



---

## **ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE POSIBLES EFECTOS AMBIENTALES - CARGOS N°1 Y N°2**

RESOLUCIÓN EXENTA N° 1/ROL D-118-2021

---

Agosto, 2021

## ÍNDICE

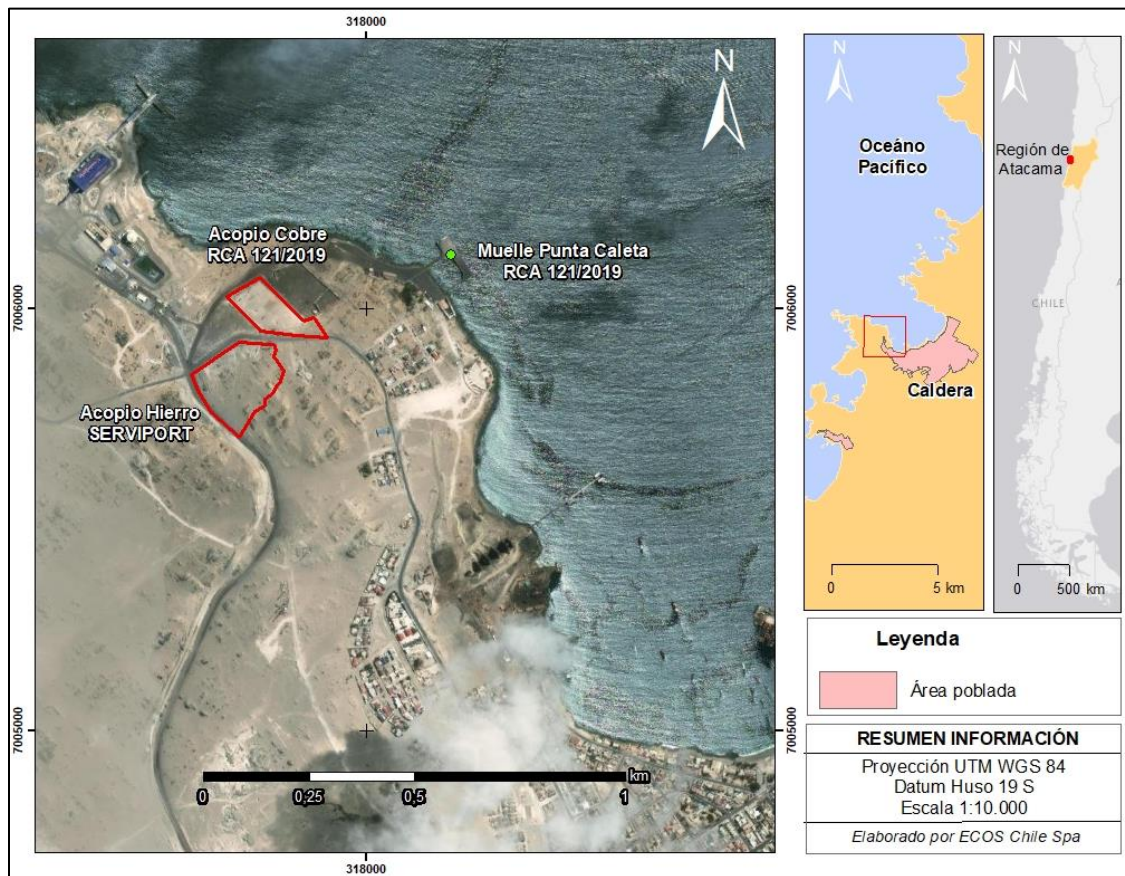
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>2</b>	<b>OBJETO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA EXIGENCIA INFRINGIDA</b>	6
<b>3</b>	<b>POTENCIALES EFECTOS AMBIENTALES</b>	9
<b>4</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	9
4.1	Normas de Calidad Ambiental	9
4.2	Aspectos asociados a la calidad del Aire	10
4.2.1	Contaminación del Aire en las personas	10
4.2.2	Medidas de Mitigación y/o Abatimiento para Material Particulado Durante el Manejo de Mineral	12
4.2.3	Cálculo y Estimación de Emisiones mediante inventario	12
4.2.4	Modelación de dispersión de contaminantes mediante modelo SCREEN3	13
4.3	Aspectos asociados a la calidad del suelo	14
4.3.1	Definiciones para la calidad del suelo	14
4.3.2	Efectos asociados a la Contaminación del Suelo	15
4.3.3	Características del Hierro (Fe)	16
4.4	Aspectos asociados al medio Marino	17
4.4.1	Contaminación sobre el Medio Marino	17
4.4.2	Calidad de los Sedimentos y Ecosistemas Marinos en bahía Caldera	19
<b>5</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	21
5.1	Fundamentación de la metodología utilizada	21
5.2	Actividades	21
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	23
6.1	Determinación de fuentes emisoras del proyecto	23
6.2	Estimación de emisiones	23
6.2.1	Escenario Previo	24
6.2.2	Escenario Actual	25
6.2.3	Escenario Futuro	27
6.3	Modelación de calidad del aire	29

6.3.1	Receptores de interés.....	29
6.3.2	Análisis de meteorología .....	30
6.3.3	Variables de ingreso modelo SCREEN3 .....	34
6.3.4	Resultados modelación SCREEN3.....	35
6.4	Análisis calidad del aire .....	39
6.4.1	Análisis de datos de Monitoreo Minera Candelaria .....	40
6.4.2	Análisis de datos Monitoreo Medida Provisional N°7 .....	40
6.5	Análisis complementario componente suelo .....	41
6.5.1	Análisis de concentración proyectada de MPS sobre el suelo .....	41
6.5.2	Revisión bibliográfica respecto a la deposición de hierro sobre el suelo 43	
6.5.3	Revisión usos de suelo del área de influencia en PRC de Caldera.....	45
6.6	Análisis complementario medio marino.....	46
6.6.1	Análisis de concentración proyectada de MPS en el fondo marino....	46
6.6.2	Revisión de antecedentes relativo al seguimiento ambiental del componente.....	48
6.6.3	Revisión de antecedentes relativos al levantamiento de información de Puerto Caldera S.A.....	49
<b>7</b>	<b>DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES .....</b>	<b>52</b>
7.1	Componente aire .....	52
7.2	Componente suelo .....	53
7.3	Componente medio marino .....	53
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>10</b>	<b>APÉNDICES .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

Mediante la presente minuta técnica se desarrolla el análisis y estimación de los potenciales efectos ambientales asociados a los **Cargos N°1 y N°2**, formulados en la Res. Ex. N°1/Rol D-118-2021 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Específicamente por hallazgos detectados en la unidad fiscalizable “Muelle Punta Caleta<sup>1</sup>”, ubicado en la comuna de Caldera, Región de Atacama (ver figura 1). Así como también lo referido en la Res. Ex. N°5 /Rol D-118-2021, en relación con las observaciones indicadas por la SMA, durante la tramitación del Programa de Cumplimiento.

Figura 1. Localización



Fuente: Elaboración propia.

<sup>1</sup> Conforme con lo indicado en el expediente público del SNIFA (<https://snifa.sma.gob.cl/Sancionatorio/Ficha/2585>)

Los hechos constitutivos de infracción asociados al Cargo N°1 tienen relación con la fragmentación de proyecto con relación a las consultas de pertinencias ingresadas ante el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de la Región de Atacama. Por su parte los hechos constitutivos de infracción relativos al Cargo N°2 dicen relación con el incumplimiento de medidas provisionales pre procedimentales dictadas por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Respecto de la formulación de cargos, el **Cargo N° 1** contenido en la Res. Ex. N°1/Rol D-118-2021 fue calificado como grave en virtud del literal d) del numeral 2 del artículo 36 de la LO-SMA y está expresado de la siguiente manera:

*“Fraccionamiento del proyecto indicado en el acápite III del presente acto, el cual contempla, a lo menos, actividades de acopio y embarque de concentrado de cobre; acopio, transporte y embarque de hierro, por parte de Puerto Caldera S.A. y SERVIPORT, sociedades relacionadas, con generación de emisiones atmosféricas.”*

Por su parte, los hechos constitutivos de infracción asociados al Cargo N°2 dicen relación con el no acatamiento de la medida provisional pre procedimental dispuesta por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Respecto de la formulación de cargos, el **Cargo N° 2** contenido en la Res. Ex. N°1/Rol D-118-2021 fue calificado como grave en virtud del literal f) del numeral 2 del artículo 36 de la LO-SMA y está expresado de la siguiente manera:

*“Incumplimiento de la medida provisional pre procedimental decretada por la SMA en la Resolución Exenta N° 241, de 2 de febrero de 2021, en los términos indicados en la tabla N° 3 de la presente resolución.”*

Por otro lado, y en relación a la Res. Ex. N°5/Rol D-118-2021, se indican las siguientes observaciones para la presente evaluación de efectos:

En relación al componente Aire:

(Considerando V, párrafo segundo y cuarto)

- *“Por su parte, el análisis de la empresa se circunscribe a una estimación de emisiones para verificar o descartar afectaciones sobre la salud de la población en términos generales de la zona, pero*

*no identifica si -como consecuencia de las infracciones- se produjeron o no superaciones al umbral de concentración de MP en receptores humanos concretos".*

- “Se solicita complementar el análisis de la empresa en base a lo indicado anteriormente y se hace presente que todo dato utilizado para la estimación de emisiones debe venir referenciado”.*

En relación a los componente Suelo y Medio Marino:

*(Considerando V, párrafo tercero y cuarto)*

*"- Por otro lado, no hay un análisis, planteamiento o aproximación respecto de eventuales efectos producidos por las emisiones fugitivas de MP al margen de una evaluación ambiental, sobre componentes ambientales próximos, los que en este caso, corresponderían -a lo menos- a suelo y medio ambiente marino.*

*- En consecuencia, se solicita complementar el análisis de la empresa en base a lo indicado anteriormente y se hace presente que todo dato utilizado para la estimación de emisiones debe venir referenciado."*

Para analizar los potenciales efectos ambientales asociados a las actividades de acopio, carga y descarga y transporte de minerales, se debe considerar **el objeto de protección de la exigencia infringida y los antecedentes de cumplimiento de ésta.**

En base a lo anterior, se procederá a evaluar los posibles efectos adversos por el fraccionamiento del proyecto y el incumplimiento de la medida provisional pre procedimental imputados sobre el o los componentes ambientales potencialmente afectados, con el objeto de adoptar acciones correctivas para hacerse cargo de estos, si correspondiera.

## 2 OBJETO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA EXIGENCIA INFRINGIDA

Para definir el objeto de protección, en primer lugar, es necesaria la revisión de las condiciones, normas y/o medidas que se estiman infringidas a causa del hecho infraccional N°1, las que de acuerdo a la Res. Ex. N°1/Rol D-118-2021, corresponden a las siguientes:

El Cargo N°1, literal a), se asocia a:

### **Ley N° 19.300**

*Artículo 8.- “Los proyectos o actividades señalados en el artículo 10 sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, de acuerdo a lo establecido en la presente ley [...]”.*

*Artículo 10.- “Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes [...] f) Puertos, vías de navegación, astilleros y terminales marítimos”.*

*Artículo 11 bis.- “Los proponentes no podrán, a sabiendas, fraccionar sus proyectos o actividades con el objeto de variar el instrumento de evaluación o de eludir el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Será competencia de la Superintendencia del Medio Ambiente determinar la infracción a esta obligación y requerir al proponente, previo informe del Servicio de Evaluación Ambiental, para ingresar adecuadamente al sistema. No se aplicará lo señalado en el inciso anterior cuando el proponente acredite que el proyecto o actividad corresponde a uno cuya ejecución se realizará por etapas”.*

### **D.S. N° 40/2012, RSEIA**

*Artículo 3.- “Tipos de proyectos o actividades. Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son los siguientes: [...] f) Puertos, vías de navegación, astilleros y terminales marítimos. f.1. Se entenderá por puerto al conjunto de espacios terrestres, infraestructura e instalaciones, así como aquellas áreas marítimas, fluviales o lacustres de entrada, salida, atraque, desatraque y permanencia de naves mayores, todos*



ellos destinados a la prestación de servicios para la actividad comercial y/o productiva, excluyendo aquellos cuyo fin sea únicamente la conectividad interna del territorio".

Artículo 14.- "Los proponentes no podrán, a sabiendas, fraccionar sus proyectos o actividades con el objeto de variar el instrumento de evaluación o de eludir el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Corresponderá a la Superintendencia determinar la infracción a esta obligación y requerir al proponente el ingreso adecuado, previo informe del Servicio. No aplicará lo señalado en el inciso anterior cuando el proponente acredite que el proyecto o actividad corresponde a uno cuya ejecución se realizará por etapas, aplicándose en todo caso lo establecido en el artículo 11 ter de la Ley. Los Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental deberán indicar expresamente si sus proyectos o actividades se desarrollarán por etapas. En tal caso, deberá incluirse una descripción somera de tales etapas, indicando para cada una de ellas el objetivo y las razones o circunstancias de que dependen, así como las obras o acciones asociadas y su duración estimada"

El Cargo N°2, por su parte, se asocia a:

**Resolución Exenta N°241, de 2 de febrero de 2021**

"ORDENAR las siguientes medidas provisionales contempladas en los literales a) y f) del artículo 48 de la LOSMA, en carácter pre procedimental, a Servicios Portuarios del Pacífico Limitada, RUT N°76.337.201-3, en relación al proyecto "Cancha de Acopio de Minerales", emplazado en la comuna de Caldera, región de Atacama, las cuales deberán ejecutarse dentro del plazo de 15 días corridos contados desde la notificación de la presente resolución, según se indica a continuación:

- 1) Implementar, en toda la cancha de acopio, mallas cortavientos o de material similar instaladas directamente en la superficie de las pilas inactivas [...]
- 2) Reemplazar el cerco perimetral del proyecto en base a una malla raschel de alta densidad en todo el perímetro, de 6 metros de altura, que permita reducir la velocidad del viento al menos en un 50%, de forma tal de reducir las emisiones en un 90%, y su correspondiente mantención [...]
- 3) Cubrir el cerco perimetral del proyecto en base a una malla raschel, en su totalidad, con tela impermeable al viento y que prevenga la dispersión de material particulado, efectuando las mantenciones que sean necesarias de manera de reparar inmediatamente todos aquellos sectores que puedan verse



*afectados por las labores propias del proyecto o bien por intervención de terceros [...]*

*4) Realizar mediciones con una cámara termográfica u otro equipo similar para identificar las emisiones fugitivas de material particulado, una vez instalado el nuevo cerco perimetral y la cobertura [...]*

*5) Ejecutar una campaña de muestreo del material sólido contenido en el acopio [...]*

*6) Presentar un Plan de control de emisiones de material particulado durante la operación del proyecto, para ser implementado una vez que el titular obtenga todos los permisos municipales y sectoriales que lo faculden para operar nuevamente [...]*

*7) Presentar una Programa de monitoreo de emisiones y parámetros meteorológicos [...]"*

De la revisión de los compromisos considerados como infringidos, se aprecia que estos apuntan directamente al control y mitigación de las emisiones de material particulado respirable MP10<sup>2</sup>, producidas específicamente por las actividades de acopio, carga y descarga, y transporte de minerales (hierro).

En ese sentido, La normativa vigente aplicable corresponde al **D.S. N°59/1998, que establece la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10**, modificado por el D.S. N°45/2001 la que en su primer considerando indica:

*"Que para la regulación integral del contaminante denominado Material Particulado Respirable MP10, es necesario considerar los efectos crónicos de este contaminante en la **salud de las personas** (...)"*

Además, el artículo 1° del DS N°59/1998 expone:

*"Establécese la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, cuyo objetivo es **proteger la salud de las personas** de los efectos agudos de dicho contaminante, con un nivel de riesgo aceptable."*

---

<sup>2</sup> El material particulado (MP) es un contaminante atmosférico que corresponde a aquellas partículas líquidas o sólidas que se encuentran en suspensión, siendo posible clasificarlo según su diámetro en MP10 (grueso) y MP2,5 (fino). El primero es aquel en que las partículas tienen un diámetro menor a 10 micrones (o micrómetros), y el segundo, en que las partículas tienen un diámetro menor a 2,5 micrones. Por lo mismo, el MP2,5 se encuentra contenido en el MP10. También existe el denominado MP ultrafino, de alrededor de 0,1 µm de diámetro. Fuente: <http://airechile.mma.gob.cl/faq>

Por lo tanto, y de acuerdo con los antecedentes presentados, el objeto de protección de las exigencias consideradas infringidas es el **Componente Ambiental Aire, en cuanto a su calidad**, debido a la generación de emisiones atmosféricas no controladas producto de las actividades de acopio y transporte de minerales. Sin perjuicio de lo anterior, y considerando lo indicado en la Res. Ex. N°5/ROL D-118-2021, se consideran en forma conjunta para este análisis, los componentes Suelo y Medio Marino.

### 3 POTENCIALES EFECTOS AMBIENTALES

A partir del análisis de la información disponible asociada al caso y considerando lo anteriormente expuesto, la determinación de los potenciales efectos ambientales, como consecuencia de los hechos infraccionales imputados al proyecto debido a sus actividades de acopio y embarque de hierro, se encuentra asociado a la generación de emisiones atmosféricas de material particulado no controladas.

En este sentido, **la hipótesis a testear**, en el marco del procedimiento sancionatorio, es si:

*"Dado los hechos infraccionales descritos en la formulación de cargos, las emisiones atmosféricas de Material Particulado MP10 generadas por las actividades del proyecto, y cuyo potencial impacto ambiental no ha sido evaluado, afectaron la calidad del aire en el área de influencia del Proyecto, y por consiguiente la salud de las personas".*

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 Normas de Calidad Ambiental

Las normas de Calidad ambiental corresponden a instrumentos normativos técnicos, en virtud de los cuales se fijan los niveles de contaminación tolerables en un entorno o medio determinado (Bermúdez, 2014). Esta clase de normas son utilizadas normalmente en relación con la contaminación atmosférica e hídrica.

A través de las normas de calidad lo que se busca es alcanzar la protección de un bien jurídico a través de la fijación de un estándar. Lo importante de este tipo de normas, es que a través de ellas radica la determinación de lo que debe ser entendido por medio ambiente libre de contaminación, lo cual se vincula con el artículo N° 2 m) de la Ley de Bases Generales del medio Ambiente (19.300), ya que

atiende a las concentraciones y niveles de contaminación en el entorno (Bermúdez, 2014).

Según Bermúdez (2014), existe una relación directa entre las normas de calidad ambiental y medio ambiente libre de contaminación, pues en la medida que se mantengan y no se sobrepasen los niveles que establecen las primeras se dará por cumplido lo segundo. Por lo anterior, el nivel máximo de contaminantes presentes en el componente ambiental será fijado por las normas, las cuales se clasifican en Normas Primarias y Secundarias, según su objetivo de protección, la salud de la población o un componente del patrimonio ambiental.

Respecto de lo anterior, la ley 19.300, establece que las Normas Primarias de Calidad Ambiental son *“aquéllas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”*.

Mientras que las normas Secundarias de Calidad Ambiental corresponden a *“aquéllas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza”*.

Por último, es importante indicar que las Normas de Calidad fijan los niveles, estándares, medidas o valores que se consideran para determinar si se está o no en presencia de un medio ambiente libre de contaminación, y si se afecta o no el bien jurídico protegido por la respectiva norma (Bermúdez, 2014).

## **4.2 Aspectos asociados a la calidad del Aire**

### **4.2.1 Contaminación del Aire en las personas**

Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud es un área del conocimiento que ha sido ampliamente discutido. Distintos estudios muestran que los contaminantes ambientales pueden contribuir a problemas en la salud y calidad de vida como la disminución de la función pulmonar, el nivel de tolerancia al ejercicio, un aumento en la reactividad bronquial, el riesgo de bronquitis

obstruictiva crónica, exacerbación del asma bronquial, cáncer pulmonar, entre otros (Scapini *et. al*, 2018).

La exposición a la contaminación del aire se ha asociado con una serie de efectos adversos para la salud humana. No solo hay evidencia que afecta al sistema respiratorio sino también al cardíaco, trae consecuencias neurológicas, e incluso efectos sobre la reproducción. De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire exterior es la principal causa medioambiental de riesgo a la salud generando alrededor del 23 % de las muertes a nivel mundial. La contaminación del aire está asociada a cerca de 4,2 millones de muertes prematuras, donde el 58 % de las muertes prematuras está asociada a cardiopatía isquémica y accidentes cerebro vasculares, el 18 % a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias inferiores y el 6 % a cáncer de pulmón (Scapini *et. al.*, 2018).

Dentro de las principales partículas contaminantes está el Material Particulado (MP) que corresponde a una mezcla de partículas, solidas o líquidas, suspendidas en el aire, que difieren en tamaño, composición y origen y se clasifican de acuerdo con sus propiedades aerodinámicas. El MP10 comprende las partículas de diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros, siendo partículas que pueden penetrar el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones y aumentando la incidencia de enfermedades relacionadas a este.

*Tabla 1: Principales efectos producidos por material particulado*

Contaminante	Efectos sobre la salud humana	Efectos sobre las plantas	Efectos sobre los materiales
Partículas	Los efectos dependen de su tamaño, el cual determinará su nivel de penetración en el organismo. A menor tamaño mayor penetración. Pueden ser tóxicas por sí mismas o transportar moléculas de gases irritantes.	Al acumularse sobre las hojas puede obstruir las estomas, dificultando la fotosíntesis. Así mismo pueden causar necrosis y caída de las hojas.	La deposición de partículas puede causar problemas estéticos, lo que conllevará a realizar limpiezas con mayor frecuencia, incurriendo en mayores costos. Las partículas con ayuda del viento ejercen una acción erosiva sobre los materiales.

Fuente: IDEAM, Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010 Bogotá, D. C., 2012.

#### 4.2.2 Medidas de Mitigación y/o Abatimiento para Material Particulado Durante el Manejo de Mineral

En la práctica se pueden aplicar una serie de medidas de mitigación o formas de abatimiento para material particulado por manejo y procesamiento de mineral, entre las que se encuentran:

- **Restricciones de funcionamiento:** limitación de la cantidad de material procesado o del tiempo de procesamiento de este.
- **Humectación continua:** humectación directa y prolongada del material durante su manejo.
- **Supresores de polvo:** modifican las características físicas de la superficie del material. Una vez aplicado un supresor de polvo las partículas son agrupadas y capturadas, haciéndolas más pesadas, lo que permite evitar la polución.
- **Encapsulamiento y barreras:** la disposición de barreras en la dirección del viento o el encapsulado de equipamiento permite retener gran parte del Material Particulado emitido.

En relación con la eficiencia de cada una de las medidas de mitigación, es posible indicar que, en su gran mayoría, son empíricas, obtenidas a través de pruebas anteriormente realizadas, o bien determinados a través de tasas de cambio comparando las condiciones iniciales (sin medida de mitigación) y finales (con medida de mitigación). Los valores de eficiencia, al igual que los factores de emisión utilizados en un inventario, se obtienen a través de procedimientos estandarizados, que provienen principalmente de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (o EPA, por sus siglas en inglés).

#### 4.2.3 Cálculo y Estimación de Emisiones mediante inventario<sup>3</sup>

La ecuación general para estimar las emisiones de cualquier actividad ha sido definida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA por sus siglas en inglés) como:

$$E_{i,j} = Na_j \cdot FE_{i,j} \cdot \left(1 - \frac{\eta_j}{100}\right)$$

<sup>3</sup> Díaz-Robles, L & Pino-Cortés, E. Modelación de la calidad del aire: Inventario de Emisiones, 2017.

Donde:

- $E_{i,j}$  : Emisión de i desde la fuente j (unidad de masa/unidad de tiempo)
- $Na_j$  : Nivel de actividad de la fuente j (unidad de longitud o tiempo/unidad de tiempo)
- $FE_{i,j}$  : Factor de emisión del contaminante i para tipo de fuente j (unidad de masa/unidad de longitud o tiempo)
- $\eta_j$  : Eficiencia de abatimiento para la fuente j

El nivel de actividad depende del factor de emisión específico que se utiliza, y la información que lo sustenta debe ser entregada por el titular de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto. Esta ecuación en Chile ha sido validada, mediante la Guía para Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana elaborada por la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente.

#### 4.2.4 Modelación de dispersión de contaminantes mediante modelo SCREEN3

SCREEN3 corresponde a un modelo gaussiano, que permite realizar distintas modelaciones predictivas de dispersión atmosférica, en base a datos proporcionados por el usuario, como fuente de emisión, velocidad de salida de contaminantes, altura de chimenea, entre otros factores, sumado variables meteorológicas como velocidad y dirección de viento (Cabrera, 2012).

Debido a su clasificación de modelo gaussiano, está basado en la ecuación de distribución gaussiana de difusión, calculando niveles de concentración a distintos puntos desde la fuente emisora, generando concentraciones horarias en dirección hacia el punto de máximo impacto. La ecuación que rige a este modelo corresponde a:

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Donde:

- $c$  : Concentración (g/m<sup>3</sup>)
- $Q$  : Emisión de contaminante (g/s)
- $u$  : Velocidad de viento a la altura efectiva de la fuente (m/s)
- $\sigma_y$  : Coeficiente de dispersión horizontal (m)
- $\sigma_z$  : Coeficiente de dispersión vertical (m)

- H** : Altura efectiva de la chimenea (m)
- y** : Coordenada horizontal, en la dirección del viento, tomando como origen el punto de emisión (m)
- z** : Coordenada vertical, tomando como origen el punto de emisión (m)

Al respecto del modelo, se pueden identificar distintas ventajas y desventajas las que son presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2: Ventajas y desventajas modelo SCREEN3

Contaminante	Efectos sobre la salud humana
Interacción simple con ordenador	No puede determinar impactos máximos de múltiples fuentes
Realiza cálculos a corto plazo para una sola fuente	No realiza un análisis complejo de meteorología de la zona en estudio, produciendo sobrevaloración de concentración de contaminantes.
Puede modelar efectos de distintos tipos de fuentes: puntual, volumétrica y de superficie.	-
Puede calcular la concentración máxima a cualquier número de distancias especificadas por el usuario	-

Fuente: Guía de Usuario Modelo SCREEN3, EPA (2000).

### 4.3 Aspectos asociados a la calidad del suelo

#### 4.3.1 Definiciones para la calidad del suelo

Según lo indicado por la Dirección General de Calidad ambiental del Ministerio del Ambiente de Perú, en el documento "Glosario de Términos Sitios Contaminados", define Calidad de suelos cómo:

*"Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas".*



Por otro lado, el artículo 6° del D.S N°40/2013 del MMA (Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), que habla sobre efectos adversos significativos sobre recursos naturales renovables, indica que:

*"Se entenderá que el proyecto o actividad genera un efecto adverso significativo sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire si, como consecuencia de la extracción de estos recursos; el emplazamiento de sus partes, obras o acciones; o sus emisiones, efluentes o residuos, se afecta la permanencia del recurso, asociada a su disponibilidad, utilización y aprovechamiento racional futuro; se altera la capacidad de regeneración o renovación del recurso; o bien, se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas. Deberá ponerse especial énfasis en aquellos recursos propios del país que sean escasos, únicos o representativos".*

Además, respecto a lo anterior, reglamento señala de manera específica en su literal a) que se considerará:

*"La pérdida de suelo o de su capacidad para sustentar biodiversidad por degradación, erosión, impermeabilización, compactación o presencia de contaminante."*

#### **4.3.2 Efectos asociados a la Contaminación del Suelo**

El Capítulo 7 del Análisis de regulaciones internacionales sobre criterios de protección de calidad de suelo en relación a metales pesados, del documento "Suelos" desarrollado por el Servicio Agrícola y Ganadero<sup>4</sup>, específicamente en el acápite 7.2 (Calidad de suelo y contenido de metales pesados en los suelos: Estándares internacionales), indica que:

*"En general la comunidad científica internacional y las autoridades a nivel mundial han reconocido la importancia del suelo como un recurso natural esencial y han planteado la necesidad de establecer indicadores de calidad del suelo para conservar o mejorar la productividad de la tierra protegiendo al mismo tiempo la calidad ambiental, la salud humana y animal y la calidad de los alimentos. La evaluación de la calidad de suelo partió con una primera fase en la cual se deben identificar los indicadores en base del conocimiento local y*

4

[http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/9\\_normativas.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/9_normativas.pdf)

*técnico y por los diferentes niveles críticos para un sitio específico. Luego hay una fase de definición de orientaciones para establecer un sistema de monitoreo de la calidad del suelo, junto con la interpretación y la formulación de acuerdos sobre los indicadores apropiados para las condiciones dominantes. Una vez que el sistema de monitoreo es aceptado, forma parte del sistema de apoyo en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales".*

En dicho acápite también se indica que:

*"La contaminación de suelo, es un aspecto dentro de la calidad de suelo que cada vez toma mayor importancia a nivel mundial. La primera lista disponible de estándares para estimar el grado de contaminación del suelo fue la lista de **Holanda**, la cual fue publicada bajo la Ley Holandesa Provisional para el Saneamiento de Suelos (Brion y Rosso, 1998). Esta ley proporciona los procedimientos y estándares para el saneamiento a corto plazo de suelos contaminados. La lista fue la primera en establecer categorías de límites basados tanto en la naturaleza y concentración de los contaminantes como también en las condiciones específicas del sitio que afectan la migración y destino de los contaminantes."*

Sin perjuicio de lo anterior, es importante mencionar que a nivel nacional no existen estándares de calidad del suelo, producto de varios factores, siendo uno de los principales la diversidad geológica de nuestro país, que ha configurados diversos tipos de suelo a lo largo de nuestro territorio.

#### **4.3.3 Características del Hierro (Fe)**

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y representa el 5,1% de su peso total. Su contenido en el suelo se estima en un 3,8% (Juarez, Cerdán, & Sánchez, 2007).

La mayoría del hierro se presenta en las estructuras cristalinas de numerosos minerales. Al igual que para el resto de nutrientes el punto de partida del Fe en el suelo son los minerales primarios, que incluyen silicatos ferromagnéticos, como olivino, augita, hornblenda y biotita; estos minerales junto con las biotitas constituyen la mayor fuente de hierro en las rocas ígneas. A partir de la meteorización de los minerales primarios se libera Fe soluble a la disolución, que podrá ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos, o bien ser transformado a minerales secundarios tales como sulfuros, carbonatos, minerales de arcilla, pero fundamentalmente óxidos e hidróxidos de distinta

composición y grados de cristalización, que serán los que controlen principalmente la solubilidad de este elemento en el suelo (Murad y Fischer, 1988; Lindsay, 1979).

Al respecto del hierro, se puede indicar que es uno de los principales nutrientes de los vegetales, por lo que corresponde a uno de los factores limitantes de su desarrollo. Esto se debe en gran medida a que, en sistemas aireados en el rango de los pH fisiológicos, la concentración de los iones  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  es inferior a  $10^{-15}$  M, es insuficiente para cubrir las necesidades de especies vegetales.. Por regla general, el vegetal toma el  $\text{Fe(II)}$  con preferencia al  $\text{Fe(III)}$ , si bien esto también depende de la especie vegetal (Estrategia I o II). Mientras el transporte a lo largo del xilema, predominan los complejos de  $\text{Fe(III)}$  (Juarez, Cerdán, & Sánchez, 2007).

A la hora de analizar los efectos de la toxicidad de Fe en los vegetales se debe tener en cuenta que de los dos estados de oxidación que presenta el Fe, es el ión ferroso el que puede causar los mayores efectos fisiológicos. Es importante indicar, que en condiciones aeróbicas es muy extraño que se produzca una acumulación de  $\text{Fe(II)}$  en el suelo, sin embargo, en condiciones anaeróbica, el  $\text{Fe(III)}$  se reducirá a  $\text{Fe(II)}$  siendo esta la especie más abundante e incrementando la solubilidad de Fe en el suelo. Por lo que la toxicidad de hierro no se conoce en condiciones normales de cultivos.

## **4.4 Aspectos asociados al medio Marino**

### **4.4.1 Contaminación sobre el Medio Marino**

En términos generales, se reconoce en Chile, que entre el 70% y el 75% de la contaminación marina es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre, siendo un 90% del total transportado por los ríos al mar (CONPACSE, 2010).

Las principales fuentes terrestres de esta contaminación marina, las constituyen las aguas residuales de origen doméstico no tratadas, la descarga de aguas residuales procedentes de actividades mineras y procesamiento de harina de pescado, la escorrentía de nutrientes agrícolas, a través de los ríos, entre otras. Adicionalmente las principales fuentes oceánicas de contaminación marina incluyen, los derrames de petróleo y la piscicultura (OCDE, 2005).

Según la NOAA (2008), la construcción y operación del tipo de instalaciones previamente mencionadas, pueden tener un amplio rango de efectos sobre el ambiente acuático incluyendo cambios en el sustrato y sedimentos, en la calidad

del agua, en la calidad del hábitat y sobre la hidrología. Entre los impactos adversos sobre los recursos acuáticos como el arrastre y succión de peces e invertebrados, alteración del flujo natural del agua, degradación de la línea de costa y hábitats ribereños y alteración de la estructura y diversidad de la comunidad acuática.

#### 4.4.2 Calidad de los Sedimentos y Ecosistemas Marinos en bahía Caldera

Conforme lo indicado en la literatura los sedimentos marinos son comprendidos como el depósito final de las sustancias introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos. Estos depósitos pueden ser compuestos orgánicos, nutrientes, combustibles, radionúclidos, inertes, patógenos y metales pesados. Así también se entiende que independiente de cuáles y cómo llegan estas sustancias a las aguas costeras, y dependiendo de las variaciones físicas y químicas del ambiente de depositación, los sedimentos pueden actuar como sumidero o fuente de una serie de sustancias que modifican las características naturales de la columna de agua y la trama trófica marina (Valdés & Castillo, 2014).

En el caso de la bahía Caldera, la situación de los sedimentos se encuentra influenciada por actividades productivas asociadas a la minería, de una data anterior incluso a la entrada en vigencia de la Ley 19.300 correspondiente a la Ley General de Bases del Medio Ambiente. Por otro lado, existe un levantamiento anual por parte de la DIRECTEMAR desde 1997 hasta 2019, referido a los sedimentos marinos de la bahía. En este sentido la DIRECTEMAR ha monitoreado diferentes parámetros a lo largo del periodo mencionado, en donde se consideran los metales pesados (Cadmio Total, Cobre Total, Cromo Total, Plomo Total, Mercurio Total, etc.), así como también Hidrocarburos Totales, Materia Orgánica, Nitrógeno Total Kjeldahl. Así como también la granulometría del sedimento y parámetros derivados del combustible.

Para el caso de los datos referidos a la DIRECTEMAR, en relación a los datos públicos disponibles (año 2019), es posible indicar que se consideraron cinco (5) estaciones de monitoreo con muestras semestrales. En la Tabla 3, se resume la información recopilada por institución mencionada considerando valores promedio anual para cada parámetro.

Tabla 3: Resultados promedio anual monitoreo bahía Caldera 2019

Parámetro	Unidad	Anfiteatro	Ex Muelle Mecanizado	Frente Frigorífico	Punta Padrones	Rocas Negras
Acenafteno	mg/kg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Acenaftileno	mg/kg	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Antraceno	mg/kg	0,05	0,05	0,662	0,05	0,05
Arena Fina 0.125mm	%	38,76	12,805	10,75	7,79	22,75
Arena Gruesa 0.5	%	9,69	14,66	10,4	23,285	14,055
Arena Media 0.25mm	%	21,47	11,555	11,015	15,955	17,63

Parámetro	Unidad	Anfiteatro	Ex Muelle Mecanizado	Frente Frigorífico	Punta Padrones	Rocas Negras
Arena Muy Fina 0.063mm	%	6,86	31,935	28,725	1,145	9,05
Arena Muy Gruesa 1.0mm	%	5,515	7,085	6,425	21,76	12,905
Arsénico Total	mg/kg	1,325	2,235	2,81	1,215	1,885
Benzo(a)antraceno	mg/kg	0,04	0,04	1,59	0,0875	0,04
Benzo(a)pireno	mg/kg	0,04	0,04	3,27	0,076	0,04
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	0,08	0,08	1,97	0,08	0,08
Benzo(ghi)perileno	mg/kg	0,08	0,08	1,105	0,08	0,08
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	0,04	0,04	1,105	0,04	0,04
Cadmio Total	mg/kg	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cobre Total	mg/kg	13,605	297,455	238,755	7,53	11,365
Criseno	mg/kg	0,04	0,04	2,53	0,04	0,04
Cromo Total	mg/kg	19,47	8,37	39,24	15,72	32,29
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	0,08	0,08	1,29	0,08	0,08
Fango	%	16,51	19,55	31,65	20,295	17,35
Fenantreno	mg/kg	0,04	0,04	1,52	0,04	0,04
Fluoranteno	mg/kg	0,08	0,08	2,405	0,08	0,08
Fluoreno	mg/kg	0,15	0,15	0,2615	0,15	0,15
Fósforo Total	mg/kg	1342,045	1645,24	1255,33	621,29	489,8
Grava Muy Fina 2.0mm	%	1,2	2,415	1,04	9,765	6,26
HF C34-C50	mg/kg	69	109	130	31,5	138,5
Indeno(1 2 3-cd)pireno	mg/kg	0,04	0,04	5,22	0,04	0,04
Materia Orgánica	%	1,66	1,745	2,905	2,335	1,705
Mercurio Total	mg/kg	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Naftaleno	mg/kg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Nitrógeno Total	ppm	907,025	894,985	1173,645	1288,13	1087,62
Pireno	mg/kg	0,04	0,04	2,315	0,066	0,04
Plomo Total	mg/kg	4,625	28,725	14,175	1,86	4,66

Fuente: DIRECTEMAR Región de Atacama 2019.

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Fundamentación de la metodología utilizada

Con el objetivo de testear la hipótesis planteada y evaluar los potenciales efectos en la calidad del aire debido a los hechos infraccionales aquí analizados, se ha considerado realizar una revisión de los registros de calidad del aire en el área de influencia del Proyecto, realizando una estimación de emisiones mediante inventario, y un análisis cuantitativo respecto a posibles superaciones de límites establecidos en la norma de calidad aplicable, utilizando los datos de una estación de monitoreo cercana, así como también datos de monitoreo vinculado a las exigencias establecidas por la SMA al titular.

Adicionalmente se considera la revisión de los antecedentes relevantes que dan origen a los compromisos considerados infringidos (revisión de la evaluación ambiental del proyecto y las consultas de pertinencia) y de las brechas detectadas (informes de fiscalización de la SMA).

De esta forma se busca obtener el efecto de la emisión asociado al periodo vinculado a la formulación de cargos, identificando o descartando un posible efecto en la calidad del aire en el área de influencia del proyecto y, en consecuencia, sobre el objeto de protección definido.

Por otro lado, dado lo indicado por la SMA en la Res. Ex. N° 5/ROL D-118-2021, específicamente en el resuelvo IV, punto "V" (En relación al análisis de efectos y sus conclusiones), en el presente documento se realizó un análisis complementario desde la perspectiva de la calidad del suelo, entendiendo que la dispersión del material particulado decanta hasta depositarse sobre éste.

Junto con lo anterior, a partir de lo indicado en la Res. Ex antes mencionada, específicamente en el resuelvo IV, punto "v" párrafos tercero y cuarto, se realizó un análisis desde la perspectiva del medio ambiente marino, entendiendo que la dispersión del material particulado podría decantar hasta depositarse en el fondo del mar.

### 5.2 Actividades

Para determinar la existencia de potenciales efectos ambientales producidos por los hechos infraccionales asociados a los Cargos N°1 y N°2, se realizaron las siguientes actividades:

- a) Componente aire:



- Revisión de fuentes de Información asociada (Evaluación Ambiental, informe de fiscalización, formulación de cargos, información de la operación del proyecto).
- Análisis de funcionamiento y determinación de fuentes emisoras del proyecto.
- Estimación de Emisiones mediante inventario MP10.
- Modelación de calidad del aire de MP10.
- Análisis de cumplimiento de la Norma de Calidad para MP10 (D.S. N°59/1998) utilizando los datos de la EMCA<sup>5</sup> ubicada en Cuerpo de Bomberos de Caldera, obtenidos desde los Informes de seguimiento ambiental del Programa de Monitoreo Terrestre de Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) disponibles en la página web del SNIFA<sup>6</sup>.
- Análisis de cumplimiento de la Norma de Calidad para MP10 (D.S. N°59/1998) en base al monitoreo de Calidad de Aire solicitado en Medida Provisional N°7 por la SMA para el periodo comprendido entre agosto 2020 y diciembre 2021.

b) Componente suelo:

- Análisis de concentración proyectada de MPS sobre el suelo.
- Revisión de bibliografía nacional e internacional para determinar los efectos de la deposición de hierro sobre el suelo.
- Revisión usos de suelo del área de interés en Plan Regulador Comunal (PRC) de Caldera.

c) Componente medio marino:

- Análisis de concentración proyectada de MPS en el fondo marino.
- Revisión de antecedentes relativo al seguimiento ambiental del componente.
- Revisión de antecedentes relativos al levantamiento de información de Puerto Caldera S.A.

---

<sup>5</sup> Estación de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA).

<sup>6</sup> <https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable/Ficha/10295>, sección seguimiento ambiental.

El enfoque metodológico expuesto permitirá poner a prueba la hipótesis asociada a los hechos infraccionales, para así concluir si existen o no efectos ambientales sobre el objeto de protección definido.

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Determinación de fuentes emisoras del proyecto**

Con respecto al funcionamiento del proyecto y según lo expuesto en los documentos revisados respecto al proyecto Cancha de Acopio de Minerales, se observa que las actividades que generan emisiones atmosféricas corresponden al acopio, carga y descarga y transporte de mineral de hierro. Estas se encuentran descritas en los informes de fiscalización (DFZ-2020-3538-III-RCA y DFZ-2021-570-III-MP), Formulación de medidas provisionales (Res. Ex. 241/2021) y Formulación de cargos (Res. Ex. N° 1/ROL D-118-2021).

En relación con el lugar de acopio de mineral de hierro presentado en la formulación de cargos corresponde al acopio de hierro de Serviport (Figura 1) de 1,7 ha de superficie, comprometiendo una reducción a 1,14 ha presentada dentro de la Tabla 4. La actividad de carga y descarga corresponde a la acción de carguío y volteo que ocurre dentro de este predio por medio de los camiones que son utilizados para su transporte. En relación con el transporte corresponde al trayecto realizado desde el acopio al muelle de longitud 600 m aprox.

Cabe mencionar que, en los Informes de Fiscalización al Proyecto disponibles, no se presentan datos que permitan realizar un análisis de calidad del aire con relación a posibles superaciones a la Norma de Calidad (D.S. N°59/1998). El análisis expuesto en dichos informes corresponde a evidencia fotográfica de las emisiones propias de las actividades del proyecto.

### **6.2 Estimación de emisiones**

Para el análisis de las emisiones asociadas a las fuentes que forman parte de la actividad evaluada, se realiza una comparación de las emisiones calculadas, en relación con los distintos escenarios propuestos, y medidas de control que se traducen en porcentajes de abatimiento de emisiones según la temporalidad de estos. El resumen de lo anteriormente mencionado, se indica en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4: Resumen información fuentes y periodo de evaluación

Escenario	Fecha de inicio	Fecha de término	Días periodo
Previo	Agosto 2020	Enero 2021	184
Actual	Febrero 2021	Julio 2021	182
Futuro	Agosto 2021	Diciembre 2021	153

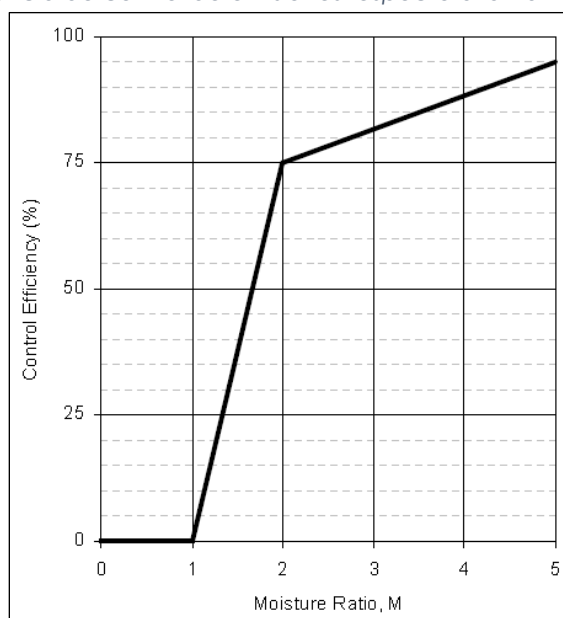
Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.1 Escenario Previo

El escenario contemplado desde agosto 2020 hasta enero 2021 contempla como medida de control la humectación del camino.

Para determinar el porcentaje de eficiencia se consideró la fórmula proveniente de la publicación Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), la que establece un factor de mitigación debido a la humedad del suelo del camino de tránsito, presentada en la Figura 2.

Figura 2. Eficiencia de control de emisiones respecto a la humedad del suelo



Fuente: Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

En esta figura se indica la Eficiencia de Abatimiento (control efficiency) en función de la Relación de Humedad (Moisture Ratio), donde la variable "M" representa el incremento promedio de la humedad del terreno en estudio, representando que para  $1 < M < 2$  la ecuación corresponde a  $\% = 75 \cdot M - 75$

Luego para aquellas condiciones más agresivas de clima, al utilizar únicamente riego, se considera que éste aumentará en promedio un 25% de la humedad natural del suelo, lo que se traduce en un **18,75%** de reducción de emisiones.

En base a lo anterior, y considerando los niveles de actividad y eficiencias de abatimiento presentados en la Tabla 5, se tienen las toneladas para el presente escenario por actividad y total, entregada en la Tabla 6.

Tabla 5: Niveles de actividad por actividad emisora para escenario previo

Actividad	Nivel de Actividad	Unidad	Eficiencia de Abatimiento (%)
Erosión eólica	1,7	hectáreas	0%
Carguío y volteo	300.555	toneladas	0%
Tránsito por caminos no pavimentados	6.458	kilómetros	18,8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Emisiones Escenario previo MP10

Fuente	Emisión (t/escenario)	Emisión Total (t/escenario)
Pila	10,44	5,95
Carguío y volteo	0,42	
Tránsito por caminos no pavimentados	21,47	

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2 Escenario Actual

El escenario comprendido entre febrero y julio de 2021 contempla una serie de medidas de monitoreo y abatimiento, estas últimas es posible traducirlas en porcentaje de abatimiento de la actividad emisora según las distintas referencias disponibles. Lo anterior, se presenta dentro de la Tabla 7.

Tabla 7: Eficiencia por medida de abatimiento Escenario actual

Medida	Eficiencia de Abatimiento (%)	Referencia
Sistema de Humectación Camino Interno con supresión de polvo, orientado a controlar las emisiones derivadas del transporte interno.	90%	Supresor de Polvo Biodegradable (Graxoil – Matapolvo). RCA N° 62/2018
Riego Manual Focalizado orientado a controlar emisiones fugitivas producto de la actividad de descarga y carga de mineral.	50%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: “Wind erosion from stockpiles - Water sprays to keep ore wet”
Sistema de Riego por Aspersores, orientado a controlar las emisiones de las pilas.	75%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: “Wind erosion from stockpiles - Hooding with Scrubbers”
Implementación de barrera interna entre pilas, orientada a controlar las emisiones fugitivas de las pilas.	30%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: “Wind erosion from stockpiles - Windbreaks”

Fuente: Elaboración propia.

En la referencia indicada anteriormente se indica que cuando los sistemas de control son mixtos, es decir, se aplica más de un control a una operación o actividad específica, la relación está dada por:

$$E_{\text{total}} = (1 - E_1) \cdot (1 - E_2)$$

Donde:

$E_n$ : Eficiencia de mitigación n (con n = 1 y 2)

$E_{\text{total}}$ : Eficiencia de mitigación total.

Bajo estas consideraciones, se puede establecer con las eficiencias de abatimiento presentadas anteriormente para el área del acopio de hierro, una eficiencia multiplicativa de la forma:

$$E_{\text{total}} = (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,75) \cdot (1 - 0,30) = 0,913 = 91,3 \%$$

Considerando los niveles de actividad y eficiencias de abatimiento presentados en la Tabla 8, se tienen las toneladas para el presente escenario por actividad y total, entregada en la Tabla 9.

Tabla 8: Niveles de actividad por actividad emisora para escenario actual

Actividad	Nivel de Actividad	Unidad	Eficiencia de Abatimiento (%)
Erosión eólica	1,14	hectáreas	91,3%
Carguío y volteo	133.504	toneladas	0,0%
Tránsito por caminos no pavimentados	6.388	kilómetros	90,0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Emisiones Escenario actual MP10

Fuente	Emisión (t/escenario)	Emisión Total (t/escenario)
Pila	0,12	0,63
Carguío y volteo	0,03	
Tránsito por caminos no pavimentados	0,48	

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.3 Escenario Futuro

El escenario comprendido entre agosto y diciembre contempla una serie de medidas similares al escenario anterior de monitoreo y abatimiento, con la diferencia que en este caso el cierre del sector del acopio está completo. Al igual que las medidas presentadas anteriormente, éstas se traducen en distintos porcentajes de abatimiento. Lo anterior, se presenta dentro de la Tabla 10.

Tabla 10: Eficiencia por medida de abatimiento Escenario futuro

Fuente	Eficiencia de Abatimiento (%)	Referencia
Sistema de Humectación Camino Interno con supresión de polvo, orientado a controlar las emisiones derivadas del transporte interno.	90%	Supresor de Polvo Biodegradable (Graxoil – Matapolvo) RCA N°62/2018
Riego Manual Focalizado orientado a controlar emisiones fugitivas producto de la actividad de descarga y carga de mineral.	50%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: "Wind erosion from stockpiles - Water sprays to keep ore wet"

Fuente	Eficiencia de Abatimiento (%)	Referencia
Sistema de Riego por Aspersores, orientado a controlar las emisiones de las pilas.	75%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: "Wind erosion from stockpiles - Hooding with Scrubbers"
Implementación de barrera interna entre pilas, orientada a controlar las emisiones fugitivas de las pilas.	99%	National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual: "Wind erosion from stockpiles - Total enclosure"

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la ecuación presentada anteriormente para el cálculo de eficiencia total compuesta por más de una medida de abatimiento independiente, se puede establecer una eficiencia total de:

$$E_{\text{total}} = (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,75) \cdot (1 - 0,99) = 0,999 = 99,9 \%$$

Luego, utilizando los niveles de actividad y eficiencias de abatimiento presentados en la Tabla 11, se tienen las toneladas para el presente escenario por actividad y total, entregada en la Tabla 12.

Tabla 11. Niveles de actividad por actividad emisora para escenario futuro

Actividad	Nivel de Actividad	Unidad	Eficiencia de Abatimiento (%)
Erosión eólica	1,14	hectáreas	99,9%
Carguío y volteo	250.000	toneladas	0,0%
Tránsito por caminos no pavimentados	5.370	kilómetros	90,0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Emisiones Escenario futuro MP10

Fuente	Emisión (t/escenario)	Emisión Total (t/escenario)
Pila	$1,39 \cdot 10^{-3}$	0,47
Carguío y volteo	0,06	
Tránsito por caminos no pavimentados	0,40	

Fuente: Elaboración propia.



## 6.3 Modelación de calidad del aire

### 6.3.1 Receptores de interés

Como receptores, se considera un área de 500 metros, lo que considera las localidades aledañas al acopio, presentadas dentro de la Tabla 13 y Figura 3.

*Tabla 13: Receptores habitacionales identificados*

Receptor N°	Coordenadas UTM / H 19S		Distancia mínima a acopio (m)
	Este (m)	Norte (m)	
1	318.009	7.005.887	218
2	318.160	7.005.896	370
3	318.036	7.005.693	273
4	318.052	7.005.611	345

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Receptores habitacionales identificados



Fuente: Modificado desde Google Earth Pro.

### 6.3.2 Análisis de meteorología

En base a la información proporcionada por la Estación Puerto Punta Padrones descrita dentro de la

Tabla 14, se considera el uso del paquete OpenAir-Project, herramienta que tiene como objetivo el análisis estadístico de meteorología y calidad del aire, utilizado dentro del programa estadístico R-Project.

Tabla 14: Información estación de monitoreo

Estación	Coordenadas UTM H 19S		Parámetros Utilizados	Período de Análisis
	Este (m)	Norte (m)		
Puerto Punta Padrones	317.169	7.006.244	Velocidad de Viento Dirección de Viento	01-01-2020 00:00 31-12-2020 23:00

Fuente: Elaboración propia.

- **Velocidad de Viento**

Utilizando la información meteorológica de la Estación Puerto Punta Padrones, se tienen los parámetros estadísticos presentados dentro de la Tabla 15.

Tabla 15: Resumen velocidad de viento

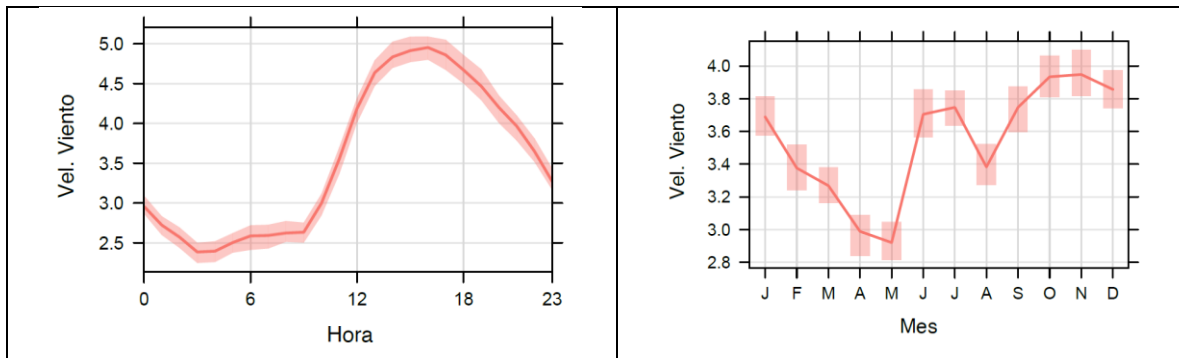
Variable	Estadístico	Valor (m/s)
Velocidad de Viento	Mínimo	0,10
	Promedio	3,54
	Máximo	10,80

Fuente: Elaboración propia.

En base a las tendencias horarias presentadas en la Figura 4, se observa que alrededor de las 15 horas se produce la máxima velocidad de viento. En el caso de tendencias mensuales, se observan los mayores valores en los meses de periodo estival, con mínimas notorias en los meses de abril y mayo.

Figura 4. Serie de tiempo horaria velocidad de viento

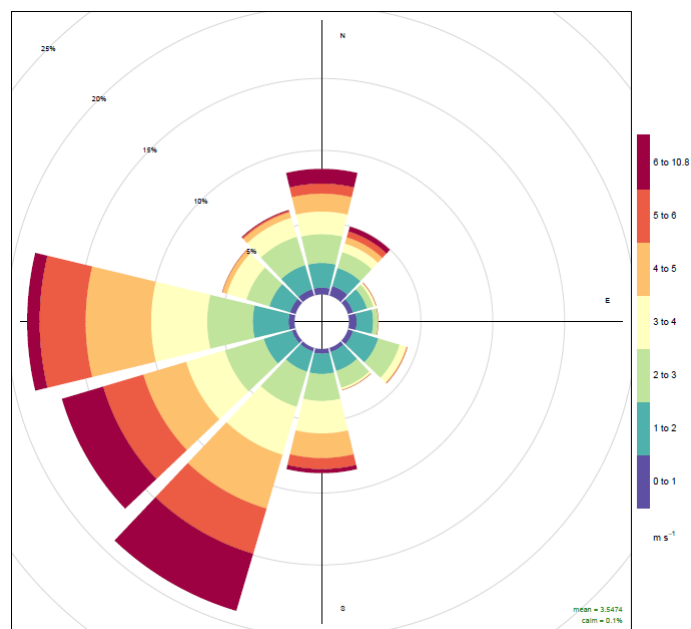
Horaria	Mensual
---------	---------



Fuente: Elaboración propia con base en OpenAir-Project.

- **Dirección de Viento**

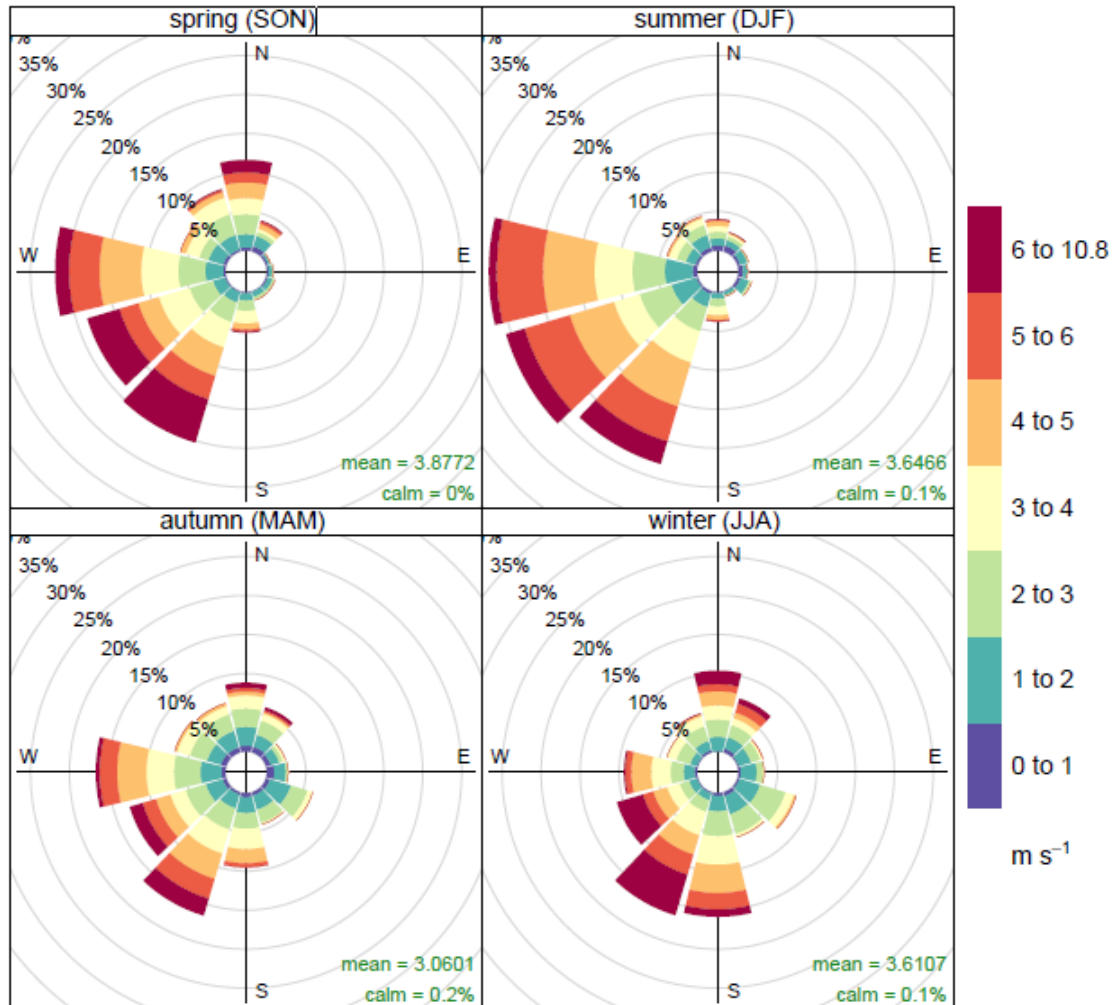
Figura 5. Rosa de vientos anual



Nota: El ángulo de dirección de vientos indica de donde proviene.

Fuente: Elaboración propia con base en OpenAir-Project.

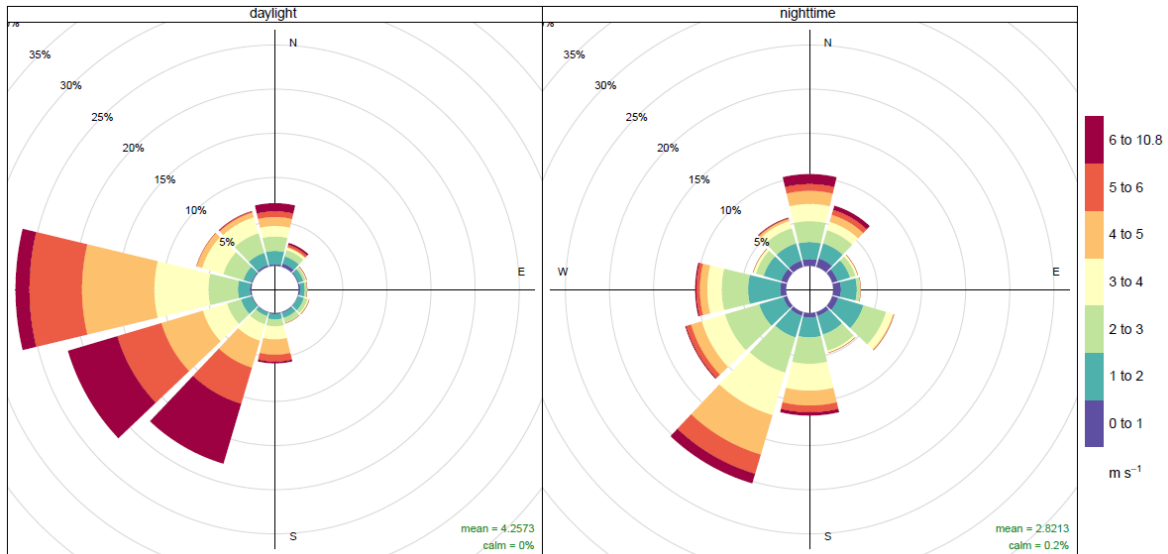
Figura 6. Rosa de vientos estacional



Nota: El ángulo de dirección de vientos indica de donde proviene.

Fuente: Elaboración propia con base en OpenAir-Project.

Figura 7. Rosa de vientos día y noche



Nota: El ángulo de dirección de vientos indica de donde proviene.  
Fuente: Elaboración propia con base en OpenAir-Project.

Respecto a la dirección de viento, ésta tiene una tendencia suroeste de forma constante para las distintas rosas de vientos presentadas, es decir tiene una orientación para el sector industrial existente al Nornoreste del acopio. Por otro lado, la velocidad de viento según la dirección en periodos estacionales dentro de la Figura 6 muestra que durante primavera y verano existe una mayor velocidad. En el caso de tendencias entre día y noche presentadas en la Figura 7, se observa que durante el día se presentan valores más altos y un porcentaje mayor de calma en horario nocturno con aumento en dirección sureste.

### 6.3.3 Variables de ingreso modelo SCREEN3

En la Tabla 16 se presentan las variables ingresadas al modelo para obtener las concentraciones en los distintos escenarios de emisión.

Tabla 16: Variables de ingreso modelo SCREEN3

Parámetro	Valor/Tipo
Tipo de fuente	Areal
Coeficiente de dispersión	Rural
Altura del receptor respecto al suelo (m)	1,5

Parámetro	Valor/Tipo
Tasa de emisión (g/m <sup>2</sup> s)	Escenario previo: 1,8995·10 <sup>-5</sup> Escenario actual: 2,8459·10 <sup>-6</sup> Escenario futuro: 2,5236·10 <sup>-6</sup>
Altura de emisión (m)	5
Lado con mayor/menor longitud de fuente rectangular (m)	Escenario previo: 140,36 Escenario actual/futuro: 118,74
Dirección de viento relativa al eje longitudinal	67,5°
Opciones de terreno	Simple y plano
Meteorología	Tipo F (estable) Velocidad de viento: 3,54 m/s
Distancias para cálculo de concentración (m)	200 - 300 - 400 - 500 - 1.000 - 1.500 - 2.000 - 2.500 - 3.000.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.4 Resultados modelación SCREEN3

Considerando la tasa de emisión por escenario y los parámetros de modelación presentados anteriormente, se presenta a continuación el punto de máximo impacto de concentración máxima horaria por escenario.

Dentro del apéndice 1 y 2 se presenta el inventario de emisiones por escenario y salidas del modelo SCREEN3 respectivamente para material particulado respirable (MP10).

Tabla 17: Concentración máxima por escenario

Escenario	Concentración máxima horaria (µg/m <sup>3</sup> )
Previo	76,78
Actual	9,75
Futuro	8,64

Fuente: Elaboración propia.

En función de los resultados obtenidos y considerando un factor de corrección de 0,4 para realizar la conversión entre concentración horaria y diaria (US-EPA, 1992), es posible calcular la concentración máxima diaria para ser comparada con el límite permisible establecido en el D.S. N° 59/1998, igual a 150 (µg/m<sup>3</sup>). Los resultados de este análisis se presentan en la

Tabla 18.



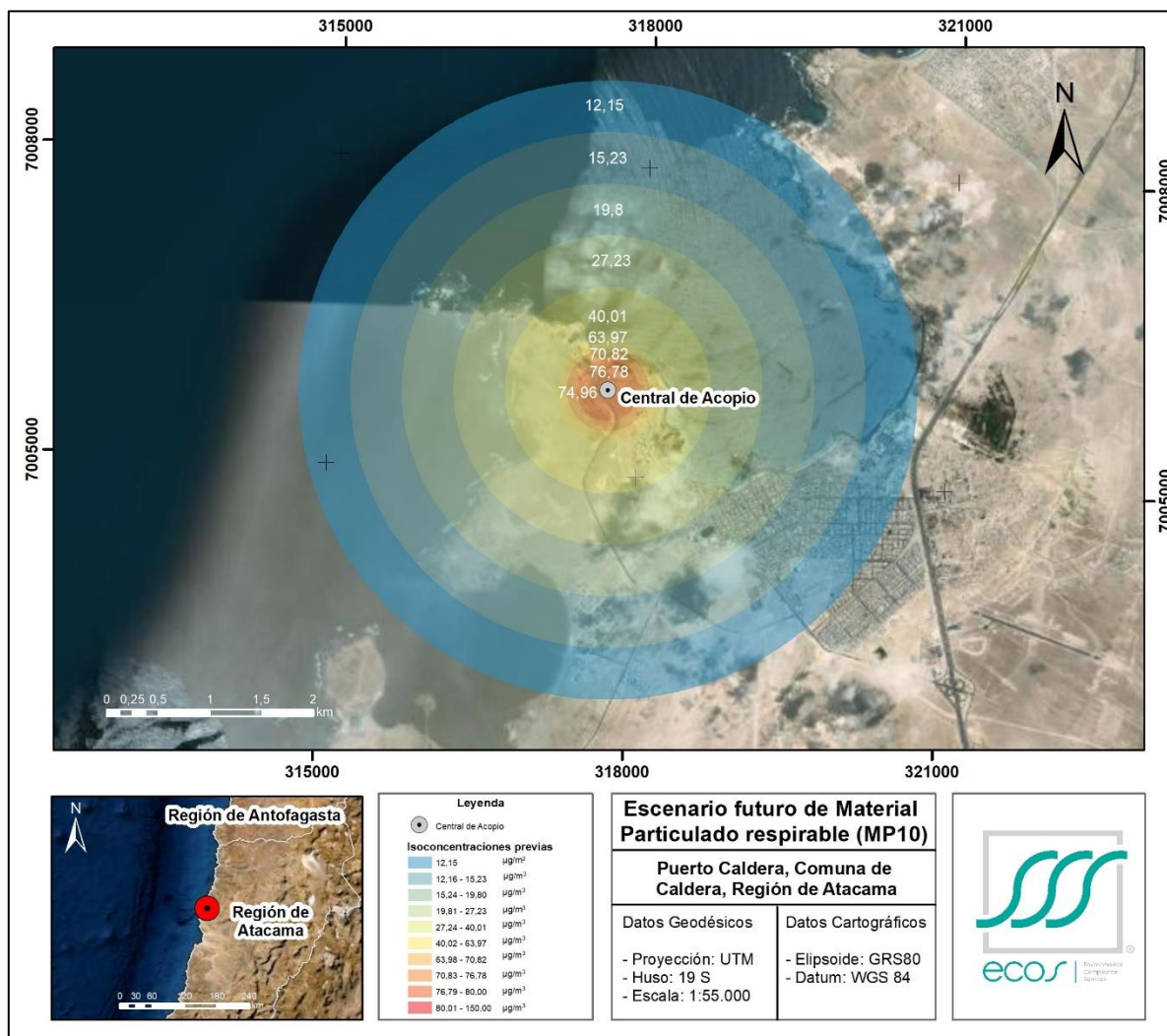
Tabla 18: Concentración máxima diaria por escenario y comparación con normativa vigente

Escenario	Concentración máxima diaria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Porcentaje normativa diaria MP10 (%)
Previo	30,71	20,5%
Actual	3,90	2,6%
Futuro	3,46	2,3%

Fuente: Elaboración propia.

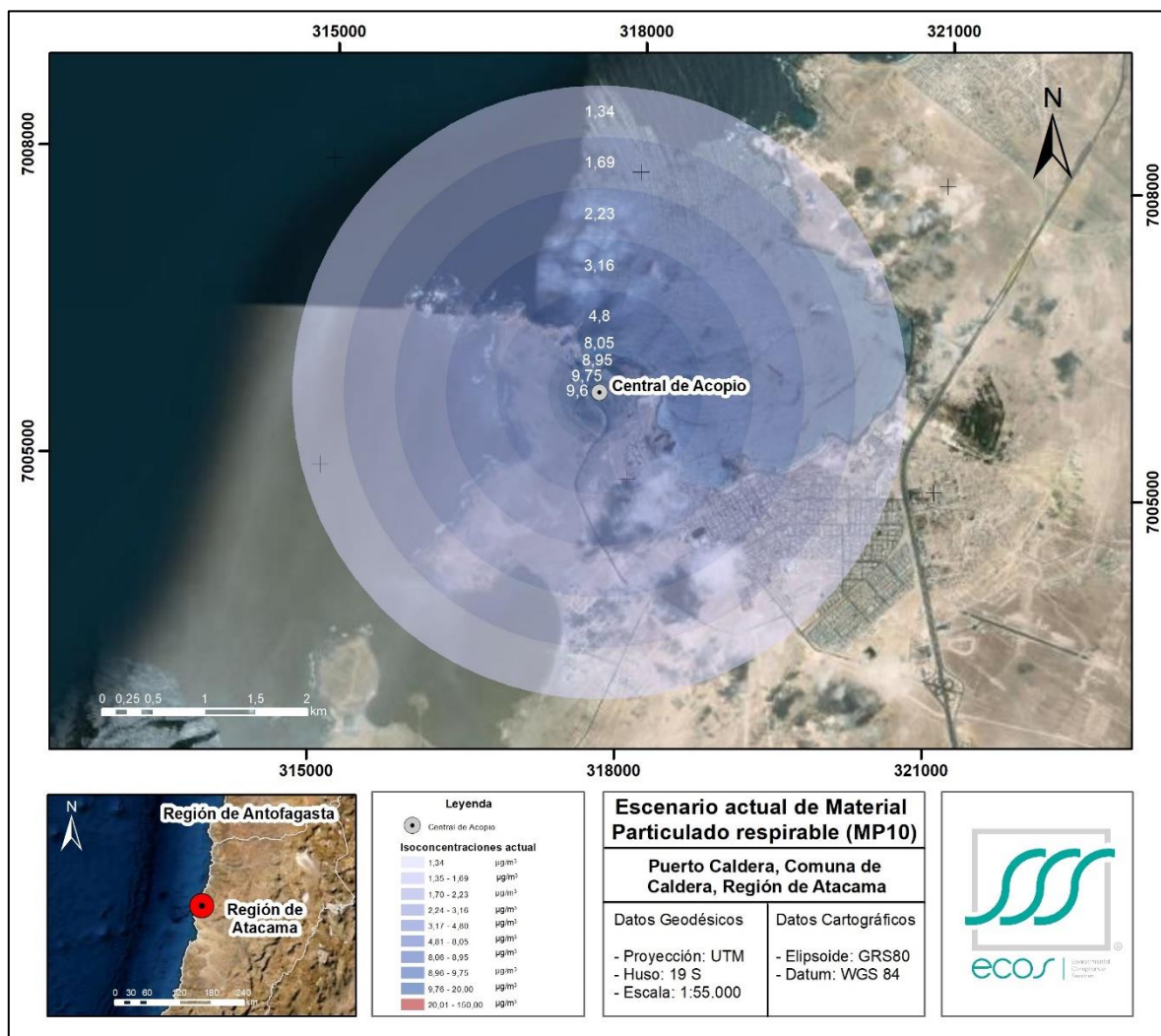
En función de lo presentado anteriormente, es posible establecer que, considerando la máxima concentración por escenario, en ninguno de ellos se supera el límite permisible de normativa, con un máximo cercano al 20% dentro del escenario más desfavorable (escenario previo). Considerando lo anterior, en la Figura 8, Figura 11 y Figura 12 se presentan los mapas de isoconcentración para cada escenario.

Figura 8. Concentración concéntrica de MP10. Escenario previo



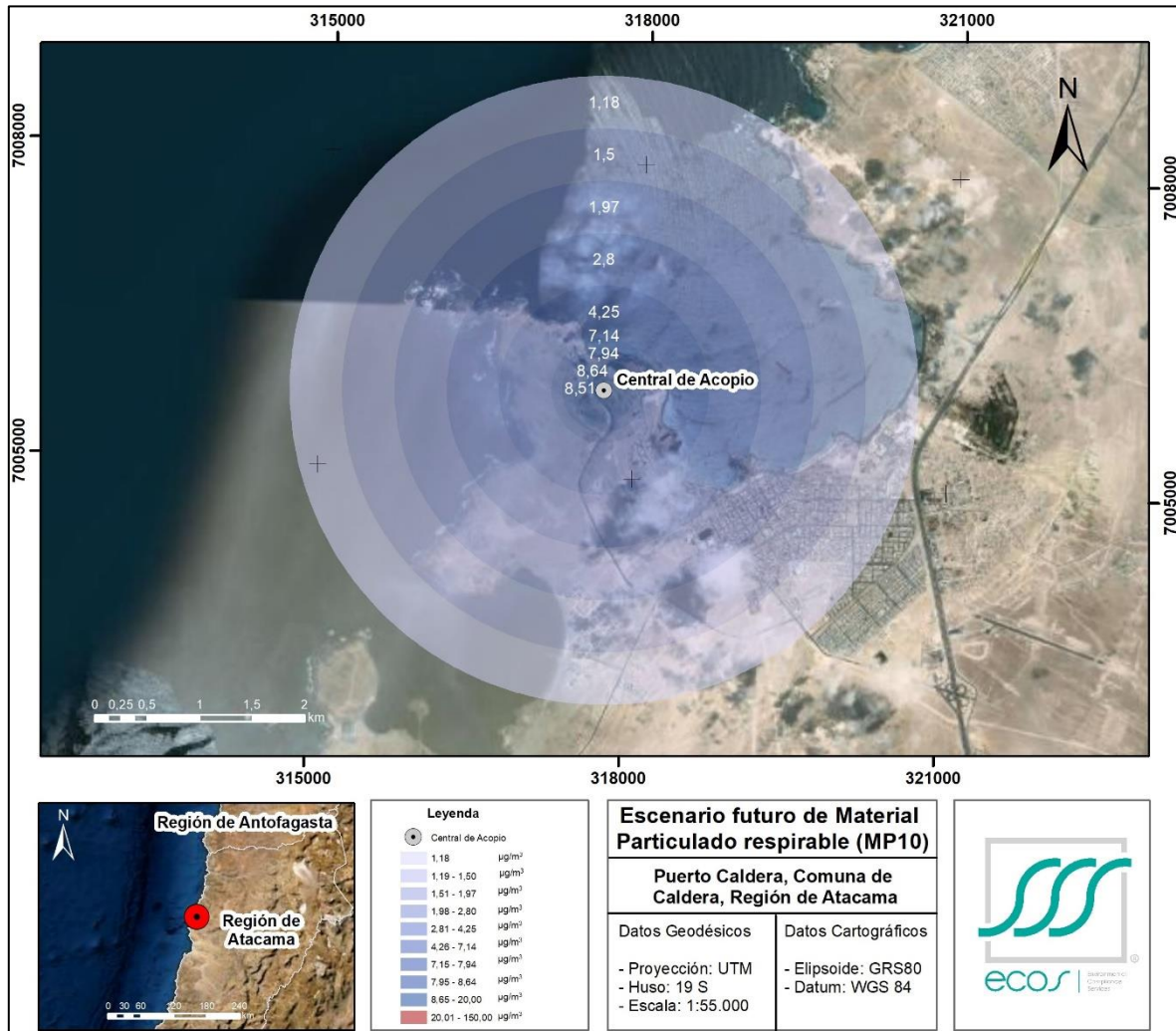
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Concentración concéntrica de MP10. Escenario actual



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Concentración concéntrica de MP10. Escenario futuro



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4 Análisis calidad del aire

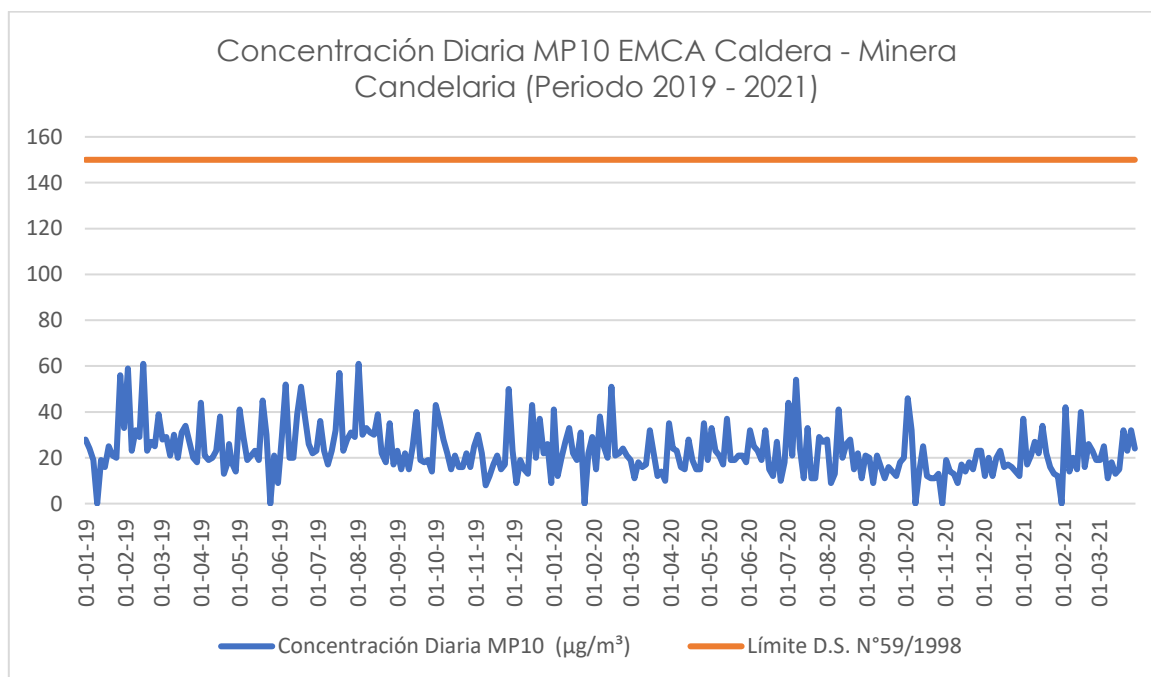
También se realizó una evaluación de conformidad de la norma primaria de Calidad del Aire para MP10 (D.S. N°59/1998), la que define un límite de 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como concentración promedio diaria del contaminante. Para ello se tomaron como referencia los datos de calidad de aire de los Informes de seguimiento ambiental del Programa de Monitoreo Terrestre de Compañía Contractual Minera Candelaria, así como también los datos correspondientes al monitoreo asociado a la MP N°7.

#### 6.4.1 Análisis de datos de Monitoreo Minera Candelaria

El análisis realizado corresponde al periodo comprendido entre 2019 - 2021. Los datos corresponden a la EMCA Cuerpo de Bomberos Caldera, responsabilidad de la Minera Candelaria, localizada en el centro de la ciudad de Caldera en la cercanía del Proyecto en la que se mide la calidad del aire respecto al contaminante MP10.

A continuación, en la Figura 11, se observa la evolución de los datos respecto de la Norma:

Figura 11. Resultado análisis de calidad del aire EMCA Minera Candelaria, periodo 2019-2021



Fuente: Elaboración propia en base a los Datos de la EMCA Cuerpo de Bomberos de Caldera.

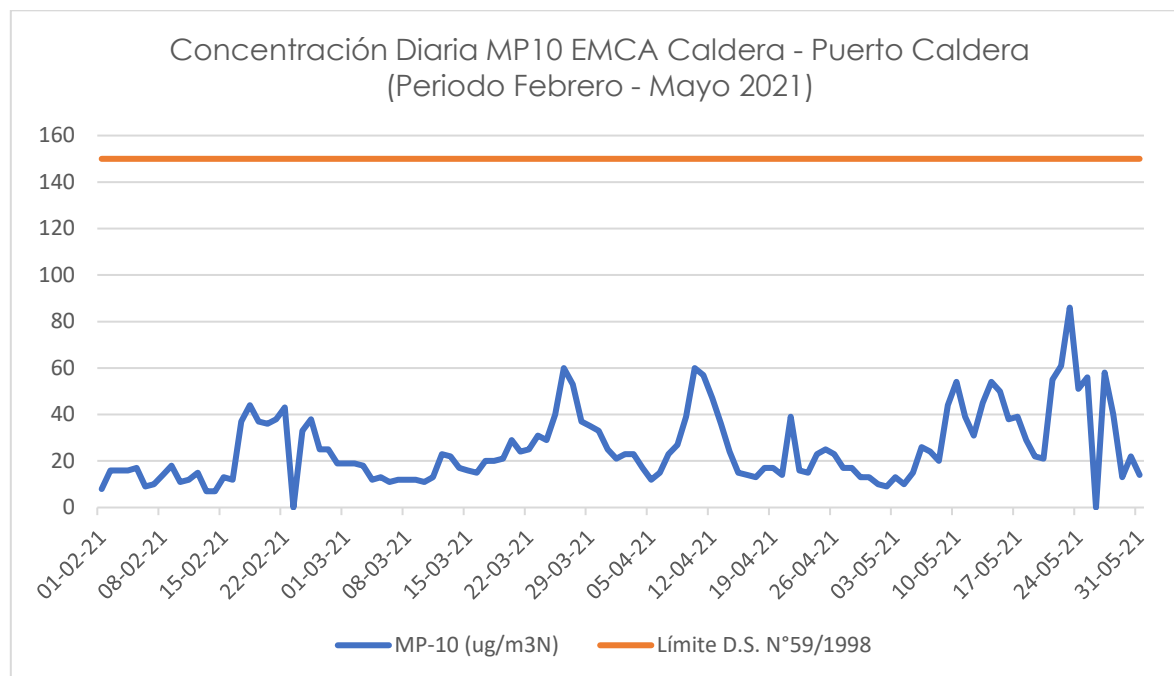
Como se observa en la Figura 11 durante el periodo analizado no se observan superaciones del límite normativo, por lo que no es posible atribuir una afectación de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto.

#### 6.4.2 Análisis de datos Monitoreo Medida Provisional N°7

En relación a los datos correspondientes al monitoreo asociado a la Medida Provisional N°7, el periodo de análisis corresponde a febrero-mayo 2021 y tal como se observa en la Figura 12, durante el periodo analizado no se observan

superaciones del límite normativo, por lo que no es posible atribuir una afectación de la calidad del aire a partir de las emisiones generadas por la actividad evaluada.

Figura 12. Resultado análisis de calidad del aire, EMCA Puerto Caldera (MP N°7) periodo Febrero – Mayo 2021



Fuente: Elaboración propia en base a los Datos de la EMCA Puerto Caldera (MP N°7).

## 6.5 Análisis complementario componente suelo

### 6.5.1 Análisis de concentración proyectada de MPS sobre el suelo

En base a lo indicado en el acápite 4.2.3 respecto al cálculo de emisiones y considerando los niveles de actividad y eficiencia de abatimiento del escenario denominado “previo” dentro del apartado 6.2.1, dentro de la Tabla 19 se presentan las emisiones asociadas a las actividades identificadas.



Tabla 19: Emisiones Escenario previo MPS

Fuente	Emisión (t/escenario)	Emisión Total (t/escenario)
Pila	3,83	18,33
Carguío y volteo	0,16	
Tránsito por caminos no pavimentados	14,33	

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la tasa de emisión de MPS y los parámetros de modelación presentados anteriormente, se presenta a continuación el punto de máximo impacto de concentración y, con ayuda de la velocidad de sedimentación de partícula, es posible obtener la deposición máxima anual, presentada dentro de la Tabla 20. Junto con lo anterior, en la Figura 13, se muestran las deposiciones concéntricas según lo proyectado.

Tabla 20: Concentración máxima diaria y deposición máxima anual MPS

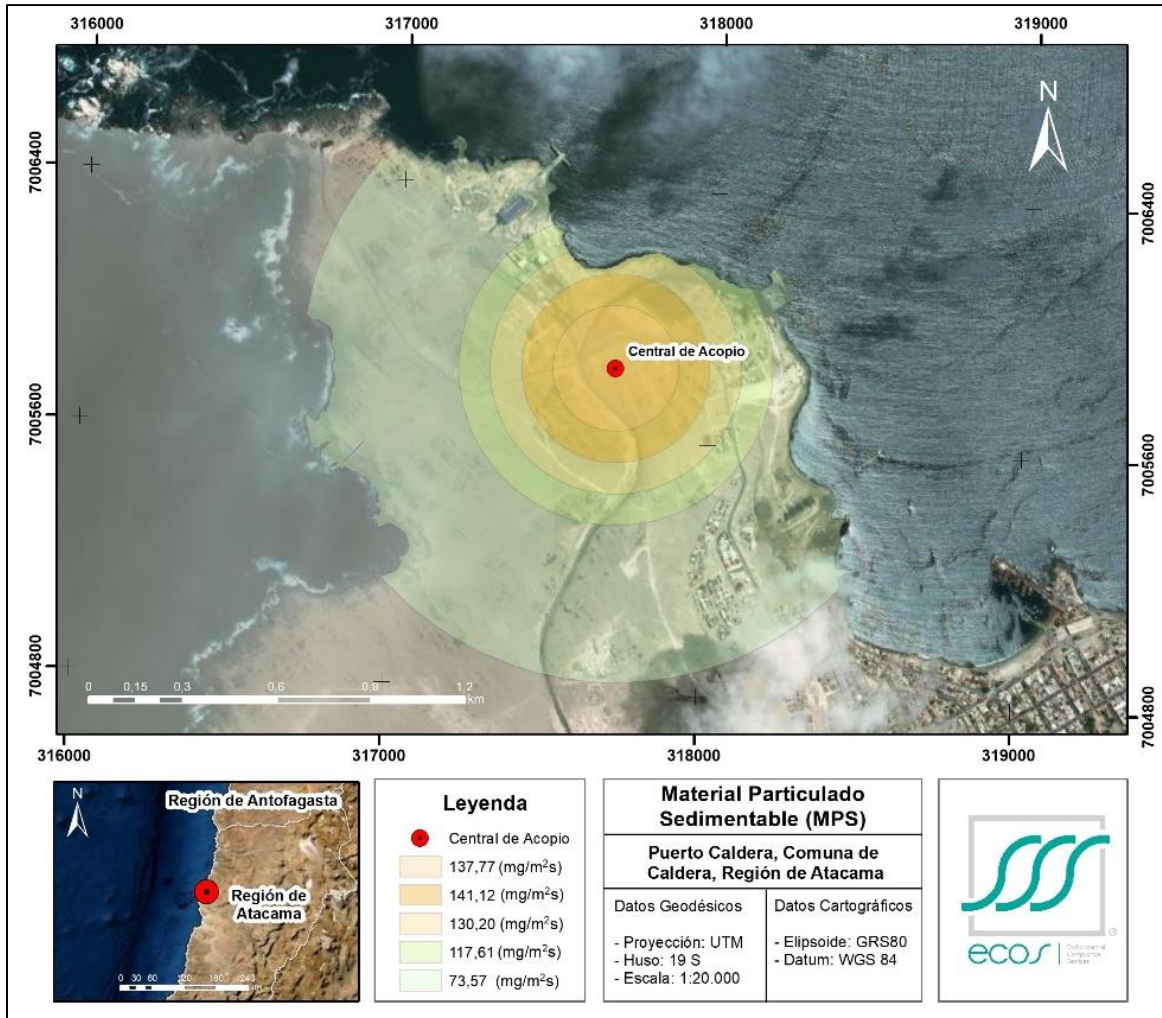
Distancia (m)	Concentración máxima diaria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Factor de Ajuste <sup>7</sup>	Velocidad de Sedimentación (m/s) <sup>8</sup>	Deposición máxima anual ( $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )
200	230,90	0,08	0,09	137,77
300	236,50			141,12
400	218,20			130,20
500	197,10			117,61
1.000	123,30			73,57
1.500	84,49			50,41
2.000	61,00			36,40
2.500	46,92			28,00
3.000	37,42			22,33

Fuente: Elaboración propia.

<sup>7</sup> (US-EPA, 1992).

<sup>8</sup> Cálculo presentado dentro de Apéndice 1.

Figura 13. Deposición concéntrica MPS. Escenario Previo



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del apéndice 1 y 2 se presenta el inventario de emisiones por escenario y salidas del modelo SCREEN3 respectivamente para el material particulado sedimentable (MPS).

### 6.5.2 Revisión bibliográfica respecto a la deposición de hierro sobre el suelo

Teniendo las proyecciones de deposición de MPS mediante el uso del modelo SCREEN3, en el presente capítulo se muestran los resultados principales asociados a la revisión bibliográfica (nacional e internacional), relacionada a deposición de Hierro sobre el suelo.



A partir de dicha revisión, se estableció lo siguiente:

- En Chile no existe una norma de calidad de suelos.
- Entre los años 1999 y 2000 la CONAMA (con participación del MINAGRI) avanzó en la propuesta de una ley Marco para la protección de los suelos. La ley estaría circunscrita al uso de suelos para fines productivos silvoagropecuarios y de protección de estos suelos. Los aspectos referidos a la contaminación del suelo, sea producto de actividades silvoagropecuarias o de otro tipo, así como aquellos relacionados al ordenamiento territorial del espacio rural y el cambio de destino en el uso del suelo, no se incorporarían en la ley, ya que según las autoridades en la actualidad existirían normas u otras iniciativas en desarrollo, que regularán estos aspectos (Lagos & Ruiz, 2004).
- A partir de lo revisado en El Capítulo 7 (Análisis de regulaciones internacionales sobre criterios de protección de calidad de suelo en relación a metales pesados) del documento "Suelos" desarrollado por el SAG<sup>9</sup>, en general, en el plano internacional, las distintas normativas asociadas a contaminación de suelos tienen un enfoque asociado a la producción y sustentabilidad. Relacionadas de forma importante a la producción de elementos de consumo. Desde este punto de vista, las normativas en general tienen como objetivo evitar y/o reducir la degradación, erosión y los problemas de fertilidad que pudiesen afectar la calidad de los suelos. Los casos considerados dentro del documento citado corresponden a el caso de la Unión Europea (Italia, Alemania, Francia, Austria y España), y de Estados Unidos.
- Las normativas y bibliografía específica disponible respecto a la deposición de metales pesados sobre suelos, especifica umbrales de concentración para ciertos metales pesados, dentro de los cuales no se encuentra el hierro al no ser una sustancia de importancia en materia de toxicidad.

A partir de lo mencionado anteriormente, se realizará una revisión del uso de suelo de los sectores circundantes a las pilas de acopio de hierro, con el fin de verificar la presencia de actividades agrícolas en el sector.

---

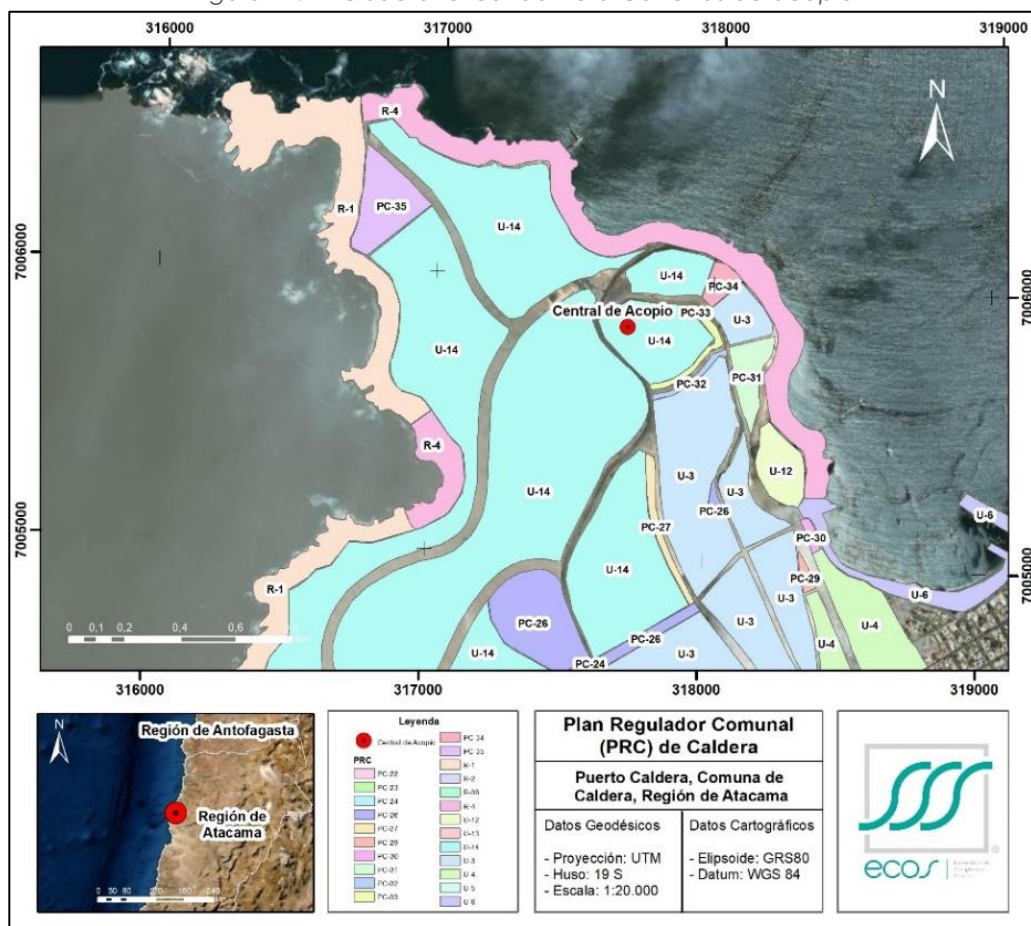
<sup>9</sup>[http://bibliotecadigital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/9\\_normativas.pdf](http://bibliotecadigital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/9_normativas.pdf)

### 6.5.3 Revisión usos de suelo del área de influencia en PRC de Caldera

Respecto a la deposición de material particulado, al estar compuesto en gran parte por hierro, elemento con una alta densidad superior a 5.000 (kg/m<sup>3</sup>) a 20°C, es posible determinar que la afectación del componente no tendrá un gran alcance debido a su alta velocidad de sedimentación de partícula.

Cómo se observa en el acápite anterior y en el marco teórico, las normas asociadas a deposición de metales pesados sobre el suelo, tiene un enfoque principalmente productivo. Por otro lado, estas fijan umbrales para diferentes tipos de metales dentro de los cuales no está incluido el hierro (por su bajo nivel de toxicidad). En el presente acápite se analizarán los usos de suelo de los lugares que se encuentran dentro del área de interés, con el fin de determinar si existen actividades agrícolas que puedan verse afectadas, en las cuales se produzcan elementos de consumo.

Figura 14. PRC Sector circundante a Canchas de acopio



Fuente: Elaboración propia a partir de PRC de Caldera.

Cómo se puede observar en la Figura 14, los sectores circundantes al proyecto, se encuentran en zonas que tienen asociadas tres tipos de usos de suelo distintos según el PRC de Caldera, los cuales se detallan en la Tabla 21 a continuación.

Tabla 21: Zonificación sectores circundantes según PRC Caldera

Zona	Descripción uso de suelo
U-3	Área urbana de uso residencial
U-4	Residencial densidad media
U-6	Borde costero urbano
U-12	Servicios Portuarios
U-14	Área urbana de ampliación de servicios portuarios
PC-26/27/29/31/33/34	Áreas verdes declaradas de utilidad pública
R-1	Protección costera borde rocoso general
R-4	Protección costera apoyo puerto e infraestructura

Fuente: Elaboración propia a partir de PRC de Caldera

A partir de lo revisado en el plano regulador de Caldera y en la ordenanza municipal asociado a este (y sus respectivas actualizaciones), los sectores circundantes al proyecto (que se encuentran dentro del área de interés analizada), no tienen usos de suelo asociados al desarrollo de actividad agrícola (ni plantación de elementos de consumo).

Por otro lado, teniendo en cuenta lo anterior, y que al tener las partículas de hierro una alta velocidad de sedimentación, no se encontrarán concentraciones en el suelo importantes de dicho material fuera de los sectores con uso de suelo U-14, que es de carácter de servicios portuarios.

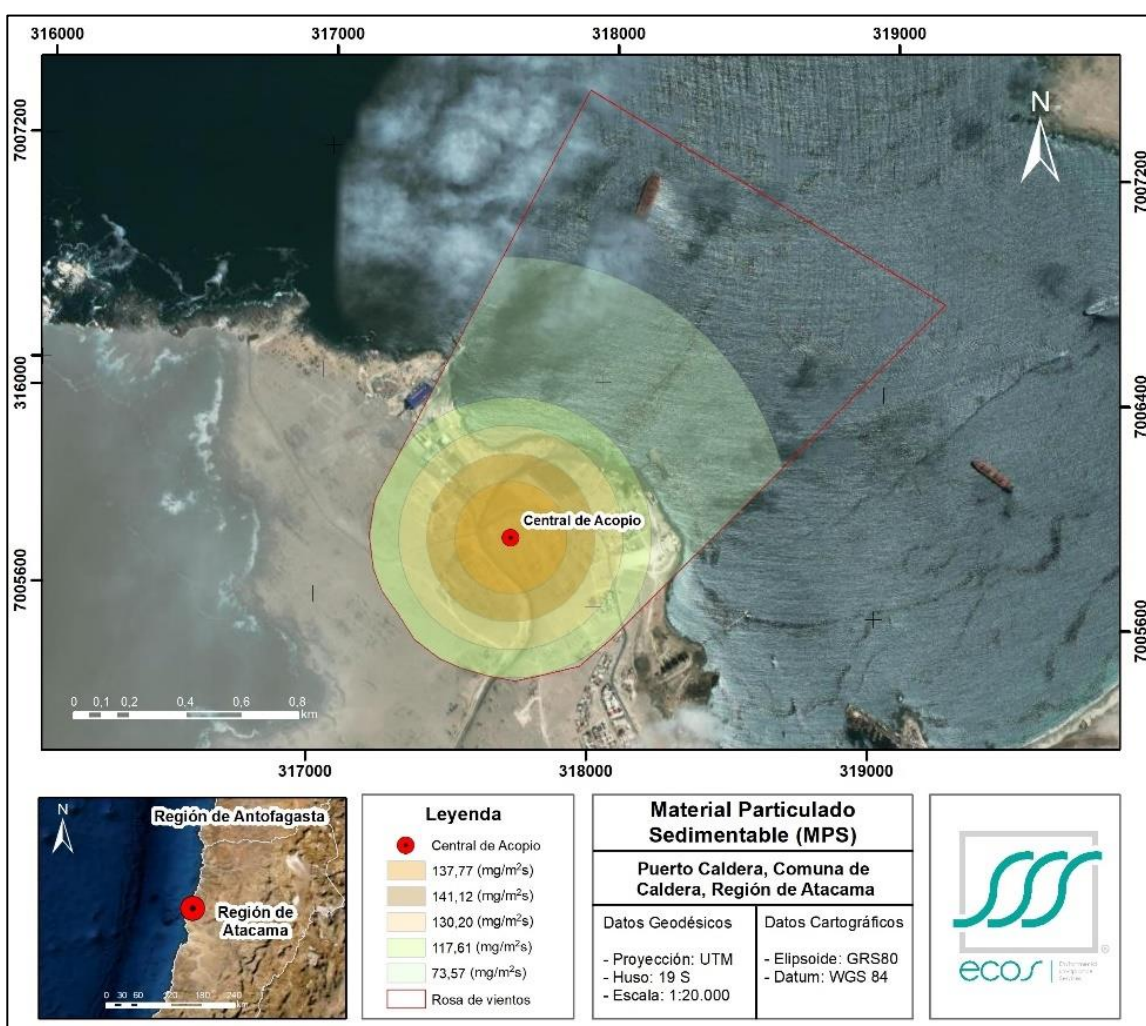
## 6.6 Análisis complementario medio marino

### 6.6.1 Análisis de concentración proyectada de MPS en el fondo marino

Para el análisis del medio marino, se evaluó primeramente el alcance de material particulado sedimentable (MPS) emitido por las actividades SERVIPORT. Esta evaluación se realizó mediante la modelación de concentración del MPS, mediante el modelo de SCREEN3, tal como fue utilizado para el análisis de calidad de Suelo (los resultados del modelo se encuentran en el Apéndice 2, del presente documento). En el caso particular del análisis complementario del medio marino, se consideró el comportamiento de los vientos indicados en el acápite 6.3.2 del

presente documento. En base a estos antecedentes, se estableció un cono de acción para el MPS en su interacción con el medio marino. De esta manera se establecieron isoconcentraciones extendiéndose en superficie tal como lo indica la Figura 15, presentando las isoconcentraciones de material particulado sedimentable en el escenario previo, que tal como se indicó en acápites anteriores, corresponde al que contiene menos medidas de control de emisiones, siendo el más desfavorable.

Figura 15. Isoconcentraciones de MPS desde la fuente emisora. Escenario previo



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de SCREEN 3.

Conforme lo establecido en la modelación y su correspondiente deposición de MPS (ver



Tabla 19), se debe considerar que las deposiciones que alcanzan al borde costero potenciales, y en aguas marinas de la bahía, corresponde a 117,61 y 73,57 mg/m<sup>2</sup>-s de Hierro en el sedimento.

## 6.6.2 Revisión de antecedentes relativo al seguimiento ambiental del componente

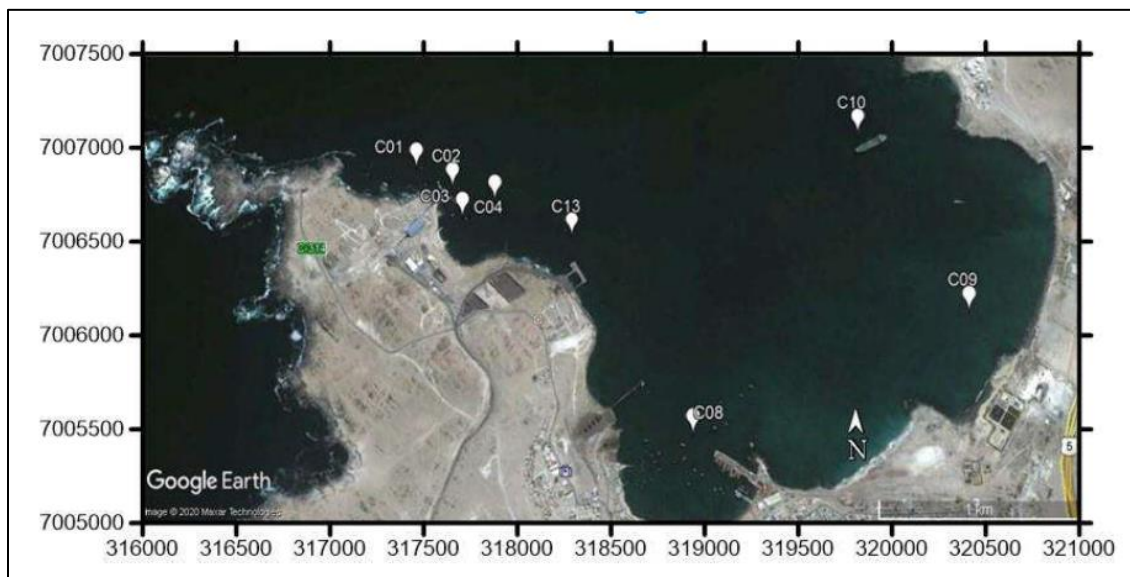
Considerando el Programa de Monitoreo Marino Puerto Punta Padrones asociado a la Resolución de Calificación Ambiental N° 001/1994 perteneciente a Compañía Contractual Minera Candelaria, es posible analizar la química de sedimentos marinos. En los documentos públicos disponibles, se consideran tres puntos de muestreo realizados semestralmente en el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA), correspondiente a C-03; C-04 y C-13. Sus coordenadas y ubicación se presentan dentro de la Tabla 22 y Figura 16 respectivamente.

Tabla 22: Ubicación puntos de interés

Estación	Coordenadas UTM		Profundidad (m)
	Este (m)	Norte (m)	
C-03	317.591	7.006.367	13
C-04	317.759	7.006.455	35
C-13	318.173	7.006.286	17

Fuente: Modificado desde Programas de Monitoreo Marino Puerto Punta Padrones, años 2019 y 2020.

Figura 16. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo realizados al interior de la bahía de Caldera, Región de Atacama



Fuente: Programa de Monitoreo Marino Puerto Punta Padrones, años 2019 y 2020.

Adicional a lo anterior, con la información disponible dentro del Estudio de Impacto Ambiental "Instalaciones Portuarias Punta Padrones, Bahía de Caldera" (RCA N° 001/1994), es posible establecer que para los puntos C-03 y C-04, ya en el año 1993 se tenía una concentración promedio de 3.809 (mg<sub>Fe</sub>/kg)<sup>10</sup>, valor que será utilizado en el presente análisis como línea de base para evaluar su variación en el tiempo.

Considerando los resultados de los puntos de muestreo presentados dentro de la Tabla 22, se presentan a continuación los resultados para los años 2019 y 2020.

Tabla 23. Concentración promedio de hierro por punto de muestreo y variación según línea de base

Año	Punto	Hierro total (mg/kg) promedio anual	Línea Base año 1993 (mg/kg)	Variación Línea Base (%)
2019	C-03	2.347	3.809	-38%
	C-04	4.011	3.809	5%
	C-13	3.307	3.809	-13%
2020	C-03	2.242	3.809	-41%
	C-04	3.140	3.809	-18%
	C-13	3.467	3.809	-9%

Fuente: Obtenido a partir de resultados Programa de Monitoreo Marino Puerto Punta Padrones, 2019-2020.

En base a los resultados presentados dentro de la Tabla 23, es posible observar una disminución porcentual, ya que, en promedio se tiene una variación de -19% respecto a la línea de base establecida, permitiendo observar que las actividades industriales realizadas en las cercanías de la bahía no han producido un aumento sostenido en el tiempo relativo a la deposición de Hierro en el fondo marino.

### 6.6.3 Revisión de antecedentes relativos al levantamiento de información de Puerto Caldera S.A.

En el marco de la evaluación ambiental del proyecto "Acopio y embarque de concentrado de cobre en Muelle Punta Caleta de Puerto Caldera S.A.", como anexo (XII) de la DIA, se presentó el Informe Línea Base Medio Ambiente Marino Proyecto Muelle Punta Caleta Puerto Caldera S.A. Desarrollado por la empresa CEAMAR.

<sup>10</sup> Cálculo estadístico (promedio) a partir de análisis de laboratorio presentados dentro de apéndices RCA N°001/1994, páginas 691-692-2981, para puntos de muestreo C03-1, C03-2, C03-3 y C04.

En dicho informe se presentaron los resultados obtenidos a partir de la realización de campañas de caracterización de línea base ambiental marina en el sector Puerto Caleta (ubicado en Bahía Caldera, Región de Atacama). La línea base mencionada consideró la caracterización de recursos hidrobiológicos y los ecosistemas marinos existentes. El levantamiento fue realizado durante épocas estival e invernal para los años 2019 y 2020.

Los análisis llevados a cabo en el informe mencionado se centraron en dos elementos principales: La columna de agua y sedimentos marinos.

Para los análisis que se realizaron en la presente minuta se tomarán en cuenta los análisis realizados a los sedimentos del fondo marino.

En el capítulo 3.1 del citado informe (Determinación y justificación del área de influencia), se indica que la zona de estudio corresponde a puntos circundantes al Muelle Punta Caleta, y que el área de influencia se determinó como el sector colindante al puerto relacionada a potenciales impactos ambientales a partir de la operación de este. A partir de lo anterior, en el mismo capítulo 3.1 se definen estaciones de muestreo de agua de mar, sedimentos marinos y organismos. Los puntos de muestreo son denominados como ECN, ECS, E1, E2, E3, E4, E5 y E6 (ver ubicación referencial en Figura 17).

*Figura 17 Ubicación puntos de muestreo para Línea de Base - Proyecto Acopio y embarque de concentrado de cobre en Muelle Punta Caleta de Puerto Caldera S.A.*



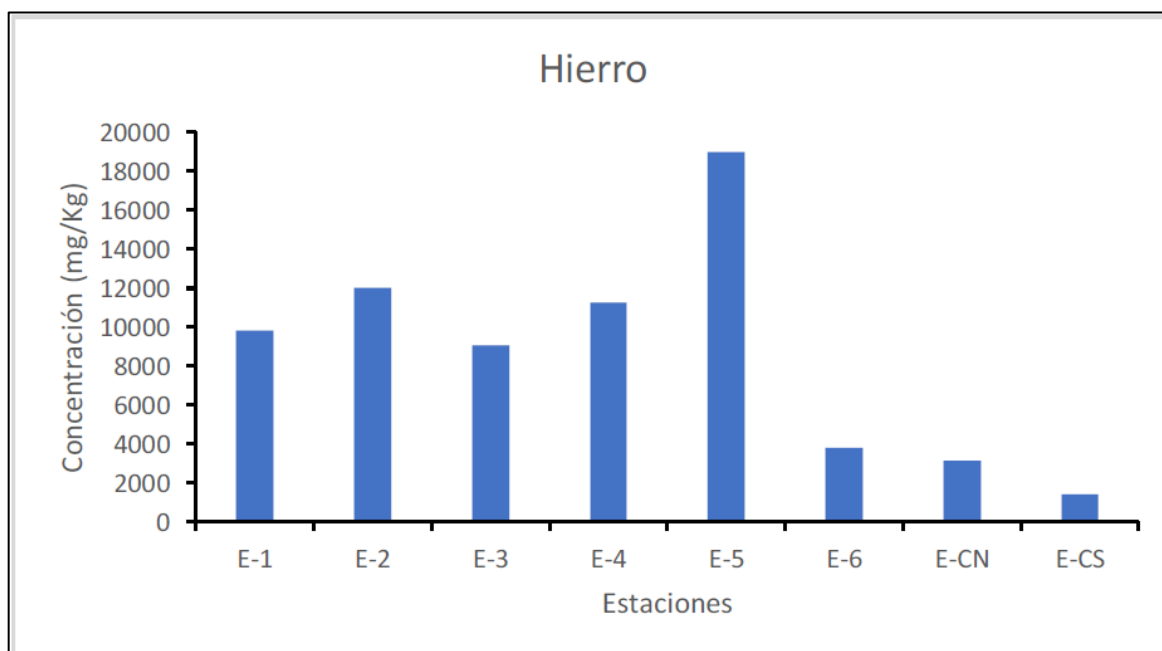
Fuente: Figura 1 del Informe Línea Base Medio Ambiente Marino Proyecto Muelle Punta Caleta Puerto Caldera S.A. Desarrollado por la empresa CEAMAR.

En el capítulo 4.1.2 (Características Físicas y Químicas de los sedimentos marinos), se realizaron distintos análisis asociados a los sedimentos obtenidos en las muestras. Parte de dicho análisis se realizó de manera específica para el Hierro (Fe). Respecto a esto, en dicho acápite se indica que:

*“Las concentraciones de Fe registradas en invierno presentaron valores entre los 1412 mg/Kg y los 18961 mg/Kg en las estaciones E-CS y E-5 respectivamente, con un promedio general de 8669 mg/Kg (Figura 14 y Tabla IX). En verano los valores de hierro variaron entre 639 mg/K en la estación E-CS y 10612 mg/k en E-1 (Figura 14 y Tabla IX).”*

Es importante indicar que, a partir del texto citado, lo que señalado en la “Figura 14 y “Tabla IX” dentro del informe consultado, en la presente minuta se encuentra en la Figura 18 y Tabla 24 respectivamente.

Figura 18. Concentración de Hierro (Fe) total registrados en sedimentos submareales (expresados en mg/Kg)



Fuente: Figura 14 del Informe Línea Base Medio Ambiente Marino Proyecto Muelle Punta Caleta Puerto Caldera S.A. Desarrollado por la empresa CEAMAR.



Tabla 24: Concentraciones de Hierro registrados en sedimentos submareales (expresados en mg/kg)

Elemento	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-CN	E-CS
<b>Hierro Total</b>	9.789	12.018	9.030	11.225	18.961	3.795	3.124	1.412

Fuente: Tabla IX. del Informe Línea Base Medio Ambiente Marino Proyecto Muelle Punta Caleta Puerto Caldera S.A. Desarrollado por la empresa CEAMAR.

Por otro lado, dentro del informe de línea base consultado se señala que en general los valores de concentraciones de metales en los sedimentos registrados se consideran bajos, con excepción del cobre debido a la contaminación histórica del sector de otras fuentes.

## 7 DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

### 7.1 Componente aire

En conformidad a lo expuesto en los acápites anteriores, la emisión de material particulado respirable (MP10) resultante de las actividades del proyecto en su escenario más desfavorable (denominado "previo" en el apartado 6.2.1) asciende a un valor de 5,95 (t), el cual corresponde al período que contempla menores medidas de abatimiento, traduciéndose en una mayor tasa de emisión de MP.

Las emisiones calculadas por escenario permiten obtener las concentraciones horarias máximas esperadas a través del modelo SCREEN3, igual a 76,78 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el escenario previo. En el caso de los escenarios actual y futuro, estos presentan concentraciones igual a 9,75 y 8,64 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) respectivamente.

Por otro lado, es importante considerar que modelo SCREEN3, genera una sobreestimación de concentración de los contaminantes, debido a la simplicidad del modelo, utilizando únicamente el promedio de velocidad de viento y no un análisis en profundidad de esta componente que afecta directamente en la dispersión de contaminantes.

Al respecto de lo anterior, si bien se identificó la generación de emisiones de MP10 producto de las actividades mencionadas, estas no tuvieron un efecto en la calidad del componente aire (objeto de protección definido). Lo anterior en base a los resultados de la modelación realizada, los datos de calidad de aire del monitoreo de Minera Candelaria y de los asociados a Medida Provisional N°7, toda vez que no se identifican superaciones de la norma de calidad primaria aplicable (D.S. N°59/1998), correspondiente a 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) como promedio de 24 horas

durante el periodo de análisis. Así mismo las concentraciones producidas por las actividades de SERVIPORT, en el peor escenario (escenario previo), tampoco superarían el límite horario mencionado en el sector habitacional cercano al acopio (200 m desde el centro del área de acopio), toda vez que a esa distancia se obtuvo una concentración de 76,96 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

Por lo anterior se puede indicar que al no existir una superación de la Norma de calidad primaria producto de los hechos infraccionales, no se ha generado un efecto en la salud de las personas.

## **7.2 Componente suelo**

A partir de lo expuesto en los capítulos anteriores de la presente minuta, asociados a la proyección de la deposición del MPS sobre el suelo, considerando un escenario desfavorable, se pudo observar que la distancia a la cual se proyectó la deposición máxima anual fue a 300 metros con una deposición de 141,12 ( $\text{mg}/\text{m}^2 \text{ s}$ ).

Por otro lado, tal y cómo se mencionó en el capítulo 6.5.2, no existe normativa nacional ni internacional que fije umbrales o límites de hierro sobre el suelo, ya que dicho componente no tiene una toxicidad asociada.

Teniendo lo anterior en cuenta, y luego de revisar el PRC de Caldera, se puede indicar que la zona circundante a las pilas es mayoritariamente portuaria e industrial, por lo que no se reconocen áreas de producción agrícola que pudieran verse afectadas. En el caso del área habitacional, se puede indicar que estas se encuentran reconocidas en el PRC, sin embargo, se encuentran contiguas a áreas autorizadas para el desarrollo portuario.

En conformidad con el análisis realizado es posible indicar que no se evidencian efectos sobre el componente Suelo, con motivo de las actividades de SERVIPORT.

## **7.3 Componente medio marino**

En relación con el medio marino, es importante señalar que los diferentes análisis realizados sobre la bahía de Caldera, se reconocen actividades minero-industriales de larga data. Esta situación ha sido recogida en diferentes procesos de evaluación ambiental, detectando niveles de Hierro en sedimento superiores a los 18.000  $\text{mg}/\text{kg}$  inclusive previo a los hechos infraccionales. Ahora bien, considerando una situación basal como la indicada en la evaluación ambiental de Puerto Punta Padrones (RCA N°001/1994), el comportamiento que ha

presentado el parámetro Hierro es regular para las estaciones cercanas al acopio, a excepción de los monitoreos de invierno de la estación C13.

La variación estacional registrada permite indicar que el ecosistema marino actúa sobre este parámetro entre las estaciones de invierno y verano, permitiendo obtener así la diferencia estacional de los años 2019 y 2020, según la información pública del PVA perteneciente a Puerto Punta Padrones.

Por otro lado, considerando los resultados plasmados en el proceso de evaluación ambiental del proyecto "Acopio y embarque de concentrado de cobre en Muelle Punta Caleta de Puerto Caldera S.A.", es posible indicar que existe cercanía entre las estaciones C13 del PVA revisado y la estación C06 perteneciente al estudio de línea de base del proceso de evaluación en comento. Al comparar los resultados promedio anual de estas estaciones se obtiene 3.467 mg/kg de Hierro para la estación C13 y de 3.795 mg/kg de Hierro para la estación C06, ambos valores por debajo del promedio indicado en línea de base del 1993 correspondiente a 3.809 mg/kg de Hierro.

Por otro lado, al igual que el Hierro en el suelo, este parámetro en el sedimento marino no se encuentra normado y, en ambientes con baja intervención antrópica, el Hierro es un elemento del sedimento aportado por los suelos continentales mediante el transporte eólico. Así mismo, este parámetro no ha sido considerado en las muestras realizadas por la DIRECTEMAR sobre la bahía de Caldera (año 2019).

En conformidad con el análisis realizado es posible indicar que no se evidencian efectos sobre el medio marino, con motivo de las actividades de la dispersión de MPS por las actividades del acopio.

## 8 CONCLUSIONES

La emisión de MP10 resultante por los hechos infraccionales asociados a los cargos, asciende a 5,95 (t) para el escenario previo, correspondiente al más desfavorable producto de las medidas de abatimiento consideradas.

Respecto a las medidas de control identificadas bajo los distintos escenarios (denominados "Actual" y "Futuro"), es posible indicar que permiten una reducción aproximada del 90% respecto a la concentración máxima determinada en las distintas modelaciones de dispersión de material particulado.

El análisis efectuado permite concluir que, si bien existen emisiones de MP10 producto de las actividades del Proyecto, estas no generan efectos adversos sobre la **calidad del aire** del sector. Lo anterior, se desprende del hecho que no hay superación de la norma de calidad asociada a las emisiones de MP10, por lo cual el objeto de protección no fue vulnerado.

En relación al componente **suelo**, la información analizada desde la perspectiva de la generación de posibles efectos que pudiesen existir debido a la deposición de hierro sobre el suelo, permite concluir que no se evidencian efectos sobre este componente, toda vez que:

- El Hierro no es considerado un metal que se encuentre normado nacional e internacionalmente desde la perspectiva de su presencia en el suelo.
- El análisis de dispersión indica la rápida deposición de estas partículas desde la cercanía de la fuente emisora.
- Qué el Plan Regulador Comunal, sectoriza los alrededores del acopio mayoritariamente como zona industrial.

Finalmente, en lo relativo al **medio marino**, es posible indicar que los valores presentados en los diferentes procesos de evaluación ambiental y sus compromisos de monitoreo muestran valores promedio anuales semejantes entre sí, aún cuando el primero de ellos corresponde a un muestreo realizado en el año 1993. Esta situación, y considerando las actividades históricas en la zona, no se evidencia una intervención atribuible a las actividades del almacenamiento de hierro de la unidad fiscalizable identificada.

Por todo lo antes expuesto, se rechaza la hipótesis de generación de efectos, como resultados de los hechos infraccionales analizados.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo J. (2004). El control de la contaminación: técnicas jurídicas de protección medioambiental. Madrid: Monte-Corvo.
- Bermúdez J. (2014). Fundamentos de Derecho Ambiental. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Commission for Environmental Cooperation (CEC) of North America. (2005). Best Available Technology for Air Pollution Control: Analysis Guidance and Case Studies for North America. Montreal, Quebec, Canadá: MJ Bradley & Associates.
- Del Favéro, G. & Katz, R. (1998). El sistema de generación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. Estudios Públicos, 72.
- Donoso, F., & Aliste, C. (2021). Memoria descriptiva de los procesos y actividades, Proyecto Acopio de Minerales SERVIPOINT.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010 Bogotá, D.C. (2012).
- Scapini, V., Carrasco, C., & Vergara Silva, C. (2018). Efectos de la contaminación del aire en atenciones de urgencia de la Región Metropolitana. Revista Ingeniería de Sistemas. Vol. 22. Págs. 55-73.
- SEREMI del Medio Ambiente Región Metropolitana (2012), Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana, 1, 10-30.
- National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Mining. 2012.
- Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. US-EPA, 2006.
- Díaz-Robles, L & Pino-Cortés, E. Modelación de la calidad del aire: Inventario de Emisiones, 2017.
- Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources Revised. US-EPA. 1992.
- Juárez, M, Cerdán, M & Sanchez, A (2007). Hierro en el Sistema Hierro – Planta (Universidad de Alicante. Departamento de Agroquímica y Bioquímica).

- Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile. Jorge Valdés & Alexis Castillo (Universidad de Antofagasta - 2014).
- Datos de monitoreo bahía Caldera - matriz de sedimento 2019. Dirección General Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Armada de Chile). ([https://www.directemar.cl/directemar/site/tax/port/fid\\_adjunto/taxport\\_43\\_141\\_365\\_1.html](https://www.directemar.cl/directemar/site/tax/port/fid_adjunto/taxport_43_141_365_1.html)).

## 10 APÉNDICES

- APÉNDICE 1: Inventario de emisiones y resultados modelaciones SCREEN3 MP10 y MPS.
- APÉNDICE 2: Modelaciones SCREEN3 MP10 y MPS.