

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

TRABAJO DE TITULO

**ASPECTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
PRODUCCION DE TIERRAS RARAS EN LA PROVINCIA
DE CONCEPCION**

Trabajo de titulación para optar al
Título de Ingeniero En Ejecución
Química Mención Control
Alumna:
Claudia Andrea Burgos Ulloa
Profesor Guía:
Cristian Pereira Agurto

Agradecimientos

Primero que nada, agradezco a Dios por las oportunidades que me ha brindado y por las personas que ha puesto en mi camino, mis profesores, compañeros que han sido un gran apoyo durante el periodo académico.

A mis amados hermanos, quienes me han motivado a seguir avanzando, a Megu y Chloe por todo el cariño que me han entregado y al amor de mi vida, mi compañero Jeans, que ha sido pilar fundamental durante casi la mitad de mi estadía en este mundo.

Resumen

El Origen de este trabajo surge considerando las problemáticas ambientales que podrían tener para la región, la minería de tierras raras, ya que sus efectos nocivos son muy poco conocidos para la sociedad en general.

Cada zona presenta una geografía e hidrografía distintas, tiene una flora y fauna única que es necesario preservar, así como también es necesario velar por la tranquilidad y la salud de las comunidades que se verán afectadas, proteger también a los rubros que viven de los recursos del mar, turismo y agricultura los cuales son fuente laboral de miles de personas.

Muchos asentamientos obtienen su fuente hídrica de ríos y esteros lo cual luego de una faena de esta envergadura como los biolantánidos explotará y contaminará este recurso con consecuencias irreversibles.

Se realizó una investigación sobre los principales aspectos ambientales ligados a la minería de tierras raras en esta zona, también lo importantes que son estos recursos para el desarrollo de las nuevas tecnologías y para las grandes potencias del mundo.

La faena que se pretende instalar es algo real, cuentan con su planta piloto en la cual se invirtieron 5 millones de dólares y desde el 2015 están intentando ingresar este proyecto al SEIA el cual les ha sido negado en variadas ocasiones.

INDICE

INTRODUCCION	1
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:	2
Alcance:.....	2
CAPITULO I.....	4
1.1. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD MINERA DE BIOLANTANIDOS	8
1.1.1 ¿Qué es la industria de la minería de biolantánidos?	8
1.1.2 Proceso productivo de la extracción de tierras raras.....	10
1.1.3 Importancia en el mercado global.....	11
FIG 1 Evolución del precio de NdPr a través del tiempo (meses) vs valor en dólares por Tonelada.....	13
1.2. CASO MINERA DE BIOLANTANIDOS EN LA PROVINCIA DE CONCEPCION.....	14
1.2.1 Descripción de la actividad.....	14
1.2.2 Descripción de la faena.....	14
1.2.3 Vida útil del Proyecto y de sus partes y obras:	14
1.2.4 Instalaciones del proyecto.....	15
CAPITULO II	17
2.0 IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES LIGADOS A LA EXPLOTACION DE TIERRAS RARAS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1 EJEMPLOS PRACTICOS	21
2.1.1 Lago toxico de Baotou, China	21
2.1.2 Bayan Obo, China.....	22
2.1.4 Rare earth metals, California E.E.U.U.....	22
2.2 El ECOSITEMA LOCAL	23
2.2.1 Clima.....	23
2.2.2 Vegetación	23
2.2.3 Fauna.....	24
2.3 CASO MINERA BIOLANTANIDOS	25
2.3.1 Introducción	25
2.3.2 Según el SEIA.....	25
2.3.3 La contaminación de la cuenca	26
2.3.4 Cercanía a las zonas residenciales	26
2.3.5 El Inminente deterioro ambiental	26
2.3.6 Entrevista medios de prensa locales a las autoridades.....	27
2.3.7 El oficio 103 según declaraciones del SEA	27
2.4 NORMATIVA VIGENTE CALIDAD DE AGUAS NCh 1333.....	28
2.4.1 Introducción	28
2.4.2 Alcance y campo de aplicación	28

2.4.3 Requisitos del agua para consumo humano 29

2.4.4 Requisitos del agua para la bebida de animales 29

2.4.5 Requisitos del agua para riego 30

2.4.6 Requisitos para agua destinada a recreación y estética 33

2.4.7 SUSTANCIAS TOXICAS.....36

2.4.8 Requisitos bacteriológicos 38

CAPÍTULO III.....39

3.0 ASPECTOS AMBIENTALES 39

3.1. EFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACION 43

3.1.1 Exposición a metales pesados 43

3.1.2. Toxicidad renal y hepática 43

3.1.3 Efectos cardiovasculares: 43

3.1.4 Daños en el desarrollo fetal.....43

3.2 EMISIONES DE POLVO Y PARTICULAS 44

3.2.1 Problemas respiratorios:.....44

3.3 IMPACTOS EN LA CADENA ALIMENTARIA 45

3.3.1 Contaminación del suelo 45

3.3.2 Calidad de los alimentos 45

3.3.3 Impacto en la ganadería 45

3.3.4 Cadena alimentaria y salud humana 45

CAPÍTULO IV 46

4.0 MEDIDAS DE MITIGACION Y FORMAS EXTRACTIVAS
ALTERNATIVAS PARA REE.....46

4.1 INTRODUCCIÓN.....50

4.2 MITIGACION DE IMPACTOS EN LA CADENA ALIMENTARIA 52

4.2.1 Control de polvo 52

4.2.2 Tecnología de control de emisiones:.....52

4.2.3 Monitoreo y cumplimiento de regulaciones.....52

4.3 TECNICAS ALTERNATIVAS DE EXTRACCION DE TIERRAS RARAS 53

4.3.1 Fitominería 53

4.3.2 Bioextracción 55

4.3.3 Fitorremediación 56

CONCLUSIÓN 62

BIBLIOGRAFIA.....63

ANEXOS.....67

ANEXO A GLOSARIO TÉCNICO 67

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación de las minas y faenas donde se explotan tierras raras, en rojo los puntos donde se explotan y procesan los REE como mineral primario y en azul como secundario..... 12

Ilustración 2 Fuente Archivos EE. UU. Zonas con mayores reservas de tierras raras..... 12

Ilustración 3 Evolución del precio de NdPr a través del tiempo (meses) vs valor en dólares por Tonelada. 13

Ilustración 4 Lago Batotou más conocido como el vertedero de desechos tóxicos por riles de biolantánidos con elevada presencia de componentes radiactivos 21

Ilustración 5 Fauna autóctona de la zona (chucac, pudú, puma, zorro de Darwin)..... 24

Ilustración 6 Criterios según Baker (1989) El factor de traslación (FT) es definido como el cociente de la concentración del metal en los órganos aéreos y su concentración en la raíz..... 56

Ilustración 7 Capacidad de retención de los metales en las raíces Resultados de los estudios desarrollados en 3 especies potenciales para la restauración (Chillca, Sehuenca y Asnahuaycha)..... 56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego valores máximos permisibles de algunos elementos 30

Tabla 2 Clasificación de aguas para riego según su salinidad..... 32

Tabla 3 Requisitos para agua con contacto directo para recreación..... 33

Tabla 4 Parámetros para preservar vida acuática en aguas dulces 34

Tabla 5 Criterios de seguridad para sustancias tóxicas 36

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

Sigla

REE:.....Elementos de Tierras Raras (siglas en inglés, Rare Earth Elements)

EULA: Centro de ciencias ambientales, universidad de concepción

%......Porcentaje

PH.....Potencial de Hidrogeniones

REM:.....Metales de Tierras Raras (siglas en inglés, Rare Earth Metals)

LREE.....Tierras Raras Livianas (Light Rare Earth Elements).

HREE.....Tierras Raras Pesadas (Heavy Rare Earth Elements)

SEIA.....Servicio de evaluación de impacto ambiental

EIA.....Estudio de impacto ambiental

D.S.....Decreto supremo

Simbología (de acuerdo con lo estipulado por el sistema i. de unidades)

°C:..... Grados centígrados

Cm:..... Centímetros

Ha:..... Hectárea

Kg:..... Kilogramos

Lt:..... Litro

M:..... Metro

m2:..... Metro cuadrado

m3:..... Metro cúbico

Mg:..... Milígramo

ml:..... Mililitros

µm:..... Micrón o micra

Simbología Química

La:.....Lantano

Ce:.....Cerio

Nd:.....Neodimio

Pm:.....Prometio

Sm:.....Samario

Sc:.....Escandio

Gd:.....Gadolinio

Tb:.....Terbio

Dy:.....Disprosio

Ho:.....Holmio

Er:.....Erbio

Tm:.....Tulio

Yb:.....Yterbio

Lu:.....Lutecio

Y:.....Ytrio

INTRODUCCION

Las tierras raras son un conjunto de 17 elementos químicos, cruciales para la fabricación de una amplia gama de tecnologías de vanguardia, desde dispositivos electrónicos hasta equipos médicos y sistemas de energía renovable. Estos elementos, a pesar de su denominación como "raros", están presentes en la corteza terrestre, pero su extracción y proceso es complicado y costoso.

La extracción y la obtención del producto (concentrado de tierras raras) conlleva impactos ambientales significativos. La minería de tierras raras provoca contaminación del agua y del suelo debido a la liberación de productos químicos tóxicos y residuos mineros.

Además, el refinamiento de tierras raras requiere grandes cantidades de energía, lo que puede aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero si no se utilizan métodos de producción sostenibles.

La producción de tierras raras lleva a la sobreexplotación de recursos naturales y la degradación de ecosistemas locales, ya que la demanda mundial ejerce presión sobre los puntos de extracción.

Desde 2015, en un cerro de la provincia de Concepción comenzó a gestarse un proyecto minero de cielo abierto que tiene potenciales efectos negativos en la salud de la población y ecosistemas en su entorno (varias comunas). La zona está ampliamente intervenida por las plantaciones forestales y sumaría otra industria extractivista, la Minería de Tierras Raras.

La empresa Biolantánidos en el año 2015 inauguró una planta piloto con un costo de 5 millones de dólares para el procesamiento de arcillas iónicas ricas en tierras raras. La planta constituyó la fase de experimentación y preparación de una faena minera que explotará los esteros de la zona, que son fuente hídrica para las comunidades.

En este proyecto buscamos visibilizar los principales aspectos ambientales relacionados a esta actividad visibilizando los efectos negativos en el ecosistema

Objetivo general:

Caracterizar y visibilizar los principales aspectos ambientales relacionados a la extracción de tierras raras analizando particularmente el caso de la minera biolantánidos de la región, sus implicancias en la salud de la población abordando también medidas de mitigación para los impactos negativos en el ecosistema

Objetivos específicos:

- Descripción general de la actividad minera de biolantánidos
- Identificar aspectos ambientales primarios y secundarios y normativa vigente ligada a esta actividad.
- Efectos en la salud de la población.
- Presentar medidas de mitigación y formas de extracción alternativas a la extracción convencional

Alcance:

Análisis de aspectos ambientales, económicos, sanitarios y alternativas para la explotación de tierras raras.

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD MINERA DE BIOLANTANIDOS

1.1. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD MINERA DE BIOLANTANIDOS

1.1.1 ¿Qué es la industria de la minería de biolantánidos?

La historia de la industria de las tierras raras está marcada por avances científicos, crecimiento tecnológico e inquietudes sobre la necesidad constante de recursos limitados, a medida la humanidad va avanzando en innovación la demanda continúa creciendo y se están explorando otras materias primas con nuevas formas de extracción y producción con el motivo de asegurar una estabilidad en el suministro de recursos considerados críticos para el desarrollo de la humanidad

Es así como a principios del siglo XIX, el químico de nacionalidad sueca Carl Gustaf Mosander fue uno de los primeros científicos involucrado en el estudio de estos elementos, identificando y separando varios de ellos, incluyendo el lantano, cerio y otros, entre 1839 y 1843.

Con el paso del tiempo se tenía más información sobre las propiedades particulares de los elementos de tierras raras y se empezaron a desarrollar diversas tecnologías en la industria, como por ejemplo la producción de imanes de alta potencia, catalizadores, lámparas, pantallas de televisión y tecnologías de defensa.

Con respecto al crecimiento de la industria, el dominio de la producción de tierras raras por décadas, lo ha tenido China ya que ha sido uno de los mayores productores de tierras raras, con un activo control sobre la oferta global.

A fines del siglo XX y principios del siglo XXI, China se convirtió en el principal proveedor mundial de tierras raras, controlando una gran parte de la producción de estos elementos.

A medida que las tecnologías avanzaron de forma más significativa, como por ejemplo los teléfonos móviles, turbinas eólicas, baterías y vehículos eléctricos se volvieron parte del diario vivir, la demanda de tierras raras aumentó mucho más, tanto que estos elementos se convirtieron en componentes críticos para muchos productos de alta tecnología.

Existen muchas preocupaciones sobre el suministro, al China tener la mayor oferta y ser el principal proveedor de tierras raras generó incertidumbre sobre la seguridad del abastecimiento en el resto del mundo, esto llevó a varios países a buscar en otras áreas sus fuentes de suministro y a explorar métodos alternativos de extracción, como la minería de biolantánidos.

.

1.1.2 Proceso productivo de la extracción de tierras raras

La minería convencional de tierras raras se centra en la extracción y procesamiento de estos elementos utilizando métodos tradicionales que implican una serie de pasos:

- **Exploración:**
Se llevan a cabo estudios geológicos y geofísicos para identificar áreas con potencial para contener depósitos de tierras raras. Esto puede incluir mapeo de superficie, análisis geoquímicos y estudios de perforación.
- **Extracción:**
Dependiendo de la ubicación y el tipo de depósito, se pueden emplear métodos de minería a cielo abierto o subterránea. En la minería a cielo abierto, se remueve la capa superficial para acceder al mineral, mientras que la minería subterránea implica la excavación de túneles para acceder a depósitos más profundos.
- **Trituración y molienda:**
El mineral extraído se tritura y muele para reducir su tamaño, facilitando la liberación de los minerales de tierras raras de la roca matriz.
- **Producto final:**
Se utilizan procesos físicos y químicos para separar y concentrar los elementos de tierras raras del mineral triturado. Esto puede incluir métodos de flotación, lixiviación con ácidos y separación magnética.
- **Refinación:** Después de la separación, se lleva a cabo un proceso de refinación para purificar los elementos de tierras raras, eliminando impurezas y obteniendo compuestos o productos con mayor pureza.

1.1.3 Importancia en el mercado global

Los biolantánidos son elementos cruciales en la fabricación de una gran cantidad de productos tecnológicos de uso cotidiano, por lo que son materiales que tienen una gran importancia en el mercado global. Aunque no son "raras" en términos de abundancia en la corteza terrestre, su dispersión y dificultad para extraerlos y refinarlos los hacen valiosos y estratégicos. Su relevancia son las siguientes

Las tierras raras son elementos cruciales en la economía global ya que tienen un papel fundamental en muchísimas industrias de alta tecnología y sectores estratégicos. A nivel mundial su producción y disposición son de gran interés por su amplia gama de aplicaciones y su relativa escasez y poca rentabilidad en su extracción

Producción y dominio de mercado: China ha sido históricamente el principal productor y proveedor de tierras raras, controlando alrededor del 80-90% de la producción mundial. Las tierras raras son fundamentales en la fabricación de dispositivos electrónicos modernos, vehículos eléctricos, turbinas eólicas, tecnologías de defensa y más. Su demanda ha crecido con la evolución de la tecnología y la necesidad de energía más limpia, impulsando así el interés en asegurar un suministro estable y diversificado.

Su explotación provoca efectos catastróficos en el ecosistema, La baja concentración en la que se encuentran en los minerales hace extremadamente compleja y contaminante su extracción a esto se suma el hecho de que separar las tierras raras y purificarlas es medioambientalmente muy agresivo y costoso. Esto llevó a muchos países, como Estados Unidos, que tenían tierras raras a mandarlas a China para su procesamiento y evitarse así el deterioro medioambiental.



Fuente: Cochilco basado en SNL Metals & Mining.

Ilustración 1 Ubicación de las minas y faenas donde se explotan tierras raras, en rojo los puntos donde se explotan y procesan los REE como mineral primario y en azul como secundario

Ranking de países con mayores reservas de tierras raras en 2022

(Miles de toneladas métricas de óxido de tierras raras)

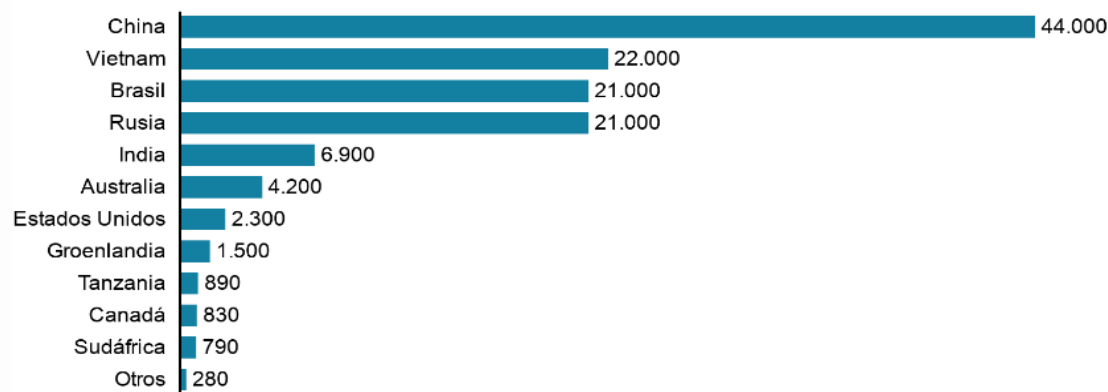


Ilustración 2 Fuente Archivos EE. UU. Zonas con mayores reservas de tierras raras

El neodimio y el praseodimio (utilizados en imanes) son los más valiosos, se calcula que la demanda de estos minerales se disparará un 300% en 2030.

Se usan ampliamente en los motores de los vehículos eléctricos (de 1 a 2 kg por motor) y turbinas eólicas (200 kg aproximadamente), el NdPr constituye un 20% del volumen de la actividad extractiva, pero entre un 80% y 90% de los ingresos de la industria

China actualmente procesa el 90% de todo el suministro, dado que el tratamiento de estos minerales es costoso y muy contaminante, por lo que los países desarrollados no suelen estar dispuestos a realizar esta función.

Los precios del NdPr se han duplicado desde mediados de 2020 impulsados principalmente por los límites en la oferta y un cierto repunte de la demanda. Se pronostica que el precio del NdPr pase de los 60 dólares por kilo hasta los 100 dólares por kilo en 2024

Los problemas entre la oferta y las fuertes alzas del precio, hace que China puede usar su poder de producción como arma en cualquier disputa geopolítica o

comercial. Ahora mismo, buena parte de la 'revolución verde' depende de estas tierras raras.

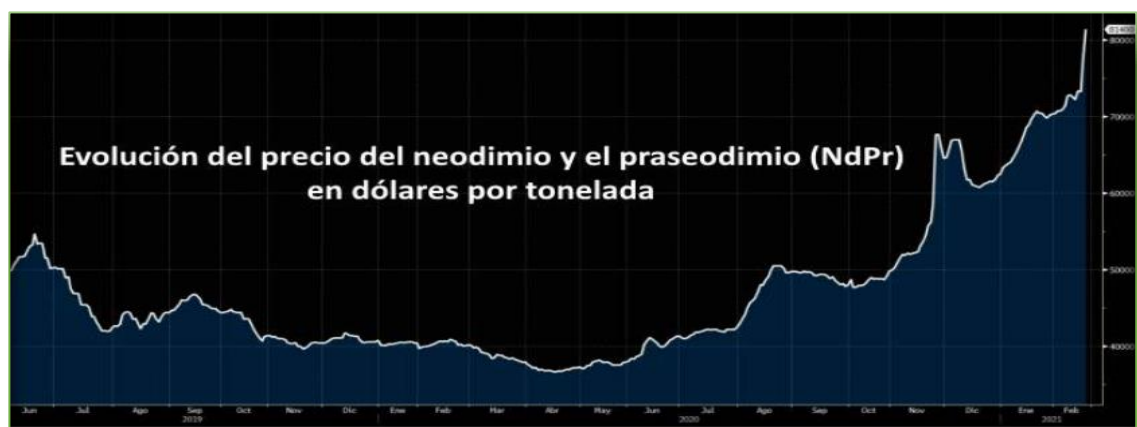


Ilustración 3 Evolución del precio de NdPr a través del tiempo (meses) vs valor en dólares por Tonelada.

1.2. CASO MINERA DE BIOLANTANIDOS EN LA PROVINCIA DE CONCEPCION

Introducción

El motivo por el cual nace este capítulo es con el objetivo de mostrar al lector la envergadura de esta faena y sus dimensiones preparando el camino para abordar sus devastadores aspectos ambientales.

1.2.1 Descripción de la actividad

Se pretende producir concentrado de óxidos de lantánidos habitualmente conocido como tierras raras

1.2.2 Descripción de la faena

El proyecto abarca la construcción y operación de una faena minera, además de una planta de procesamiento de maicillo granítico con composición de lantánidos, se estima que con una capacidad para procesar hasta 240 ton/h de mineral para producir 1700 ton/Anuales de concentrado de tierras raras

Para conseguir este objetivo se deben utilizar 35.000 Lt/H de agua, y para obtener la cuota anual de concentrado se requieren explotar 30 millones de toneladas de maicillo.

Esta faena pretende habilitar seis zonas de extracción (ZE), tres zonas de disposición de estériles y maicillo granítico lavado, una planta de procesamiento, dos zonas de acopio temporal de capa de suelo vegetal, además de la implementación y mejoramiento de caminos para facilitar el acceso a las instalaciones, por añadidura se consideran obras temporales e instalación de las faenas de construcción y habilitación de las obras del proyecto.

1.2.3 Vida útil del Proyecto y de sus partes y obras:

La vida útil del Proyecto se estima en 15 años, transcurrido este período se evaluará la procedencia del cierre y desmantelamiento o la implementación de ajustes al proyecto, que consideren la mejora de equipos y procesos concordantes con los cambios tecnológicos disponibles a la fecha, orientados a mantener la operación de este.

1.2.4 Instalaciones del proyecto

Planta de procesamiento:

- Zonas de acopio de suelo vegetal
- Zonas de extracción (ZE)
- Zonas de Disposición (ZD)

Superficie obras temporales del proyecto:

- Instalación de faenas 2,1 ha

Superficie obras permanentes del proyecto (269,7 ha):

- Planta de procesamiento 13,9 ha

Zona de extracción (ZE):

- ZE Luna **4,9 ha**
- ZE Victoria Norte **28,7 ha**
- ZE Victoria Sur **22,6 ha**
- ZE Maite **30,6 ha**
- ZE Alexandra **42,9 ha**
- ZE Renata **17,5 ha**

Zona de disposición (ZD):

- ZD Júpiter **31,5 ha**
- ZD Urano **20,4 ha**
- ZD Neptuno **25,9 ha**

Zona de acopio temporal:

- Zona 1 acopio suelo vegetal **3,9 ha**
- Zona 2 acopio suelo vegetal **3,6 ha**

Caminos y tubería de impulsión:

- Caminos Internos existentes (13,3 Km longitud *2 m de ensanche a cada lado del camino) **5,3 ha**
- Caminos internos proyectados (18,8 Km longitud * 9 m de ancho) **16,9 ha**
- Enlace empalme a ruta 152 **0,4 ha**
- Impulsión de agua (6 km longitud* 0,5 m ancho) **0,3 ha**

Modificación porción de trazado oleoducto preexistente:

Modificación de trazado oleoducto preexistente (1.300 m de longitud, 5 m de ancho de zanja y camino de servicio) **0,7 ha**

CAPITULO II

IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES LIGADOS A LA EXPLOTACION DE TIERRAS RARAS

2.1 EJEMPLOS PRACTICOS

2.1.1 Lago toxico de Baotou, China

En el pasado este lugar era tierra de agricultores, en algún momento se empezó a formar un lago debido a las represas de ríos aledaños y por inundaciones, sin embargo, en el momento en que la minería de biolantánidos llego al área este lago se convirtió en un vertedero de residuos tóxicos con alta presencia radiactiva

Aquí se encuentra una planta que se dedica a producir cerio, el producto es oxido de cerio que se utiliza para limpiar las pantallas de los móviles, la industria fue paralizada pero no por motivos ambientales si no para crear una escasez del producto y así crear un alza

El proceso químico de la obtención del cerio viene de la trituración de los minerales y posterior disolución en ácido sulfúrico y nítrico, lo cual debido a la envergadura de las instalaciones se hace a escala industrial por lo cual se produce una gran cantidad de residuo toxico,



Ilustración 4 Lago Batotou más conocido como el vertedero de desechos tóxicos por riles de biolantánidos con elevada presencia de componentes radiactivos

2.1.2 Bayan Obo, China

Bayan Obo es una ciudad industrial minera que ha extraído y procesado tierras raras, hierro niobio, entre otros materiales, en la Mongolia Interior (China), desde la década de 1960. Es el mayor depósito de tierras raras del planeta, y en 2019 produjo el 45% de las tierras raras del mundo. Décadas de explotación han contaminado severamente el suelo y el agua de la zona con metales pesados, flúor y arsénico, envenenando gravemente a los habitantes y los ecosistemas locales. Las actividades de explotación minera industrial a largo plazo han generado grandes cantidades de residuos que contienen tierras raras, así como elementos químicos tóxicos, metales pesados y elementos radiactivos. Esta contaminación afecta a la cuenca del río Huang He, del que depende que casi 200 millones de personas tengan acceso a agua potable, irrigación, pesca e industria. Bayan Obo es un recordatorio mundial de los grandes peligros, de los riesgos de contaminación radioactiva y de las consecuencias para la salud derivadas de la extracción y procesamiento de tierras raras.

2.1.4 Rare earth metals, California E.E.U.U

Aunque cerrada, esta mina fue una vez una fuente significativa de tierras raras. Sin embargo, su operación anterior resultó en contaminación del agua subterránea y el suelo, lo que llevó a la necesidad de trabajos de limpieza y restauración.

Podría decirse que el dominio que tiene China sobre el mercado de tierras raras se debe a que el gigante asiático tiene una mayor disposición a asumir el impacto ambiental que esta actividad conlleva, a diferencia de otros países.

2.2 EL ECOSITEMA LOCAL

2.2.1 Clima

Desde el punto de vista climático, la región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Biobío.

En la franja costera y en los sectores altos y laderas occidentales de la cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante con precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región.

En la parte norte de la región predomina el clima templado mediterráneo abarcando toda la zona intermedia, bordes orientales de la Cordillera de la Costa y los sectores más bajos de la precordillera.

2.2.2 Vegetación

Las características climáticas que presenta la región en su extremo norte permiten la existencia del espino, asociado con boldo, peumo y quillay. En cambio, hacia el sur se encuentra el bosque esclerófilo, en donde hoy es posible apreciar el cambio que se ha producido en la vegetación natural por las plantaciones forestales de pinos y por cultivos agrícolas.

se ubica el bosque templado higromórfico, principalmente en la Cordillera de la Costa y en la precordillera andina, donde predomina especies como el roble (*Nothofagus obliqua*), el ciprés (*Austrocedrus chilensis*), y en los sectores con mayores alturas es posible encontrar roble y mañío, canelo (*Drimys winteri*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), avellano (*Gevuina avellana*), el copihue, quila y ulmo, Corintillo o Madroño, Avellanillo, y naranjillo.

La región del Biobío posee una gran importancia respecto de la amplia variedad de especies nativas: por una parte, tanto en la sección alta del Río Biobío, como en la Cordillera de Nahuelbuta se encuentra el bosque de Araucarias, el cual habitualmente se asocia con especies como coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lenga (*Nothofagus pumilio*) y ñirre (*Nothofagus antártica*).

2.2.3 Fauna

En la cordillera de Nahuelbuta se pueden apreciar especies de la fauna y avifauna típica nacional, como el pudú (*Pudu puda*), el chucac (Scelorchilus rubecula), el carpintero negro (*Campephilus magellanicus*), el pitío (*Colaptes pitius*), el zorro de Darwin o Chilote (*Lycalopex fulvipes*), y el Puma (*Puma concolor*). y aves como el Diucón, Chucac, Rayadito, Cachudito.



Ilustración 5 Fauna autóctona de la zona (chucac, pudú, puma, zorro de Darwin)

2.3 CASO MINERA BIOLANTANIDOS

2.3.1 Introducción

Durante el año 2015 a un proyecto relacionado a la extracción de biolantánidos se le permitió instalar una planta piloto, SEA Biobío y otras autoridades, resaltaron que no se necesitaba ningún permiso para hacer estos movimientos, al menos de momento.

Se invirtieron alrededor de US\$ 5 millones para ejecutar perforaciones y explotar casi dos toneladas al mes de la materia prima durante un tiempo.

El gerente de la época, Arturo Albornoz, hablaba de “exploraciones inocuas y bastante sencillas” debido a esto la comunidad comenzó a prestar atención.

El 2 de octubre del 2019 una gran firma, compró el 96% de Biolantánidos en US\$ 56 millones.

Respecto a las obras se detalló en el expediente que se necesitarán sólo 90 personas para la fase construcción y 140 para operaciones una vez que esté en funcionamiento por 15 años, la empresa en cuestión contaba con derechos de explotación de aguas sobre el esteros cabrito y penco

El alcalde de la comuna descartó que haya dado autorizaciones de uso de agua, afirmando “Es falso, generamos observaciones en contra del proyecto”, aseveró la autoridad regional por medio de un comunicado vía web

2.3.2 Según el SEIA

Según el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) ingresado por la empresa en diciembre de 2018 al SEA, el proyecto captaría el agua de los esteros Penco y El Cabrito. Utilizaría 35.000 litros de agua por hora solo del Estero Penco, situación que podría modificar sustancialmente el curso y caudal del agua de este río, que la propia Dirección General de Agua ha catalogado de «calidad excepcional», es decir de extraordinaria pureza y escasez, que es apta para el consumo humano.

2.3.3 La contaminación de la cuenca

Cabe señalar en el caso de que la cuenca de los esteros fuese contaminada con el actuar de la minera, la población de la ciudad de Penco se vería seriamente amenazada, ya que existen poblaciones aledañas, como por ejemplo Jaime Lea Plaza, que consumen esta agua y tienen incluso su propia planta de tratamiento.

2.3.4 Cercanía a las zonas residenciales

Las aguas del estero pasan por pleno centro de la ciudad, a solo un costado de su plaza principal, el proyecto se desarrollaría a menos de 3 km de la población de Penco, a menos de 10 kilómetros de zonas pobladas de Concepción, lo que genera preocupación e incertidumbre sobre posible contaminación al resto de la zona. “La empresa estaría localizada en un alto, a menos de dos kilómetros de otra población, que es mucho más grande que la zona residencial antes mencionada afectando a unos 2000 habitantes, La población Lord Cochrane y Vipla, que se encuentra frente del hospital Penco-Lirquén, estos asentamientos con seguridad serán víctimas del material particulado y la contaminación de sus esteros.

2.3.5 El Inminente deterioro ambiental

La idea de una minera que explote alrededor de 270 hectáreas con efectos poco estudiados y expuestos a la comunidad, potencialmente peligrosos para los ecosistemas y sus habitantes debería ser inviable

Se encuentran, además, del total de hectáreas en cuestión, 13,23 ha son de bosque nativo compuesto por especies como queule, pitao, naranjillo, hualle y boldo. El queule por su parte es un árbol nativo, en peligro de extinción, autóctono de Maule, Ñuble y Biobío. Fue declarado Monumento Natural en 1995, de ejecutarse las faenas mineras en la zona, la conservación de esta especie podría verse aún más afectada.

2.3.6 Entrevista medios de prensa locales a las autoridades

El 28 de septiembre un medio local de la región de Biobío, Concepción, emitió dos programas en los que se afirmaba que el alcalde de Penco, Víctor Hugo Figueroa (DC), habría autorizado el inicio de obras de construcción de tuberías de la minera Biolantánidos en el fundo “El Cabrito”, donde está instalada la etapa piloto del proyecto desde 2015. De los programas participaron como anfitrión Juan Antonio Kelly y el ingeniero forestal Roberto Francesconi.

En el programa hacían referencia al oficio 103 firmado por el alcalde en enero de 2019, y afirmaban que a través este oficio se aprobaba que la minera iniciara sus obras de tubería para el desvío de agua de los esteros Penco y Cabrito. El alcalde de la comuna portuaria inmediatamente se dispuso a desmentir la información de este medio por redes sociales. Sin embargo, fue tanto el impacto que causó en las comunidades, que optó por transmitir un comunicado público.

“No es el alcalde quien aprueba o rechaza este tipo de proyectos, son las autoridades de gobierno (intendente junto a 11 seremis) quienes toman esta resolución, y por esta razón en el mes de noviembre se envió una carta al intendente, una carta firmada por mí como alcalde y firmada por todos los concejales donde nosotros le pedimos al intendente que por favor no apruebe este proyecto (...) la opinión del intendente es clave, es fundamental, porque muchos de los seremis van a escuchar al intendente para votar el proyecto de la minera Biolantánidos”, señaló el alcalde vía streaming. (Carta al intendente y oficio 103)

2.3.7 El oficio 103 según declaraciones del SEA

El oficio 103 dirigido a la directora del SEA de Biobío, Marcela Núñez, se realizaron una serie de observaciones con respecto al proyecto. Si bien a criterio de muchos, el oficio podría haberse referido a mayor número de aspectos del proyecto que preocupan a la población, en ninguna parte del escrito se autorizó la construcción de tuberías, ni la aprobación de cualquier parte del proyecto. La municipalidad no tiene esas facultades sobre un proyecto que está ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

2.4 NORMATIVA VIGENTE CALIDAD DE AGUAS NCh 1333

2.4.1 Introducción

Esta norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. Estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen. El vaciamiento de residuos contaminantes a masas o cursos de agua deberá ajustarse a los requerimientos de calidad especificados para cada uso, teniendo en cuenta la capacidad de auto purificación y dilución del cuerpo receptor, de acuerdo con estudios que efectúe la Autoridad Competente en cada caso particular.

2.4.2 Alcance y campo de aplicación

Esta norma establece los requisitos de calidad del agua de acuerdo con su uso.

Esta norma se debe aplicar a las aguas destinadas a los usos siguientes:

- a) agua para consumo humano;
- b) agua para la bebida de animales;
- c) riego;
- d) recreación

2.4.3 Requisitos del agua para consumo humano

Debe cumplir con la norma NCh409.

2.4.4 Requisitos del agua para la bebida de animales

Debe cumplir con la norma NCh409. La Autoridad Competente debe determinar casos especiales

2.4.5 Requisitos del agua para riego

Requisitos químicos PH

El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0 (ver A.1).

Elementos químicos

Elemento		Unidad	Limite máximo
Aluminio	(Al)	mg/l	5,00
Arsénico	(As)	mg/l	0,10
Bario	(Ba)	mg/l	4,00
Berilio	(Be)	mg/l	0,10
Boro	(B)	mg/l	0,75
Cadmio	(Cd)	mg/l	0,010
Cianuro	(CN ⁻)	mg/l	0,20
Cloruro	(Cl ⁻)	mg/l	200,00
Cobalto	(Co)	mg/l	0,050
Cobre	(Cu)	mg/l	0,20
Cromo	(Cr)	mg/l	0,10
Fluoruro	(F ⁻)	mg/l	1,00
Hierro	(Fe)	mg/l	5,00
Litio	(Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos)	(Li)	mg/l	0,075
Manganeso	(Mn)	mg/l	0,20
Mercurio	(Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno	(Mo)	mg/l	0,010
Níquel	(Ni)	mg/l	0,20
Plata	(Ag)	mg/l	0,20
Plomo	(Pb)	mg/l	5,00
Selenio	(Se)	mg/l	0,020
Sodio porcentual	(Na)	%	35,00
Sulfato	(So ₄ =)	mg/l	250,00
Vanadio	(V)	mg/l	0,10
Zinc	(Zn)	mg/l	2,00

Tabla 1 Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego
valores máximos permisibles de algunos elementos

El Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada uno de los elementos de la tabla 1, mediante Resolución fundada en aquellos casos calificados que así lo determinen.

Razón de adsorción de sodio (RAS)

La Autoridad Competente debe establecerla en cada caso específico. (Ver A.2 y A.3).

Conductividad específica y sólidos disueltos totales

En la tabla 2 se da una clasificación de aguas para riego de acuerdo con sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales. (Ver A.4)

Clasificación	Conductividad específica, c, μ mhos/cm a 25°C	Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1\,500$	$500 < s \leq 1\,000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1\,500 < c \leq 3\,000$	$1\,000 < s \leq 2\,000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3\,000 < c \leq 7\,500$	$2\,000 < s \leq 5\,000$

Tabla 2 Clasificación de aguas para riego según su salinidad

Los valores de conductividad específica de un curso o masa de agua en particular no deben ser incrementados más allá de los límites que la Autoridad Competente determine, de acuerdo con el tipo de cultivo, manejo del agua y calidad excepcional del suelo.

2.4.6 Requisitos para agua destinada a recreación y estética

Recreación con contacto directo

7.2.1 El agua destinada a recreación con contacto directo (natación, buceo, esquí acuático) debe cumplir como mínimo con los requisitos que se indican en tabla.

Características	Requisito
pH	6,5 a 8,3 excepto si las condiciones naturales de las aguas muestren valores diferentes, pero en ningún caso menor de 5,0 o mayor de 9,0
Temperatura, °C, máximo	30
Claridad, mínimo *)	Visualización de discos Secchi a 1,20 m de profundidad
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	Ausentes
Aceites flotantes y grasas, mg/l, máximo *)	5
Aceites y grasas emulsificadas, mg/l, máximo *)	10
Color, unidades Escala Pt-Co, máximo *)	100
	Ausencia de colorantes artificiales
Turbiedad, unidades Escala Sílice, máximo *)	50
Coliformes fecales / 100 ml, máximo *)	1 000
Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes	Ausentes

Tabla 3 Requisitos para agua con contacto directo para recreación

Recreación sin contacto directo

El agua destinada a recreación sin contacto directo debe cumplir los mismos requisitos que se indican para recreación con contacto directo, en las características siguientes:

- sólidos flotantes visibles y espumas no naturales;
- aceites flotantes y grasas;

Según la norma Nch1333 of 1978 para preservar la vida acuática en aguas dulces se debe cumplir con los siguientes parámetros.

Características	Requisito
Oxígeno disuelto, mg/l	5 mínimo
pH	6,0 a 9,0
Alcalinidad total, mg/l de CaCO ₃	20 mínimo
Turbiedad debido a descarga, unidades Escala Sílice	No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades.
Temperatura	En flujos de agua corriente, no debe aumentar el valor natural en más de 3 °C.
Color	Ausencia de colorantes artificiales
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	Ausentes
Sólidos sedimentables	No deben exceder del valor natural
Petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo	No debe haber detección visual. No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o ribera. No debe haber olor perceptible.

Tabla 4 Parámetros para preservar vida acuática en aguas dulces

Agua destinada a usos estéticos

El agua destinada a usos estéticos debe estar exenta de las siguientes sustancias atribuibles a descarga o vaciamiento de residuos

- materias que sedimenten formando depósitos objetables;
- desechos flotantes, aceite, espuma y otros sólidos;
- sustancias que produzcan color, olor, sabor o turbiedad objetable;
- materias, incluyendo radionucleidos, en concentraciones o combinaciones que sean tóxicas o que produzcan reacciones fisiológicas indeseables en seres humanos, peces, otros animales y plantas.
- sustancias y condiciones o combinaciones de éstas, en concentraciones que produzcan vida acuática indeseable.

2.4.7 Sustancias tóxicas

El límite máximo de sustancias toxicas debe estudiarse mediante bioensayo para cada caso específico. El valor obtenido se expresa en LTM 96 debiendo respetarse los siguientes criterios de seguridad presentes en la siguiente tabla.

Tóxico	Factor de seguridad
Pesticidas	1/100 de la LTm96
Metales pesados	1/100 de la LTm96
Cianuros	1/10 de la LTm96
Tóxico no acumulativo	1/10 de la LTm96
Tóxico acumulativo y persistente	1/100 de la LTm96
Detergentes	1/10 de la LTm96

Tabla 5 Criterios de seguridad para sustancias tóxicas

Pesticidas, Herbicidas

La Autoridad Competente se debe pronunciar en cada caso específico. (Ver A.2 y A.5).

Insecticidas

No se considera que tengan efectos perniciosos en agua para riego. (Ver A.2).

2.1.6 Requisitos bacteriológicos

Nutrientes (N y P):

La autoridad competente se debe pronunciar en cada caso específico.

CULTIVO DE ORGANISMOS FILTRADORES

El agua destinada a organismos filtradores debe cumplir en la parte bacteriológica con lo que establece el reglamento sanitario de los alimentos en lo que se refiere a crianza, recolección y purificación de ostras y organismos filtradores

2.4.8 Requisitos bacteriológicos

Quistes protozoos o huevos:

La autoridad competente se debe pronunciar en cada caso específico.

Coliformes fecales

El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1 000 coliformes fecales / 100 ml. (Ver A.2).

CAPÍTULO III

ASPECTOS AMBIENTALES

3.1. EFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACION

3.1.1 Exposición a metales pesados

Los residuos mineros pueden contener metales pesados como el plomo, el cadmio y el arsénico, que son conocidos por ser perjudiciales para la salud humana. La exposición prolongada a estos metales puede causar problemas de salud graves, como daños al sistema nervioso, renal y cardiovascular.

Daños al sistema nervioso: El plomo y el mercurio, por ejemplo, pueden causar daños permanentes al sistema nervioso central. La exposición crónica a estos metales puede resultar en problemas cognitivos, dificultades de aprendizaje, trastornos del comportamiento y efectos neurológicos graves, especialmente en niños en etapa de desarrollo.

3.1.2. Toxicidad renal y hepática

La bioacumulación de metales pesados en los tejidos como cadmio y mercurio puede causar efectos negativos en el funcionamiento del hígado y riñones estos órganos son los encargados de filtrar y eliminar las toxinas del cuerpo, si una persona está expuesta a metales pesados de forma prolongada puede experimentar daños irreversibles en estos órganos

3.1.3 Efectos cardiovasculares:

Ciertos metales pesados como plomo y cadmio están relacionados con un mayor riesgo de enfermedades cardíacas, la exposición crónica a estas sustancias puede, aumentar la presión arterial, causar daño a los vasos sanguíneos y aumentar los riesgos de enfermedad al corazón

3.1.4 Daños en el desarrollo fetal

La exposición prenatal a metales pesados puede causar efectos indeseados en el desarrollo del feto y puede ocasionar partos prematuros, bajo peso al nacer y problemas de tipo neurológico

3.2 EMISIONES DE POLVO Y PARTICULAS

Las operaciones mineras pueden generar polvo y partículas en suspensión en el aire, lo que puede ser inhalado por las personas que viven cerca de las zonas de extracción. Esto puede llevar a problemas respiratorios, como irritación pulmonar, bronquitis crónica o exacerbación de condiciones respiratorias preexistentes.

Estas emisiones pueden provenir de varias fuentes dentro de la actividad minera:

Operaciones a cielo abierto

La remoción de capas de tierra y roca durante la extracción a cielo abierto puede generar polvo y partículas en suspensión en el aire. El uso de maquinaria pesada, explosiones controladas y el movimiento de material pueden contribuir a la generación de partículas finas.

Trituración y procesamiento

Las etapas de trituración, molienda y procesamiento del mineral pueden liberar partículas al aire debido al movimiento mecánico de los equipos utilizados para reducir el tamaño del material.

3.2.1 Problemas respiratorios:

La inhalación de partículas finas puede causar irritación en las vías respiratorias, exacerbando condiciones como el asma, la bronquitis y otros problemas respiratorios.

Las partículas finas, especialmente aquellas de tamaño menor a 2.5 micrómetros, pueden penetrar profundamente en los pulmones y llegar al torrente sanguíneo, contribuyendo a problemas cardiovasculares, efectos en la salud respiratoria y aumentando el riesgo de enfermedades pulmonares.

3.3 IMPACTOS EN LA CADENA ALIMENTARIA

La contaminación del suelo y el agua puede afectar la calidad de los cultivos y la salud de los animales que pastan en áreas cercanas a las faenas mineras. Esto puede resultar en la acumulación de contaminantes en los alimentos y en la cadena alimentaria, aumentando el riesgo de exposición a largo plazo a sustancias tóxicas.

3.3.1 Contaminación del suelo

Los desechos mineros y las emisiones de las operaciones mineras pueden contaminar el suelo con metales pesados y otros productos químicos tóxicos. Estos contaminantes pueden ser absorbidos por las plantas y acumularse en sus tejidos, lo que afecta la calidad de los cultivos.

3.3.2 Calidad de los alimentos

La presencia de metales pesados y productos químicos tóxicos en el suelo puede llevar a la acumulación de estas sustancias en los alimentos cultivados en esas áreas. Esto puede comprometer la calidad y seguridad de los productos agrícolas, generando preocupaciones sobre la ingestión de alimentos contaminados.

3.3.3 Impacto en la ganadería

Los animales que pastan en áreas cercanas a faenas mineras pueden ingerir contaminantes presentes en el suelo y el agua. Esto puede afectar su salud y la calidad de los productos de origen animal, como la leche, la carne o los huevos, lo que potencialmente expone a los consumidores a contaminantes.

3.3.4 Cadena alimentaria y salud humana

La acumulación de sustancias tóxicas en los alimentos puede tener efectos adversos en la salud humana. La ingesta continua de alimentos contaminados con metales pesados u otras sustancias químicas puede causar problemas de salud, como intoxicación, trastornos del desarrollo y enfermedades crónicas.

CAPÍTULO IV

MEDIDAS DE MITIGACION Y FORMAS EXTRACTIVAS ALTERNATIVAS PARA REE

4.1 INTRODUCCIÓN

Los biolantánidos suelen encontrarse en muy bajas concentraciones por esa razón es necesario procesar grandes cantidades de materia prima para conseguir pequeñas cantidades del producto concentrado de tierras raras.

Los biolantánidos se encuentran en la naturaleza juntos por lo tanto al ser explotados estas sustancias se obtienen mezcladas, por ende, se requieren grandes cantidades de energía y materiales para separarlas. En algunos casos los biolantánidos se encuentran junto a elementos radiactivos, es por eso que los procesos de extracción, reducción, separación y el refinamiento de tierras raras pueden crear residuos peligrosos y contaminantes para el agua, el suelo, el aire y llegarlos a todos los seres vivos incluso los humanos. El mayor punto de extracción y procesamiento de tierras raras del mundo, un ejemplo es Bayan Obo (China) ha estado vigente desde hace mucho tiempo, ha contaminado de modo devastador el agua superficial y subterránea, el suelo y el aire, y ha afectado gravemente a la salud de los ecosistemas y las comunidades locales.

4.2 MITIGACION DE IMPACTOS EN LA CADENA ALIMENTARIA

Es fundamental realizar evaluaciones ambientales exhaustivas, implementar prácticas mineras sostenibles y monitorear regularmente la calidad del suelo, el agua y los alimentos en las áreas cercanas a las operaciones mineras de tierras raras. Además, se deben aplicar medidas de control y remediación para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud de las comunidades locales.

Es esencial minimizar la exposición a estos metales pesados mediante prácticas mineras responsables, regulaciones ambientales estrictas y controles de salud adecuados para los trabajadores y las comunidades cercanas a las áreas mineras. Además, la conciencia pública sobre los riesgos asociados con la exposición a metales pesados y las medidas de prevención son fundamentales para proteger la salud humana.

Las prácticas de mitigación son fundamentales para reducir estas emisiones y sus impactos asociados:

4.2.1 Control de polvo

El uso de sistemas de supresión de polvo, como el rociado de agua en áreas propensas a generar polvo, puede reducir significativamente la dispersión de partículas.

4.2.2 Tecnología de control de emisiones:

La instalación de dispositivos de control de emisiones, como filtros de aire y colectores de polvo, en equipos de trituración y procesamiento puede ayudar a capturar partículas antes de su liberación al aire.

4.2.3 Monitoreo y cumplimiento de regulaciones

Es fundamental realizar monitoreos regulares de la calidad del aire y asegurar el cumplimiento de las regulaciones ambientales para controlar las emisiones de polvo y partículas en áreas mineras.

4.3 TECNICAS ALTERNATIVAS DE EXTRACCION DE TIERRAS RARAS

4.3.1 Fitominería

Es una técnica con enfoque innovador donde se utilizan plantas para extraer elementos con alto valor del suelo, el principio se basa principalmente en la cualidad que tienen algunas plantas para acumular metales en sus tejidos, las plantas absorbentes, conocidas como "hiperacumuladoras", pueden cultivarse en suelos ricos en tierras raras o en áreas contaminadas con estos elementos. Posteriormente, las plantas se cosechan y se someten a procesos de extracción para recuperar los elementos de tierras raras.

Las plantas se eligen meticulosamente en relación con su alta capacidad de acumulación de minerales específicos de acuerdo con el interés económico (níquel, zinc, biolantánidos, cobre etc.), estas plantas poseen mecanismos bioquímicos que las ayudan a tolerar altos niveles de acumulación sin recibir daños.

Como por ejemplo en el caso del maíz, germanio y silicio son absorbidos por las raíces y acomodados en las paredes celulares de las hojas, vegetales como el alforfón y girasoles son acumuladores de tierras raras mediante captación de calcio, para ello estas plantas, acidifican el suelo alrededor de sus raíces, el ácido, disuelve el fosforo y el hierro al que está ligado el calcio, también las tierras raras ligadas al fosforo, son captados por las raíces y se desplazan hasta llegar a las hojas, almacenándose en las paredes celulares en la célula misma y en depósitos de agua (vacuolas).

Las plantas tienen mucho potencial sin embargo este método se encuentra en estudio, la recuperación de estos recursos puede ser a través de métodos convencionales como la lixiviación, electrobtción o precipitación para que el producto sea comercialmente viable.

O bien, la materia prima se corta en trozos pequeños, se seca y se le agrega agua, posteriormente se introduce a un biorreactor en el cual los microorganismos se encargan de la producción de biogás y de la descomposición de las células vegetales, se obtiene una masa húmeda que posteriormente se seca en el horno obteniendo un digestato mineral vegetal rico en elementos de interés, luego se calcina este producto ya que los elementos que se buscan se obtienen de los residuos de combustión o cenizas dióxido de germanio y sales de tierras raras.

Se deben considerar los aspectos económicos, ambientales y sociales antes de adoptar cualquier método de extracción.

Ventajas

- Extracción de fuentes no convencionales: Buscar tierras raras en fuentes no tradicionales, como lodos de tratamiento de aguas residuales, residuos de minería, y productos secundarios de otros procesos.
- Se puede aplicar en zonas afectadas por metales pesados
- Es una forma de sacar máximo provecho a los recursos sin recurrir a la minería convencional.
- ofrece practicas respetuosas con el medio ambiente para la obtención de metales valiosos.

Desventajas:

- La efectividad de esta técnica esta directamente relacionada a las condiciones del suelo y la selección de las plantas apropiadas.

4.3.2 Bioextracción

Esta forma de extracción es mediante el uso de microorganismos, como bacterias y hongos que tienen la capacidad de disolver y lixiviar los minerales que contienen tierras raras. Estos microorganismos liberan compuestos orgánicos ácidos que pueden descomponer los minerales y extraer los elementos de tierras raras para su posterior recuperación.

La biolixiviación (microorganismos)

Extracción de aguas residuales mediante precipitación química o la adsorción en materiales específicos

Intercambio iónico con materiales específicos: El uso de materiales específicos con propiedades de intercambio iónico para atrapar y liberar tierras raras de soluciones acuosas es una técnica que se ha investigado. Los materiales pueden ser polímeros, resinas o incluso ciertos minerales modificados.

Ventajas:

- No produce grandes cantidades de residuos tóxicos
- Es una técnica con baja demanda energética
- Es muy económica en comparación a otras técnicas con fines similares
- Puede complementar otras técnicas
- No perturba el ecosistema
- Ofrece procesos simples, con pocos requerimientos

Desventajas

- Ofrece una recuperación de suelos pasiva y prolongada en el tiempo, por lo cual funciona mejor como complemento de otras técnicas de remediación.

4.3.3 Fitorremediación

Este método no se centra específicamente en la extracción de tierras raras, si no que utiliza plantas para acumular, metabolizar, absorber, volatilizar o estabilizar compuestos en las raíces y tejidos de las plantas, sin dañar su organismo en suelos y aguas contaminadas se puede lograr una reducción de la concentración de contaminantes incluidas los biolantánidos, en el medio ambiente.

¿Qué contaminantes?

Metales pesados, metales radiactivos compuestos orgánicos, hidrocarburos, y biolantánidos.

Criterios para evaluar el factor de translocación según Baker (1989)

Donde:

- valores mayores a 1 trasladan los contaminantes hasta las hojas.
- valores menores a 1 retienen los contaminantes en la raíz.

Ilustración 6 Criterios según Baker (1989) El factor de traslocación (FT) es definido como el cociente de la concentración del metal en los órganos aéreos y su concentración en la raíz.

METAL ANALIZADO	CHILLCA	SEHUENCA	ASNAHUAYCHA
Arsénico	1,86	0,73	0,91
Cadmio	1,47	0,33	1,49
Plomo	10,54	0,50	1,35
Zinc	2,31	0,34	1,79
Potencial de restauración	Extracción de contaminantes	Estabilización de contaminantes	Extracción de contaminantes, excepto en el caso del arsénico
Uso potencial	Fito minería	Forraje para ganado Barreras vivas	Fito minería
Imagen			

Ilustración 7 Capacidad de retención de los metales en las raíces Resultados de los estudios desarrollados en 3 especies potenciales para la restauración (Chillca, Sehuenca y Asnahuaycha)

Fitoestabilización:

Es un método perteneciente a la fitorremediación, el cual tiene como finalidad reducir la movilidad de los contaminantes, en especial metales pesados en el suelo, mediante el uso de plantas, este procedimiento tiene como principio fundamental limitar la dispersión y lixiviación de los contaminantes en el entorno.

La Fitoestabilización se considera una práctica importante en la gestión de suelos contaminados, idealmente en zonas donde remover totalmente los contaminantes no es posible, por ello el éxito de la estrategia depende de la elección de plantas adecuadas y el conocimiento detallado de las interacciones suelo-planta.

Estos son los factores del método de Fitoestabilización:

1) Selección de plantas:

Se usan plantas que tengan la habilidad de reducir la movilidad de los contaminantes en el suelo. Estas plantas se pueden elegir en base a su capacidad de formar reacciones complejas con metales o para cambiar las características del suelo y así minimizar el nivel de lixiviación.

2) Crecimiento en suelos contaminados:

Las plantas se cultivan en zonas degradadas con metales pesados o otros contaminantes, mientras están en crecimiento, las raíces liberan compuestos que reaccionan con los contaminantes presentes en el suelo.

3) Formación de complejos o cambios en el suelo:

Las raíces de estos organismos pueden liberar exudados orgánicos que reaccionan con metales pesados, reduciendo la movilidad del contaminante, algunas plantas pueden modificar el PH del suelo para estabilizar el contaminante.

4) Reducción de la lixiviación:

El método Fitoestabilización, tiene por función principal el reducir la lixiviación del contaminante hacia aguas subterráneas o cuerpos de agua cercanos.

5) Desarrollo de cubierta vegetal:

En determinadas situaciones la Fitoestabilización puede incluir la implementación de una cubierta vegetal que actúe como barrera contra la dispersión de contaminantes o la erosión.

Fitoextracción:

Es un proceso que utiliza la capacidad de las plantas de hiperacumular y concentrar contaminantes en su organismo, para posteriormente extraerlos, se usa para recuperar suelos contaminados o para recuperar elementos con alto valor del suelo.

Es una estrategia amigable con el medio ambiente para este fin, sin embargo, su eficiencia puede depender de determinados factores, como, por ejemplo, las condiciones del suelo, la tipología de la planta seleccionada y la presencia de otros componentes químicos en el medio ambiente

Por tanto, la estrategia requiere un tiempo determinado y una cuidada gestión para así evitar que los contaminantes se dispersen durante el ciclo de vida de la planta.

Las etapas son:

1) Selección de las plantas:

La selección es de plantas conocidas como “fitoextractoras” las que pueden acumular concentraciones más altas de ciertos elementos en comparación a otras plantas.

2) Cultivo en sitio contaminado o con presencia de elementos de interés:

Después de ser seleccionadas, las plantas se cultivan en suelo contaminado, con presencia de metales pesados o con elementos de alto valor económico.

Durante el proceso de crecimiento, las raíces de las plantas absorben los elementos del suelo.

3) Acumulación en tejidos vegetales:

Los metales, contaminantes o elementos de interés, son transportados a los tejidos de las plantas para acumularse

Las zonas aéreas de la planta, como hojas y tallos comúnmente contienen las concentraciones más altas de acumulación.

4) Cosecha y extracción

Luego del periodo de crecimiento las plantas son recolectadas extrayendo los tejidos vegetales ricos en metales, contaminantes o elementos de interés.

Rizofiltración:

Es un proceso fitotecnológico que utiliza las raíces de las plantas para extraer y acumular los contaminantes del agua o suelo.

Este método se centra en la habilidad de ciertas plantas para acumular metales pesados u otros compuestos presentes en el entorno. La Rizofiltración es efectiva para depurar aguas contaminadas y suelos

A continuación, se analizarán las principales etapas de este método:

1) Selección de plantas:

Se eligen plantas de acuerdo con lo que se busca extraer y al medio del cual se extraerá, y a su capacidad de extracción.

2) Crecimiento en agua o suelos contaminados:

Las plantas previamente seleccionadas se cultivan en zonas con agua contaminada o en suelos con presencia de contaminantes.

Durante el crecimiento, las raíces de las plantas absorberán los contaminantes presentes en el medio seleccionado.

3) Acumulación en raíces:

Los contaminantes son absorbidos por las raíces, transportados y acumulados en las estructuras radiculares del organismo, cumpliendo el rol de filtro natural.

4) Cosecha y eliminación de contaminantes:

Después de la etapa de crecimiento, las plantas se comienzan a cosechar, retirando las raíces ricas en contaminantes del sistema para posteriormente ser eliminadas de forma segura

5) Recuperación de elementos o descontaminación:

En función de los contaminantes acumulados, las raíces pueden someterse al proceso de recuperación de elementos valiosos o eliminarse de forma segura como residuo contaminante.

Fitodegradación:

Es un proceso en donde se utilizan las plantas para facilitar la degradación o descomposición de contaminantes orgánicos en suelo o agua.

Este método se ayuda de la capacidad natural de ciertas plantas para producir enzimas y compuestos químicos que pueden transformar o descomponer contaminantes orgánicos colaborando en la desintoxicación del medio ambiente transformando una sustancia en otra de menor toxicidad.

Puede ser una opción eficiente y eficaz en algunos casos, sin embargo el éxito de la aplicación del método, depende de la selección adecuada de las plantas, las condiciones del suelo o agua y la naturaleza de los contaminantes esparcidos en la zona.

Las etapas del método son las siguientes:

1) Selección de plantas

Se eligen plantas mas conocidas como “fitorremediadoras”, que tienen la capacidad de producir enzimas y compuestos que pueden descomponer contaminantes orgánicos

2) Crecimiento en áreas contaminadas

Se cultivan las plantas en zonas con agua o suelo contaminado con compuestos orgánicos, tales como, hidrocarburos, solventes, entre otros.

3) Producción de compuestos químicos y enzimas:

Durante el crecimiento de las plantas, estas liberan enzimas y compuestos químicos a través de sus raíces hojas y otros tejidos, estos tienen la capacidad de descomponer o transformar los contaminantes orgánicos en formas menos toxicas o que se degradan con facilidad.

4) Cosecha o eliminación segura:

Después de la etapa de crecimiento las plantas se recolectan y se eliminan de forma segura, junto con los contaminantes descompuestos o transformados.

Fitovolatilización: la planta transforma metales y compuestos orgánicos en sustancias de menor toxicidad y los liberan a la atmosfera mediante reacciones exotérmicas, este método es específicamente relevante en compuestos orgánicos volátiles (V.O.C) que puedan estar presentes en suelo, agua o aire.

Para que el método sea eficiente hay que considerar la naturaleza específica del contaminante, la selección adecuada de la planta y la condición adecuada del medio ambiente, pues las estrategias se deben seleccionar de acuerdo a las condiciones y características del lugar contaminado

El método consta de los siguientes pasos:

1) Selección de plantas:

La elección de plantas será en base a que tengan la capacidad de absorber contaminantes volátiles en los distintos medios a través de sus raíces.

2) Absorción de V.O.C.

Las raíces de las plantas absorben los compuestos volátiles presentes en los distintos medios

3) Translocación y acumulación

Los V.O.C. absorbidos son transportados por el organismo desde las raíces a otras secciones de la planta como tallo, flores o hojas.

Dependiendo del caso, los compuestos volátiles pueden concentrarse altamente en ciertos tejidos.

4) Liberación de los V.O.C. a la atmosfera

Los compuestos volátiles concentrados en las plantas se liberan a la atmosfera a través de un proceso llamado volatilización, emergiendo desde la planta por medio de vapores a la atmosfera

5) Ciclo continuo:

El proceso de absorción y liberación puede volver a ocurrir de forma continua mientras las plantas crecen y se exponen a contaminantes volátiles.

CONCLUSIÓN

La idea de una minera que explote alrededor de 270 hectáreas con efectos poco estudiados y expuestos a la comunidad, potencialmente peligrosos para los ecosistemas y sus habitantes debería ser inviable.

El proyecto se desarrollaría a menos de 3 km de la población de Penco, a menos de 10 kilómetros de zonas pobladas de Concepción, lo que genera preocupación e incertidumbre sobre posible contaminación al resto de la zona.

La población de la ciudad de Penco, Concepción, Talcahuano y Tomé, se verían seriamente amenazadas, en el caso de penco poblaciones aledañas, como por ejemplo Jaime Lea Plaza, que consumen el agua de los esteros que se verán afectados y que tienen incluso su propia planta de tratamiento, en el caso de las demás comunas se verán afectadas principalmente por el material particulado en la atmosfera ya que se encuentran dentro del área de influencia, esto contaminara todos los cuerpos de agua, ya que los esteros desembocan al mar, se desestabilizara la cadena trófica por los cambios químicos que ocurrirán en los medios acuáticos (pH, bajos niveles de oxígeno, cambios en el caudal, toxicidad de las aguas para consumo, recreación y riego, además se verán afectadas las actividades extractivas ya que en la zona se ejecuta la pesca artesanal y la recolección de mariscos, por ello esta toxicidad llegara además a las personas por el consumo de estos alimentos, acumulando metales pesados en sus organismos

Afectaría directamente a unos 2000 habitantes, de la población Lord Cochrane y Vipla, que se encuentra frente del hospital Penco-Lirquén, estos asentamientos con seguridad serán víctimas del material particulado y la contaminación de sus esteros.

BIBLIOGRAFIA

EPA “Effect of noise on wildlife and other animals” para especificar un máximo ruido de 85 db fauna silvestre

Decreto Supremo N.º 38/2011 “Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica”.

Decreto supremo N.º 15/2015 declara Concepción metropolitano zona saturada para MP 2,5

Decreto supremo N.º 41/2006. declara Concepción metropolitano zona latente para MP10 decretado

Rare earth elements: A review of production, processing, recycling, and associated environmental issues” (Tierras Raras: Una revisión de la producción, procesado, reciclaje y cuestiones medioambientales asociadas) de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos.

Decreto Supremo N° 148, de 2003 “Residuos considerados sustancias corrosivas o reactivas”

NCh 1333/1978 “Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos”

ODG Observatori del Deute en la Globalització “Mapa de los impactos y los conflictos de las tierras raras Retos para una transición verde y digital”

<<https://odg.cat/wp-content/uploads/2023/11/Mapa-impactos-conflictos-tierras-raras.pdf>>

[Consulta 3 agosto 2023]

Diario concepción “El impacto ambiental que Penco quiere evitar ante la extracción de Tierras Raras”

<<https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2021/04/18/el-impacto-ambiental-que-penco-quiere-evitar-ante-la-extraccion-de-tierras-raras.html>>

[Consulta 3 agosto 2023]

OLCA CHILE Minera Biolantánidos: “El proyecto de extracción de “tierras raras” que preocupa a Penco y tensiona a la Municipalidad”

<<https://olca.cl/articulo/nota.php?id=108165>>

[Consulta 9 agosto 2023]

EL CIUDADANO “Minera Biolantánidos: El proyecto de extracción de “tierras raras” que preocupa a Penco y tensiona a la Municipalidad”

<<https://www.elciudadano.com/medio-ambiente/minera-biolantanidos-el-proyecto-de-extraccion-de-tierras-raras-que-preocupa-a-penco-y-tensiona-a-la-municipalidad/10/08/>>

[Consulta 10 agosto 2023]

COCHILCO “Situación actual del mercado de tierras raras y su potencial en Chile DEPP 15/2016”

<<https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Tierras%20Raras%20final.pdf>>

[Consulta 12 agosto 2023]

SEIA “Ficha del Proyecto: Proyecto Biolantánidos Estudio de Impacto Ambiental”

<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2141979275>

[[Consulta 10 sept 2023](#)]

INERCO Estudio de impacto ambiental proyecto biolantánidos, Capítulo 3, determinación y justificación del área de influencia del proyecto o actividad (art.18°)

<https://seia.sea.gob.cl/archivos/2018/11/29/be6_Cap. 3. Area de Influencia .BL.bid.pdf>

[[Consulta 15 septiembre 2023](#)]

Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Departamento de materiales y minerales Medellín, Colombia 2021 “Uso de plantas hiperacumuladoras en minería, conceptos y aplicaciones Yordy Alejandro Bustos Contreras”

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79356/1017153992_2021.pdf;jsessionid=4BA8C9DFD1631D1EDA57529089633A2C?sequence=3>

[[Consulta 29 febrero 2024](#)]

ANEXOS

ANEXO A GLOSARIO

Area de influencia:

Bioextracción

Método de minería de vanguardia donde se utilizan microorganismos para extraer tierras raras, comienza con la elección de bacterias hongos o algas que tienen la capacidad natural de acumular tierras raras estos organismos se seleccionan y se cultivan en condiciones controladas liberan enzimas que facilitan la extracción de los metales.

Bosque esclerófilo:

Es un tipo de bioma característico de regiones con climas mediterráneos, estaciones marcadas, veranos secos e inviernos frescos y húmedos, presenta flora autóctona que está adaptada a estas condiciones climáticas que tienen características especiales para sobrevivir en ambientes con agua limitada, estos bosques no solo cumplen la función de poseer especies únicas sino que también desempeñan un rol fundamental en la conservación del suelo, el equilibrio en el ciclo del agua y la prevención de la erosión

Cadena trófica:

Es un concepto ecológico que trata de la transferencia de energía y nutrientes a través de distintos niveles jerárquicos, los cuales de forma independiente cumplen una función específica en la transferencia de energía

Productores:

Son organismos con la capacidad de producir su propio alimento por medio de la fotosíntesis algunos ejemplos son algas, plantas y algunos microorganismos que son capaces de convertir la energía solar en materia orgánica

Consumidores primarios:

Generalmente herbívoros que se alimentan directamente de los organismos productores para así obtener energía

Consumidores secundarios:

Generalmente organismos carnívoros que se alimentan de los consumidores primarios.

Catalizadores sustancias:

Sustancias que aceleran una reacción química, es decir que facilitan la transformación de reactivos en productos al minimizar la energía de activación sin sufrir cambios en su estructura el catalizador se libera y puede participar nuevamente en otras reacciones.

Compuestos orgánicos volátiles (V.O.C):

Más conocidos como “COV” son sustancias que contienen carbono y se vaporizan con facilidad a temperatura ambiente, se liberan en forma de gases desde materia sólida o líquida algunos ejemplos: pinturas, disolventes, combustibles, perfumería.

Cordillera de la Costa:

Formación geológica significativa que se encuentra de forma paralela a la costa, estas cadenas montañosas son factor principal en la caracterización del paisaje, la regulación del clima y la captación de la humedad proveniente del mar, la cordillera de la costa suele estar formada por densa vegetación y es el hábitat de variedad de flora y fauna, además están constituida de diversos cursos de agua dulce que son el sustento de la vida en estas zonas

Ecosistema:

Sistema biológico complejo compuesto por un conjunto de organismos vivos que interactúan entre ellos y su entorno físico (factor abiótico) en un lugar específico. Estos componentes interactúan activamente formando un equilibrio dinámico que permite las transferencias de energía y la circulación de nutrientes.

Fitominería:

Es una metodología de extracción de mineral del suelo por medio de plantas, se basa en la particularidad de algunas especies para hiper-acumular biolantánidos en sus tejidos, una vez las plantas han hecho la absorción de estos elementos se cosechan y se procesan para extraer los elementos acumulados en sus tejidos, aún se encuentra en etapas de investigación y desarrollo para analizar la viabilidad económica y su implementación a gran escala.