Mundo Nano. <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/52514/61786?>

Gestores de Residuos. (2021, abril 12). Utilizan una bacteria para eliminar metales pesados de aguas residuales. Gestores de Residuos.

<https://gestoresderesiduos.org/noticias/utilizan-una-bacteria-para-eliminar-metales-pesados-de-aguas-residuales>

Orozco Lab. (n.d.). Tecnologías para el tratamiento de metales en embalses mineros. Orozco Lab.

<https://www.orozolab.info/tecnologias-para-el-tratamiento-de-metales-en-embalses-mineros>

Equipo Minero. (n.d.). Vale potencia proyectos de filtración de relaves en planta block. *Equipo Minero*. Recuperado de <https://www.equipo-minero.com/secciones/soluciones/vale-potencia-proyectos-de-filtracion-de-relaves-en-planta-block/>

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2023, abril 18). Chile duplica desempeño del cemento a partir de mezclas con relaves de cobre. Facultad de Ingeniería UC. Recuperado de <https://www.ing.uc.cl/noticias/chile-duplica-desempeno-del-cemento-a-partir-de-mezclas-con-relaves-de-cobre/>

ScienceDirect. (2023). Innovative methods for sustainable tailings management in mining: A critical review. *Journal of Cleaner Production*. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423013157>

Contraloría General de la República. (2021). Informe de Auditoría Ambiental a Minera El Soldado.

OLCA. (2021). Archivo de conflictos ambientales – Minera El Soldado.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2021). Evaluación ambiental del Proyecto Expansión El Soldado.

SMA. (2020). Resolución Exenta N.º 241/2020.

Universidad Técnica Federico Santa María. (2020). Estudio de metales pesados en suelos agrícolas de Nogales.

Organización Mundial de la Salud. (2020). Directrices sobre calidad del suelo.

Superintendencia del Medio Ambiente. (2020). Resolución Exenta N.º 241/2020.

Universidad Técnica Federico Santa María. (2020). Estudio de metales pesados en suelos agrícolas de El Melón.

Universidad de Valparaíso. (2021). Evaluación del impacto agrícola de la contaminación minera en la comuna de Nogales.

OLCA. (2021). Archivo de conflictos ambientales: Minera El Soldado.

Organización Mundial de la Salud. (2020). Guías de calidad del aire y suelo para la salud pública.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2021). Informe de evaluación ambiental del proyecto de Minera El Soldado.