

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

**PROPUESTA DE SUPRESIÓN DE POLVO OPTIMIZANDO  
EL RECURSO HÍDRICO EN PROYECTO RAJO  
DULCINEA DEL 1-4, COMUNA DE PETORCA**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Técnico Universitario en  
MINERÍA Y METALURGIA.

Alumnos:

Sr. Marco Astudillo Prado

Sr. Franco Gallardo Alvarado

Profesor Guía:

Sr. Marcelo Rojas Vidal

**2019**

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** POLUCIÓN; MINERA DULCINEA DEL 1-4; PRODUCTO DE MITIGACIÓN DE POLVO.

El presente trabajo de título, tiene como objetivo proponer una mejora para controlar la polución generada por el tránsito de camiones y vehículos livianos en caminos no pavimentados, que comprenden el acceso principal, camino operacional y acceso a botadero de la faena minera Dulcinea del 1-4, ubicada en sector la Vega, Comuna de Petorca, reduciendo el consumo de agua en comparación al método actualmente aplicado para mitigar el polvo en suspensión. Teniendo en cuenta que la polución puede llegar a ser imperceptible al ojo humano, pero muy perjudicial para la salud de las personas, bienestar del ecosistema por su alta contaminación y deterioro, como así también para los equipos, debido al roce y abrasión que generan las partículas en el aire.

En el primer capítulo se identifican las caracterizas generales de la minera, normas a las cual se rige, geología del yacimiento, el modo de arranque del mineral por medio del método cielo abierto y las operaciones unitarias, tales como perforación, tronadura, carguío y transporte, además de la forma que actualmente se emplea para controlar la polución. En esta primera parte también se reconocen los factores que influyen para elegir el producto acorde a las características identificadas, explicando la escases hídrica que afecta a la Provincia de Petorca, el clima que predomina al interior de la Quinta región y las áreas donde se sugiere la aplicación del producto detallando el dimensionamiento y condiciones de estas.

El segundo capítulo tiene como finalidad identificar los distintos métodos de supresión de polvo que existen y la variedad de productos disponibles en el mercado nacional, algunos destilados del petróleo como los bituminosos, otros naturales como la melaza, aceites vegetales o lignosulfatos, especificando sus características técnicas, forma de aplicación, estabilidad y durabilidad.

En el tercer capítulo se dan a conocer los productos descartados, por lo motivos que se señalan y los que fueron preseleccionados, además de la propuesta de la Bischofita, el producto más viable basado en los análisis de sus características y condiciones de la minera Dulcinea del 1-4.

## ÍNDICE

**RESUMEN**

**SIGLAS**

**SIMBOLOGÍA**

**INTRODUCCIÓN**

**OBJETIVOS**

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y FACTORES DE FAENA MINERA DULCINEA DEL 1-4 INFLUYENTES PARA LA ELECCIÓN DE UN PRODUCTO CONTROLADOR DE POLVOS.....5**

1.1. MINERÍA SUSTENTABLE.....5

1.2. MINA “DULCINEA DEL 1-4” .....6

1.2.1. Identificación de la propiedad minera .....7

1.3. Prevención de riesgos operacionales y ambientales .....7

1.4. GEOTECNIA.....8

1.5. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN .....10

1.5.1. Ventajas y desventaja del método aplicado .....11

1.5.2. Operaciones Unitarias.....11

1.5.3. Perforación y Tronadura .....12

1.5.4. Carguío y transporte .....13

1.6. MITIGACIÓN DE POLVO EMPLEADO EN CAMINOS .....14

1.6.1. Problemas generados por Polvo en Caminos .....15

1.7. FACTORES A CONSIDERAR .....16

1.7.1. Escasez hídrica .....16

1.7.2. Clima.....17

1.7.3. Razón Estéril / Mineral (E/M) .....19

1.8. ÁREA DE APLICACIÓN .....20

**CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS Y CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE LOS PRODUCTOS DE MITIGACIÓN DE POLVOS EN SUSPENSIÓN, DISPONIBLES EN EL MERCADO NACIONAL.....23**

2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA POLUCIÓN Y PRODUCTOS .....22

2.2.	TIPOS DE SUPRESORES DE POLVO .....	24
2.2.1.	Agua.....	24
2.3.	SALES Y CLORUROS .....	25
2.3.1.	Cloruro de magnesio .....	25
2.4.	consideraciones técnicas de aplicación .....	26
2.4.1.	Bacheo granular .....	26
2.4.2.	Riego superficial .....	26
2.4.3.	Reperfilado con compactación .....	26
2.4.4.	Ventajas .....	27
2.5.	CLORURO DE CALCIO.....	27
2.6.	RECOMENDACIONES .....	28
2.7.	POLÍMEROS SINTÉTICOS.....	29
2.7.1.	Dosis de aplicación .....	29
2.7.2.	Beneficios .....	30
2.7.3.	Proceso constructivo .....	30
2.8.	PRODUCTOS ORGÁNICOS NO BITUMINOSOS .....	31
2.8.1.	Los lignosulfonatos .....	31
2.8.2.	Aceites vegetales.....	32
2.8.3.	La melaza.....	33
2.9.	PRODUCTOS BITUMINOSOS .....	34
2.9.1.	Bitúmenes .....	35
2.9.2.	Bitúmenes naturales .....	35
2.9.3.	Bitúmenes artificiales.....	35
2.9.4.	Bitúmenes fluidificados.....	36
2.9.5.	Emulsiones Bituminosas .....	36
2.10.	PETROSOIL.....	37

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE BISCHOFITA COMO SUPRESOR DE POLVO, EN BASE A SUS CACTERISTICAS Y CONDICIONES DE FAENA...43**

3.1.	PRODUCTOS DESCARTADOS.....	41
3.1.1.	Agua.....	42
3.1.2.	Productos Bituminosos.....	42
3.1.3.	Polímeros sintéticos .....	43
3.1.4.	Lingosulfonato .....	43
3.1.5.	Aceites vegetales y melaza .....	44
3.2.	PRODUCTOS PRE-SELECCIÓN .....	44
3.2.1.	Cloruro de Magnesio .....	44

3.2.2. Cloruro de Calcio .....	46
3.3. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA LA APLICACIÓN .....	52
3.4. EQUIPOS A EMPLEAR.....	54
3.4.1. Transporte .....	54
3.4.2. Bombas .....	54
3.5. PROPUESTA.....	56
3.5.1. Bischofita .....	56
3.5.2. Delicuescencia.....	56
3.5.3. La cristalización en la superficie de rodado.....	56
3.5.4. Estabilidad frente ciclos de hielo/deshielo.....	57
3.5.5. Preparación de la salmuera .....	57
3.5.6. Limitaciones Climáticas .....	57
3.5.7. Preparación del camino y riego superficial.....	58
3.5.8. Aplicación de la salmuera de Bischofita. ....	58
3.6. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD.....	59
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1. Ubicación geográfica Mina Dulcinea del 1-4. ....	6
Figura 1-2. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	9
Figura 1-3. Rajo Dulcinea del 1-4. ....	10
Figura 1-4. Operaciones unitarias. ....	12
Figura 1-5. Diagrama de perforación. ....	13
Figura 1-6. Pozo inhabilitado mina Dulcinea del 1-4.....	17
Figura 1-7. Grafica de precipitaciones acumuladas en los años 2018-2019.....	18
Figura 1-8. Temperaturas correspondientes al año 2018.....	19
Figura 1-9. Operación Rajo Dulcinea del 1-4.....	20
Figura 2-1. Camión aljibe con supresor de agua.....	24
Figura2-2. HDS, sección 9. Propiedades físicas y químicas.....	28
Figura 2-3. Ficha técnica descripción DS-100.....	33
Figura2-4. Composición de la melaza. ....	34
Figura 2-5. Camión aljibe rociando el producto PETROSOIL.....	36

Figura 2-6.	Características físico químicas de PETROSOIL. ....	37
Figura 3-1.	Intersección acceso botadero con camino operacional. ....	45
Figura 3-2.	Acceso principal faena Dulcinea. ....	46
Figura 3-3.	Resultado de un tratamiento con cloruro de calcio. ....	48
Figura 3-4.	Comportamiento del cloruro de calcio bajo la humedad relativa del aire..	49
Figura 3-5.	Rombo de riesgos químicos.....	52
Figura 3-6.	Camión aljibe.....	54
Figura 3-7.	Rombo de riesgos químicos, empresa SALMAG.....	59

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1.	Ventajas y Desventajas método de explotación rajo abierto. ....	11
Tabla 2-1.	Dosis de Bischofita. ....	25
Tabla 2-2.	Dosis de Cloruro por área de aplicación. ....	27
Tabla 2-3.	Característica de polímeros sintéticos SASBIND. ....	31
Tabla 2-4.	Parámetros del lingosulfonato. ....	32
Tabla 3-1.	Medidas y efectos por contacto accidental con cloruro de calcio. ....	53
Tabla 3-2.	Efectos y medidas a considerar por contacto accidental con Bischofita....	60

### **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1-1.	Consumo de agua 2018 como control de polución. ....	15
Gráfico 3-1.	Consumo de agua según método para supresión de polvo.....	55

## SIGLAS

<b>E</b>	:	Este
<b>N</b>	:	Norte
<b>RMR</b>	:	Rock Mass Rating
<b>RQD</b>	:	Rock Quality Designation
<b>SERNAGEOMIN</b>	:	Servicio nacional Geología y minería
<b>UTM</b>	:	Universal Transversal Mercator
<b>ENAMI</b>	:	Empresa Nacional de Minería
<b>PMA</b>	:	Pequeña minería artesanal
<b>D.S</b>	:	Decreto Supremo
<b>ANFO</b>	:	Ammoniumnitrate-fuel oil
<b>E/M</b>	:	Estéril/Mineral
<b>PM</b>	:	Particulate Matter (partículas respirables)
<b>ATM</b>	:	Atmosfera
<b>Gpm</b>	:	Galones por minuto.
<b>Nch</b>	:	Norma Chilena.
<b>IVA</b>	:	Impuesto de valor agregado.
<b>h</b>	:	Horas
<b>S.A</b>	:	Sociedad anónima.
<b>HDS</b>	:	Hoja de seguridad
<b>N°</b>	:	Número
<b>DGA</b>	:	Dirección general de agua.
<b>Rpm</b>	:	Revoluciones por minuto.

## SIMBOLOGÍA

<b>%</b>	:	Porcentaje
<b>\$</b>	:	Peso chileno
<b>°</b>	:	Grados Dirección de Inclinación en un sistema Sexagesimal
<b>Km</b>	:	Kilómetros
<b>Km</b>	:	kilómetros cuadrados
<b>lt</b>	:	Litros
<b>m</b>	:	Metros
<b>m<sup>3</sup></b>	:	Metros cúbicos
<b>m<sup>2</sup></b>	:	Metros cuadrados
<b>mm</b>	:	Milímetros
<b>µm</b>	:	Micrones
<b>CaCL<sub>2</sub></b>	:	Cloruro de calcio
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	:	Cloruro de Magnesio.
<b>Mpa</b>	:	Mega Pascales
<b>°C</b>	:	Grados Celsius
<b>Ton</b>	:	Tonelada
<b>g</b>	:	Gramos
<b>Kg</b>	:	Kilogramos
<b>MmHg</b>	:	milímetro de mercurio

## INTRODUCCIÓN

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas. La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el ser humano, entre ellos, la disminución visual causada por la absorción y dispersión de la luz.

Es por esto que la contaminación ambiental producida por los procesos productivos de la gran, mediana y pequeña minería, han sido foco de la innovación y desarrollo de las nuevas tecnologías para la mitigación de polvos en suspensión. Los cuales son descritos como agentes externos de microscópicas dimensiones, generando una variedad de enfermedades respiratorias y que de igual forma crean un ambiente laboral dañino e inseguro, tanto para el personal de trabajo como para las máquinas de producción en faena, que son afectadas debido a la filtración e impregnación de partículas en articulaciones, engranes, válvulas, etc. Causando erosión, abrasión y desgaste en las superficies, dañando los equipos, aumentando los tiempos de mantenimiento y elevando los costos en refacciones o partes desgastadas de los vehículos, siendo de gran importancia incorporar planes para contrarrestar estos problemas, que se van acrecentando en el tiempo. Inicialmente en la minería se a utilizado el recurso hídrico para esta acción, siendo una práctica a corto plazo, ya que no es dañina y es fácil de manipular, lo que lo hace un supresor simple y efectivo sobre el terreno, pero el cual presenta varias falencias en su rendimiento y durabilidad, debido a sus propiedades físicas y químicas que se ven afectadas por las altas temperaturas de la zona a lo que conlleva a su uso regular durante la semana.

Su uso constante género una proyección esperada en el consumo de agua según el gobierno nacional de Chile y ministerio de minería para los próximos años, verá un aumento del 12 % en los próximos 10 años y un 230% en el consumo del agua de mar, la cual se utiliza actualmente solo un 5% debido a sus costos de purificación. Actualmente la minería utiliza 14, 98 m<sup>3</sup>/ s de agua para sus funciones, según la Dirección General de Aguas (DGA), que equivale a un 4 % del bien nacional, el cual está destinado en un 81% a la gran minería, 7% para la mediana minera, 4%, fundiciones y refinerías, mientras que los otros mineros minerales utilizan el 8 %, dejando a los

pueblos próximos con problemas de este bien por su uso excesivo. Por lo que hace crítico analizar diferentes planes de ahorro de aguas en faenas.

Desde el 2010 el MOP declara a la Comuna de Petorca, como una zona de escasas hídrica. La sequía que afecta desde 1997 el río Petorca, presenta una restricción del uso del agua, debido a los bajos niveles del vital elemento en la zona. Por esta razón y la antes mencionada es que se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías y métodos que optimicen este recurso y así formar parte de una minera sustentable, que no dañe a las comunidades aledañas y el ecosistema cercano.

La utilización de productos supresores es la opción más confiable para el control de polvos, el cual depende de una serie de variables y condiciones presentes en la minera Dulcinea 1-4 para su previa elección. El mercado nacional ofrece diferentes tipos de productos innovadores naturales, bituminosos, polímeros sintéticos, sales y cloruros. Cada producto presenta diferentes rendimientos respecto al consumo de agua, comportamiento frente a factores climáticos y superficie de aplicación, que serán críticos a la hora de elegir el producto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Reducir el consumo de agua destinada para el control de polución generada en caminos operacionales de la faena a Dulcinea del 1-4, mediante un método mitigador de polvo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las características operacionales de la faena y los factores que influyen en la elección del método de supresión de polvo.
2. Investigar los diferentes productos utilizados en la mitigación de polvo en suspensión.
3. Proponer producto para el control de polución y método de aplicación según los factores y requerimientos analizados.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y FACTORES DE FAENA MINERA**  
**DULCINEA DEL 1-4, PARA LA ELECCION DE UN PRODUCTO**  
**CONTROLADOR DE POLVOS.**

1. **ANTECEDENTES Y FACTORES DE FAENA MINERA DULCINEA DEL 1-4, PARA LA ELECCION DE UN PRODUCTO CONTROLADOR DE POLVOS.**

El presente capítulo permite identificar las características operacionales de faena y los factores que influyen en la elección del método de supresión de polvo.

1.1. **MINERÍA SUSTENTABLE**

Una característica de la minería chilena es su diversidad. Existe consenso al identificar tres segmentos en el sector minero chileno: Gran Minería, Mediana Minería y Pequeña Minería. Sin embargo, no existe un criterio único para clasificar las faenas mineras correspondientes a cada grupo.

El pequeño minero se define como aquel que trabaja en instalaciones propias o ajenas con una capacidad de extracción de hasta 200 toneladas de mineral por día, para su venta directa en bruto o su procesamiento en pequeñas plantas. Dentro de la Pequeña Minería se pueden distinguir a su vez dos grupos diferenciados, según su capacidad de gestión. Por un lado, la Pequeña Minería en cierta medida más formal y por otro la PMA, un sector en el que no se lleva a cabo ningún tipo de gestión ambiental y la capacidad de fiscalización de las autoridades son mínimos, por lo que los recursos son reducidos y las tecnologías propuestas se deben ajustar a un presupuesto limitado.

El concepto de sustentabilidad aplicado a la explotación de recursos naturales, implica tres condiciones. La primera, no agotar el recurso explotado, extrayendo de forma conservadora y acompañada por la exploración constante de nuevos yacimientos. Segundo, que no sea causa de serias inequidades que amenacen la estabilidad social de su entorno y tercero, que no genere impacto sobre el ambiente que afecten la explotación de otros recursos o la calidad de vida de sus habitantes.

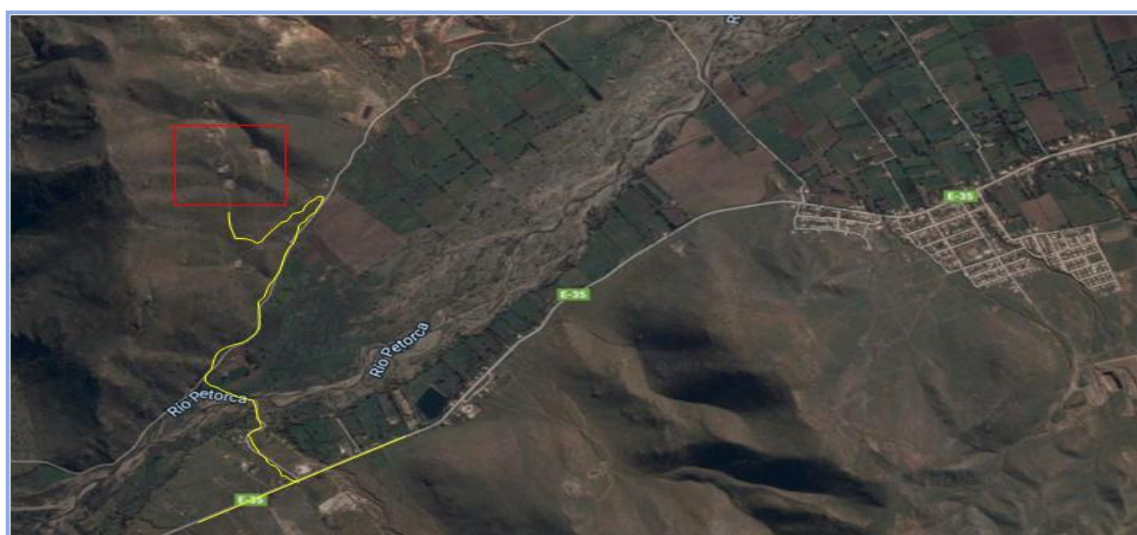
Respecto a la última condición, el control de la contaminación y de la degradación del paisaje, son aspectos de mayor cuidado, debido a la importancia que tiene para la continuidad de un proyecto de explotación, al igual que el uso de los

recursos hídricos cuando la minería se desarrolla en zonas áridas o semiáridas, como es el caso de la mayor parte de la minería chilena y al interior de la región de Valparaíso.

Hoy el sector minero es responsable del 7% del consumo total a nivel nacional, si bien las mineras con mayores recursos han logrado reutilizar el 66% del total de agua que usan en sus procesos, implementando nuevas tecnologías, en la pequeña minería los efectos si bien son menores a los generados por las grandes mineras, el impacto es mayor debido a la condición de sequía que se encuentra la zona.

## 1.2. MINA “DULCINEA DEL 1-4”

La Mina “Dulcinea del 1-4” se encuentra ubicada al extremo noroeste de la Quinta Región, en la provincia y Comuna de Petorca, específicamente en el sector la Vega. (Ver figura 1-1) El mineral de óxido que se extrae mediante el método cielo abierto, es vendido a ENAMI Illapel y minera Amalia, Catemu, para su procesamiento. La producción mensual varía entre 1200 a 1500 ton, con una ley aproximada de 1,8%. Según la proyección, se estima mover 445.851 ton de estéril y 222.925 ton de Mena, lo que podría variar a futuro.



Fuente : Elaboración propia en base a captura de pantalla de “Google Earth”.

Figura 1-1. Ubicación geográfica Mina Dulcinea del 1-4.

La faena posee dependencias que se utilizan como oficinas, baños, bodegas y comedor, Además cuenta con área destinada para el almacenamiento de combustible, que es mantenido en los mismos tambores en los que se comercializa y una zona para el manejo de residuos industriales, donde estos se almacenan separados según su tipo.

Actualmente cuenta con una dotación de 8 personas, quienes realizan los trabajos en un solo turno de día, laborando de lunes a viernes, es importante destacar que el agua potable, es suministrada por camiones que abastecen los estanques destinados para el consumo humano en la faena.

#### 1.2.1. Identificación de la propiedad minera

La pertenecía minera Dulcinea del 1-4, Rol minero N°05202-1028-8, se encuentra inscrita a fojas 259 N°44 del registro de propiedades de minas del conservador de Minas de Petorca, correspondiente al año 2009. Actualmente figura inscrita al nombre de don Gabriel Muñoz Salas y no se encuentra con problemas de servidumbre de paso, ya que cuenta con la debida autorización escrita otorgada por el dueño superficial, por lo que el beneficiario puede transitar y acceder libremente a la faena sin afectar ningún derecho de tercero. La mensura consta de aproximadamente 100 hectáreas y las coordenadas UTM son: N: 6.433.350 y E: 322.680

### 1.3. PREVENCIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES Y AMBIENTALES

El empresario minero en su faena, aplica en todas sus actividades del proceso productivo lo indicado, según las características operacionales, el Reglamento de seguridad Minera (D.S. 72/85 modificado por D.S. 132), además de contar con los reglamentos específicos solicitados por SERNAGEOMIN.

Actualmente cuenta con un plan de prevención de riesgos y enfermedades ocupacionales, también con todas las medidas de seguridad correspondiente al tipo de faena, siguiendo procedimientos de trabajo seguro, análisis de seguridad en el trabajo, matrices de identificación y categorización del riesgo, con el fin de poder trabajar en forma segura, por esto la operación cuenta con los siguientes procedimientos y documentación:

❖ PLANES:

- Plan de prevención de riesgo.
- Plan de manejo de emergencia.
- Plan de manejo de sustancias peligrosas.

PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO SEGURO:

- Perforación y tronadura en superficie.
- Detección de tiros quedados.
- Acuñadora mecanizada.
- Carguío, transporte y descarga de material.
- Descarpe, movimiento y descarga de estéril.
- Reducción de colpas de forma manual.

El compromiso también apunta al cumplimiento de lo establecido en el DS 594, que aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias básicas en los lugares de trabajo, en los artículos que les correspondiere aplicar a través de un trabajo progresivo, gradual y continuo.

En lo referente a medioambiente, es obligación del empresario, trabajar en concordancia con las acciones que enmarcan la meta de una producción limpia, es importante destacar que, de acuerdo a las características y magnitud de las operaciones, no corresponde el ingreso del proyecto de explotación al sistema de evaluación de impacto ambiental, específicamente por ser un proyecto con capacidad de extracción de mineral inferior a 5000 ton mensuales. No obstante, a lo anterior, la empresa asume la responsabilidad que tanto las operaciones de producción, mantenimiento, así como el manejo del campamento, se realizará tomando las medidas adecuadas para evitar impactos significativos en el medio ambiente.

#### 1.4. GEOTECNIA

Las discontinuidades corresponden a cualquier plano de origen geomecánicas (rotura) o sedimento en un macizo rocoso, con corte (fisura, grieta, fractura), que normalmente muestra una resistencia a la tracción nula o muy baja. Confieren un comportamiento discontinuo y no uniforme al macizo rocoso y en cualquier caso presentan un plano de debilidad. El macizo rocoso situado en las coordenadas N:

6.433.263, E: 322.683 está constituido por andesitas cretácicas, presenta varias familias de discontinuidades, muy fracturadas y moderadamente meteorizadas, las que corresponden a diaclasas y estratificaciones.

El grado de fracturación, medido a través del índice *Rock Quality Designation*, RQD, es de 36,7 % e indica que la calidad de la roca es mala. La puntuación de cada uno de los parámetros geomecánicos evaluados en terreno se adjunta en la Figura 1-2, dispuesta por el ingeniero a cargo.

Plan de Explotación Rajo Dulcinea  
Juan Gabriel Muñoz Salas

**Tabla 5 Parámetros geotécnicos.**  
**Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)**

A. Parámetros de clasificación			>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)			
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
Puntuación			15	12	7	4	<25%			
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		>2 m	0,6m-2m	0,2m-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1m-3m	3m-10m	10m-20m	>20m			
		Puntuación	6	4	2	1	0			
		Abertura	nada	<0,1mm	0,1mm-1,0mm	1mm-5mm	>5mm			
		Puntuación	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		Puntuación	6	4	2	2	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	0		
		Puntuación	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Puntuación	6	5	3	1	0			
5	Agua Freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min			
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5			
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
		Puntuación	15	10	7	4	0			

Puntuación RMR	59
----------------	----

**B. Clasificación RMR**

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Medía	Mala	Muy Mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<21

Fuente: Proyecto de explotación rajo Dulcinea del 1-4.

Figura 1-2. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Basándose en el puntaje del RMR correspondiente a 59, se desprende que la calidad geotécnica del macizo rocoso en la faena es media.

### 1.5. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El desarrollo de la explotación se realiza a través de rajo abierto y por rebaje (ver figura 1-3), es decir comenzando por la parte más alta del rajo proyectado, hasta la parte más baja (fondo pit). Se contempla el desarrollo de ocho bancos los cuales tienen un avance de explotación hacia el Oeste. Estos tienen un ángulo de talud de  $60^\circ$ , bermas de 3,6 m y una altura de 8 m, con un pretil de seguridad de 1,5 m.

Para la elección de la altura de banco, talud y berma, se utilizó el criterio de Ritchie (1963), modificado por Evas y Vall (1992), el que explica que para bancos de altura menor o igual a 9 m, su berma se calculará del producto de 0,2 por la altura del banco más 2 m, por lo cual al poseer una altura de banco de 8 m se obtuvieron los valores antes mencionados. Respecto al ángulo de talud, este se designó según la calidad de la roca, que, al ser Media, el ángulo podría ser entre  $60^\circ$  y  $75^\circ$ , eligiendo el primer valor, por mayor seguridad.

Para que la excavadora pueda acceder a la cota desde la cual se explotaran los bancos, se cuenta con una rampa que tiene una pendiente máxima de 25% y un ancho de 5 m, que fue construida con el mismo material fragmentado producido por la explotación. Las rampas por donde circularan los camiones no exceden el 10% y todo camino de acceso o donde transiten camiones tienen de ancho 4,5 m y un pretil de 0,5 m para evitar la caída de personal y/o equipos.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno.

Figura 1-3. Rajo Dulcinea del 1-4.

### 1.5.1. Ventajas y desventaja del método aplicado

Tabla 1-1. Ventajas y Desventajas método de explotación rajo abierto.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Planificación más flexible a medida que progresa el rajo.	Los agentes atmosféricos naturales tienen un fuerte impacto en el desarrollo del trabajo.
Los costos por tonelada movida son más bajos.	Las frentes de trabajo necesitan de una buena organización.
Mejor recuperación del volumen de mineral explotable.	Se generan importantes impactos en el entorno que debe ser corregido por medio de una restauración generalmente cara.
El tonelaje por cada voladura es alto.	Las inversiones en equipos son cuantiosas, así como las cargas financieras.
La mecanización no tiene límites en cuanto a las dimensiones de los equipos.	Baja Ley.

Fuente: Elaboración Propia, presentación métodos de explotación.

### 1.5.2. Operaciones Unitarias

Las actividades que se realizarán corresponden a las operaciones unitarias de arranque y extracción de material, estas se trabajan con el siguiente diagrama indicado en la Figura 1-4.

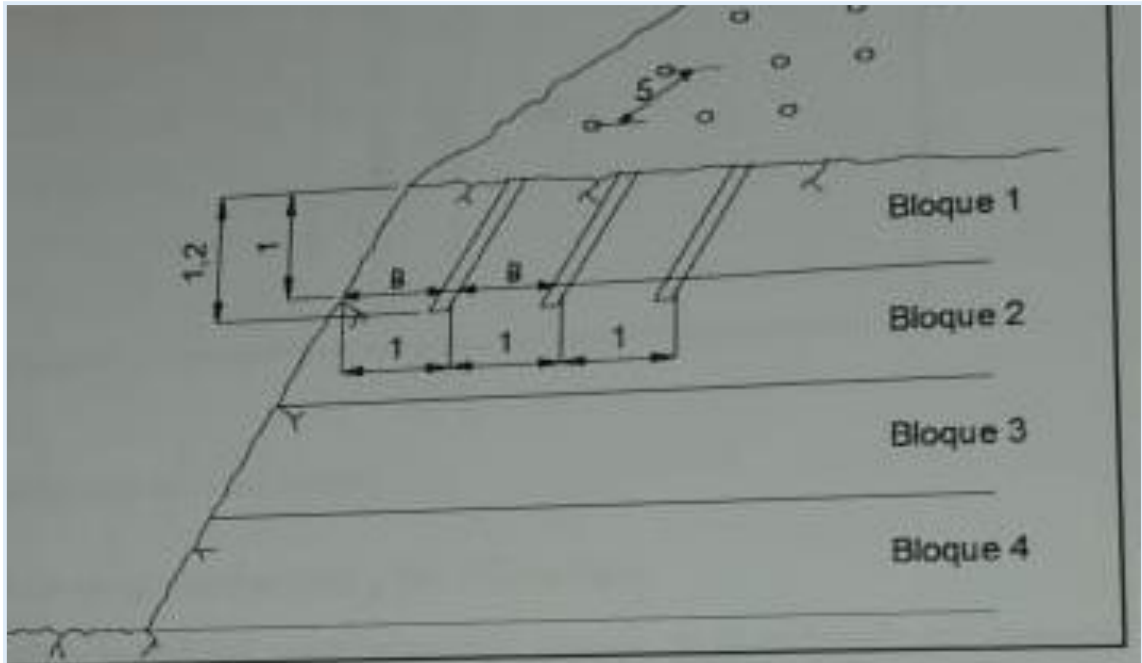


Fuente: Proyecto de explotación rajo Dulcinea del 1-4.

Figura 1-4. Operaciones unitarias.

### 1.5.3. Perforación y Tronadura

La extracción del material es por medio de una excavadora, en 8 bloques de manera descendente, exceptuando las zonas donde la roca sea muy competente y se deba tronar. En donde se deba efectuar la tronadura, se realizan tiros verticales utilizando perforación manual, con largos de 1,2 m, donde 0,2 m corresponden a la pasadura, con el objetivo de obtener una superficie regular al momento de la extracción del material, burden de 1 (m) que es la distancia entre corrida de tiros y con espaciamiento de 1,3 m entre perforación y perforación, (Ver Figura 1-5).



Fuente: Proyecto de explotación rajo Dulcinea del 1-4.

Figura 1-5. Diagrama de perforación.

La carga explosiva está compuesta por 470 Kg/perforación de ANFO, y una prima constituida por mecha a fuego (longitud del tiro + 0,75 m), un detonador N°8 y un cartucho de Emultex, la secuencia de tronadura tiene salida a la cara libre de los bancos.

La Faena posee almacenes de explosivos de superficie permanente, ubicado dentro de la propiedad. El polvorín cumple con todas las exigencias de la autoridad fiscalizadora, de acuerdo al DS N° 77, el cual aprueba el reglamento complementario de la ley N°17.798, que establece el control de Armas y Explosivos. La ventilación se realiza de forma natural debido a las características del método de explotación.

#### 1.5.4. Carguío y transporte

El carguío y transporte se realiza de forma mecanizada a través de una excavadora Volvo EC460, cargando el camión en sentido de retroceso de la frente al camino, girando el balde cargado por el lado del corte del cerro.

Una vez teniendo el área en condiciones, el operador de la excavadora mediante el uso de la bocina autoriza al operador del camión para que se ubique en la zona de carga, será responsabilidad del operador del equipo de carguío el adecuado carguío de los camiones considerando no sobrepasar el nivel de la tolva, de manera de no generar derrame de material en trayecto o volcamiento del camión.

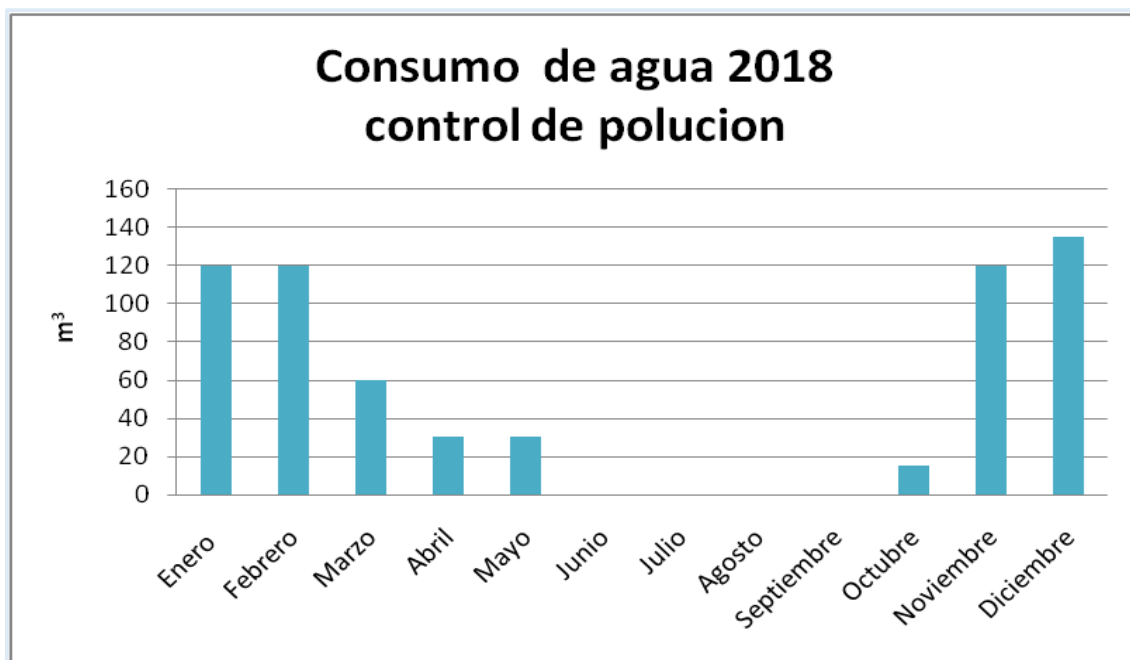
Cuando el camión alcanza el nivel de llenado, el chofer avisara mediante el uso de la bocina, para que el equipo de transporte abandone la zona de carguío y se dirija a la cancha de acopio o al botadero, mientras el camión se retire cargado, el operador de la excavadora procede a limpiar el piso de posibles derrames, antes de repetir el ciclo con un nuevo camión, los que son bidireccionales y con una capacidad de 25 ton.

#### **1.6. MITIGACIÓN DE POLVO EMPLEADO EN CAMINOS**

Para la mitigación de polvo en la minería, existe una serie de productos y procedimientos para aplicar. La elección del producto correcto otorgará caminos y superficies duraderas en el tiempo, optimizando el recurso hídrico y económico.

Las principales variables que condicionan la emisión de polvo en los caminos mineros son: la velocidad a la que circulan los equipos y vehículos livianos, el peso de estos, el flujo y el contenido de material fino existente en la pista de rodado.

En la faena se utilizan 10.000 lt de agua aproximadamente cada 4 días, distribuidos solamente en el proceso de perforación y consumo humano, mientras que para la mitigación del polvo generado por el movimiento de camiones y vehículos menores en caminos no pavimentados, se realizan regadíos dos veces por semana o según requerimientos, consumiendo un total de 630 m<sup>3</sup> anualmente (ver gráfico 1), los que son distribuidos por camiones aljibes en las zonas críticas para disminuir la polución y obtener un ambiente apto. El servicio entregado por los camiones aljibes, se extiende por un periodo de 8 meses, donde no caen precipitaciones en la zona con un costo de \$4.200.000 anuales. Debido a lo antes mencionado es que se propone la utilización de un producto rentable y acorde a las condiciones de la operación.



Fuente: Datos obtenidos en visita a faena.

Gráfico 1-1. Consumo de agua 2018 como control de polución.

#### 1.6.1. Problemas generados por Polvo en Caminos

El camino operacional no pavimentado debe mantenerse en óptimas condiciones, con una mantención rigurosa, debido que por el mal estado de las vías de transporte producen exceso de material particulado en el ambiente que genera las siguientes dificultades:

- La visión de los conductores empeora, debido a las nubes de polvo en suspensión, aumentando el riesgo de accidentes de tránsito.
- Afecta la salud de las personas, provocando enfermedades respiratorias y alergias, siendo también un transportador de otras enfermedades.
- El material fino particulado puede resultar abrasivo, desgastando prematuramente las piezas móviles de los equipos.
- El polvo en el ambiente puede viajar varios cientos de metros, penetrando en las casas y cubriendo los cultivos aledaños a la faena.

Para la correcta elección se debe tener en cuenta una serie de variables, las que determinarán el tipo de producto a emplear y la forma de aplicarlo, a continuación, se detallarán los principales factores que se considerarán para proponer el producto óptimo y así reducir el consumo de agua destinada para la mantención de las vías de tránsito de equipos y botaderos.

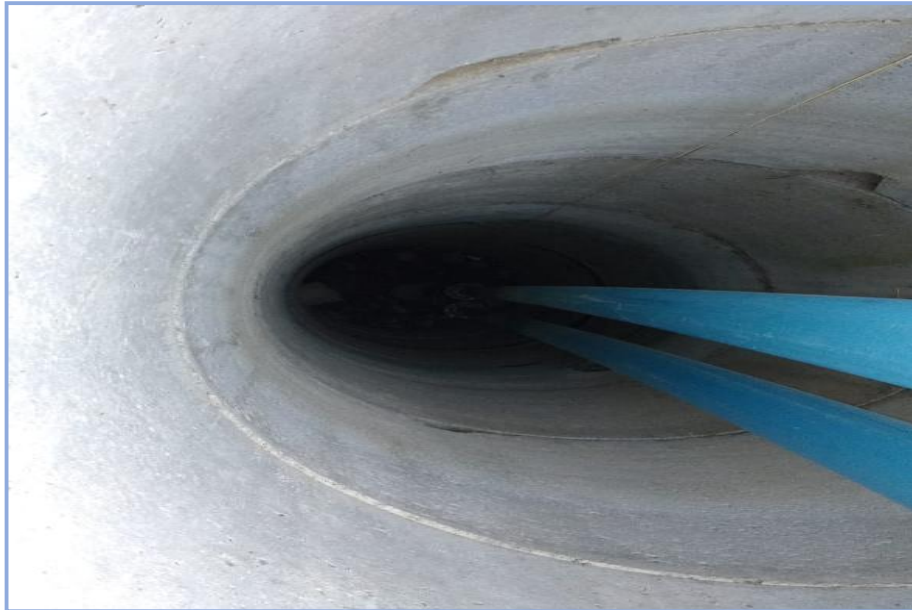
## **1.7. FACTORES A CONSIDERAR**

### **1.7.1. Escasez hídrica**

A nivel país y mundial el déficit de agua es una problemática que afecta tanto el desarrollo humano, como el ecosistema. Chile actualmente Según la publicación de la Fundación Chile ‘Radiografía del Agua: brecha y riesgo hídrico en Chile’, el 76% de la superficie chilena está afectada por sequía, desertificación y suelo degradado.

La región de Valparaíso es una de las más afectadas, ya que 5 de 8 provincias son declaradas en zona de escasez hídrica por la DGA basado en el “Informe condiciones hidrometeorológicas provincia de Petorca, región Valparaíso” del 07 de Enero del 2019. Los Andes, San Felipe, Quillota y Marga Marga entraron a la lista por un periodo de seis meses, donde Petorca se encuentra desde el 2010. Los principales factores que agudizan la crisis son la escasez de lluvia, la poca capacidad de los suelos para retener el agua caída y la sobre explotación de paltos, los que pueden utilizar hasta 187,4 lt de agua en el proceso de regadío, esto en los meses de enero, febrero y marzo.

La principal meta es tener una minería sustentable, la cual sea amigable con el medio ambiente. La escasez hídrica es el principal factor para elegir el método de supresión de polvo, ya que en la actualidad los pozos utilizados para la extracción de agua se encuentran secos y los derechos fueron reducidos como medida para evitar que las napas subterráneas se recuperen. Por lo que la disponibilidad del recurso hídrico es limitada.



Fuente: Fotografía obtenida en terreno.

Figura 1-6. Pozo inhabilitado mina Dulcinea del 1-4.

El agua disponible para la faena, es comprada por camionadas a empresarios de la zona, que, de igual manera, no pueden hacer uso excesivo del recurso, el valor promedio varía entre los \$70.000- \$100.000 por camionada, es decir 15.000 lt.

#### 1.7.2. Clima

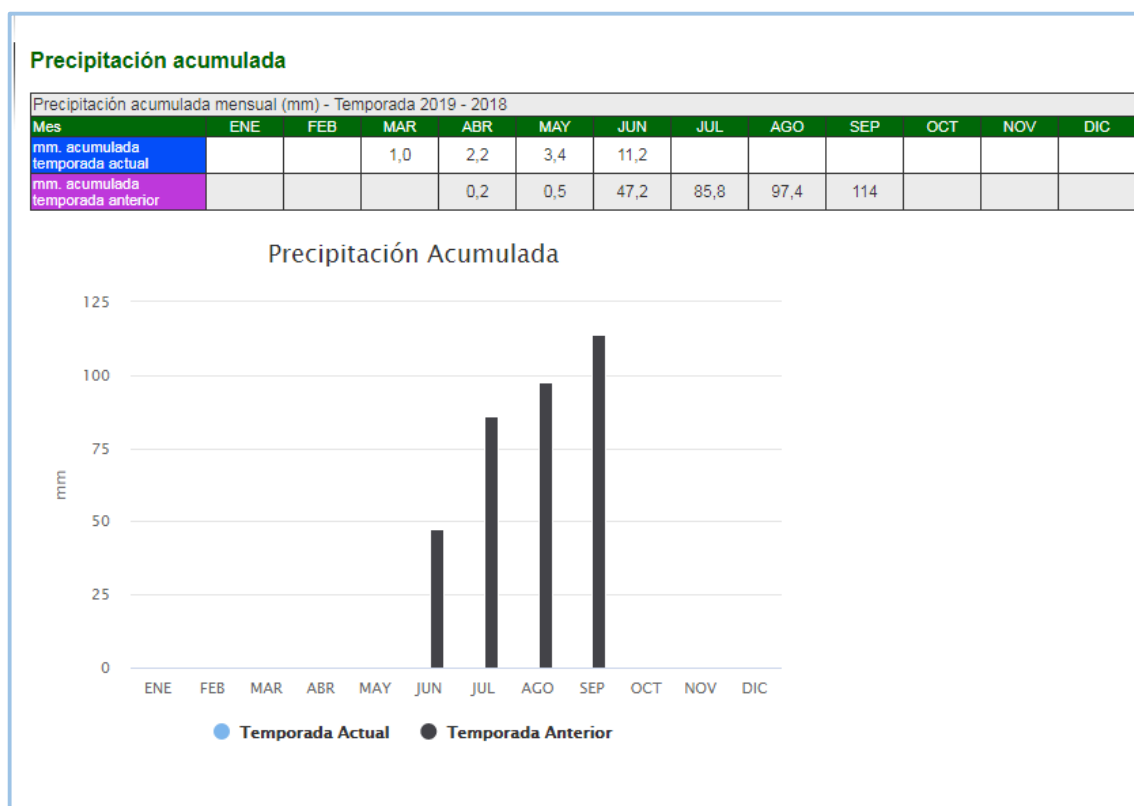
En la Región de Valparaíso se pueden distinguir hasta seis tipos de clima: un clima seco de estepa que se prolonga desde la IV Región y tres climas templados que se diferencian entre sí por las características de la nubosidad y la duración del período seco. Así también se encuentran los climas: templado cálido y tropical lluvioso en las zonas insulares de la región.

En la zona central de la V región, el clima es templado, mientras que, al interior, al disminuir la influencia del mar, se acentúa la amplitud térmica y las estaciones son más marcadas.

En la comuna de Petorca ubicada a 190 km al este de Valparaíso, predomina un clima de estepa con gran sequedad atmosféricas, que según sus características se presenta en los valles interiores, desde el límite con la IV Región, hasta Cabildo aproximadamente y se caracteriza por cielos límpidos a causa de la baja humedad atmosférica, cielos despejados y alta luminosidad.

Las lluvias todavía son escasas e irregulares por lo que las sequías son frecuentes en el valle de Petorca y la Ligua, Estas se presentan en invierno y son de origen ciclónico.

Valparaíso tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. En la comuna de Petorca, donde se ubica la faena, la temporada de lluvia dura 5,3 meses, del 16 de abril al 24 de septiembre. La mayoría de las precipitaciones caen durante el mes de septiembre, con una acumulación total promedio de 114 mm. Mientras que el periodo del año sin lluvia dura 6,7 meses, desde septiembre a mediados de abril. Los meses donde existen menos precipitaciones son Enero y Febrero, con una totalidad de 0 mm de agua caída. (Ver 1-7 figura)



Fuente : <http://www.agroclima.cl/InformesAgroclima/Precipitacion>.

Figura 1-7. Grafica de precipitaciones acumuladas en los años 2018-2019.

En cuanto a las temperaturas que afectan a la zona de pre-cordillera, estas presentan una variación, siendo Enero el mes más cálido, con un promedio de 21.3 ° C, mientras que en Junio se producen las temperaturas medias más bajas, alcanzando los 10,9 ° C. La humedad relativa promedia 70%, Se adjunta tabla climática, con los registros de temperatura del año 2018 (Ver Figura 1-8).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	21.3	20.9	19.2	16.4	13.3	10.9	11	11.7	13.4	15.7	18.2	20.3
Temperatura min. (°C)	13.7	13.2	11.3	8.9	7	5.1	4.9	5.3	6.9	8.6	10.5	12.7
Temperatura máx. (°C)	28.9	28.7	27.1	23.9	19.7	16.8	17.2	18.1	20	22.8	25.9	27.9
Temperatura media (°F)	70.3	69.6	66.6	61.5	55.9	51.6	51.8	53.1	56.1	60.3	64.8	68.5
Temperatura min. (°F)	56.7	55.8	52.3	48.0	44.6	41.2	40.8	41.5	44.4	47.5	50.9	54.9
Temperatura máx. (°F)	84.0	83.7	80.8	75.0	67.5	62.2	63.0	64.6	68.0	73.0	78.6	82.2

Fuente: [climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/petorca](http://climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/petorca).

Figura 1-8. Temperaturas correspondientes al año 2018.

### 1.7.3. Razón Estéril / Mineral (E/M)

La razón estéril/ mineral, se define como el monto de unidad de sobre capa o estéril que debe ser removido, para obtener acceso a un monto de unidad de mineral. En la faena minera esta referencia se hace en cuanto a la cantidad de camiones, siendo esta de 6:1, es decir, por cada 6 camiones de estéril, uno corresponde a mineral. Es importante destacar que esta relación puede variar, según la geología del yacimiento, pero actualmente esos son los valores que se manejan

Este factor es importante porque determinará el recorrido que deben hacer los equipos de transporte, ya sea al botadero o a la cancha de acopio donde el mineral es seleccionado manualmente para luego ser vendido y el tiempo al que los caminos están sometidos a camiones ya sean, cargados o vacíos, lo que tiene gran impacto con la superficie de las vías y la durabilidad de esta.

La cantidad de camiones varia en la faena, generalmente se utilizan 3 para la operación de transporte. Por la ambigüedad de la mina, es difícil determinar los metros exactos que recorren los camiones, desde el rajo al botadero, se contempla una distancia de 400 m aproximadamente, demorándose 20 minutos en realizar el ciclo solo de traslado, mientras que, a la cancha de acopio de mineral, la distancia es de 750 m y el tiempo de traslado para descargar el mineral es de 35 minutos ida y vuelta (Ver Figura 1-9).



Fuente: Fotografía obtenida en terreno.

Figura 1-9. Operación Rajo Dulcinea del 1-4.

## 1.8. ÁREA DE APLICACIÓN

Los caminos donde se propone el uso de producto, presentan diversas superficies y características, el acceso principal a la mina, contempla una superficie estable y compacta, debido al poco tránsito de equipos pesados, pero a los 500 m se conecta con el camino operacional, donde transitan los camiones bidireccionales, con carga y vacíos y la superficie cambia, presentando zonas donde existe material fino y volátil, principalmente el acceso al botadero y curvas cerradas.

El camino desde el rajo al botadero y/o cancha de acopio, tiene un ancho de 4,5 metros y presenta mayor desgaste, en comparación al acceso principal, la pendiente no excede el 10%.

La necesidad de proponer la aplicación de producto en el botadero, se debe a que cuando el sector determinado para el acopio de mineral se ve sobrecargado, se habilita un área donde se encuentran trabajadores seleccionando el mineral y están en contacto directo con la polución generada por los camiones.

**CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS Y CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE  
LOS PRODUCTOS DE MITIGACIÓN DE POLVOS EN SUSPENSIÓN.**

## **2. PRODUCTOS DE MITIGACIÓN DE POLVO EN SUSPENSIÓN**

En el capítulo siguiente se analizan los diferentes productos de mitigación de polvo en suspensión disponible en el mercado nacional.

### **2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA POLUCIÓN Y PRODUCTOS**

La principal problemática presente en la zona de la faena minera y pueblos aledaños es la escasez de agua que azota la zona que principalmente se utiliza para la agricultura, la mayoría del agua es utilizada en supresión de polvo o procesos minero metalúrgicos, el cual genera un desgaste muy alto sin tener efecto positivo a largo plazo, ya que el método de utilización de agua para los caminos y para la supresión de polvo no es altamente eficiente debido a que necesita un constante regadío dando así como resultado un alto consumo que al correr del tiempo genera más un gasto innecesario que una solución, por lo que el método de supresión de polvos por medio de sistemas de regadíos y uso exclusivamente del agua queda descartado al igual que la implementación de pavimentación, ya que no es rentable por el constante deterioro de las vías de circulación y la gran explotación abierta de la faena. El polvo consiste en pequeñas partículas llevadas por corrientes de aire, formados en su mayoría por desintegración o fractura de materiales sólidos. Según estimaciones anualmente se acumulan entre 2.000 y 3.000 millones de toneladas de polvo en la atmósfera. Las principales fuentes de polvo están en la erosión eólica, terremotos y volcanes, minería, agricultura y actividades industriales.

El polvo es clasificado por el tamaño en 2 categorías primarias:

1. Polvo inhalable (PM10): Es aquella fracción de polvo que entra en el cuerpo, pero es atrapado en la nariz, la garganta, y vías respiratorias superiores. La medida del diámetro de este polvo es aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .
2. Polvo respirable (PM 2,5): Son aquellas partículas bastante pequeñas para penetrar la nariz y el sistema superior respiratorio y profundamente en los pulmones. Las partículas que penetran superan los mecanismos de despacho naturales del cuerpo y tienen mayor probabilidad de ser conservadas en el organismo.

Las partículas PM10 y PM2,5 pueden causar problemas a la salud. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta por algunos elementos tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos), las partículas PM2.5 puede producir tos, dificultad para respirar y agravar el asma

El polvo es hoy una de las principales amenazas para la minería. Su carácter furtivo pone en riesgo la salud de las personas y la seguridad operacional, así como la continuidad del proyecto. Sin un adecuado sistema de monitoreo y control de polvo, una gran cantidad de material particulado fino compromete la salud de los operadores e impacta negativamente en el desempeño de los equipos, afectando la productividad de la operación.

Entendiendo que el polvo daña la carpeta de rodado y compromete la vida útil de los caminos, acelerando su erosión y creando un entorno de polución que afecta a los usuarios y comunidades aledañas, es necesario evaluar diferentes prácticas para su abatimiento. Los supresores de polvo, cualquiera sea el tipo, abaten el polvo a través de la modificación de las propiedades físicas de la superficie. Una vez aplicado un supresor de polvo las partículas y material del suelo son agrupadas y capturadas, haciéndolas más pesadas, lo que permite evitar la polución por esta vía, mejorando la calidad del aire y la visibilidad del camino. Algunos supresores forman una película superficial por aglomeración de partículas, lo que requiere de una gran cantidad de producto para no romperse. Otros, como las emulsiones bituminosas logran una carpeta de rodado de propiedades asfálticas, seguras y resistentes.

Muchos de los productos orgánicos bituminosos y no bituminosos son combinados con aglomerantes y emulsificantes, que aportan propiedades de adhesividad para que las partículas de polvo se agrupen y peguen, evitando su elevación. La sal y derivados de cloruros no obstante logran un efecto visual favorable, con una superficie de base higroscópica que absorbe la humedad, generan una condición jabonosa e insegura ante presencia de humedad.

La forma tradicional y más eficiente de aplicar los supresores es con una barra aspersora, dosificando con inyectores o boquillas especialmente diseñadas para una cobertura eficiente del camino. La formación superficial puede requerir movimiento de tierra y compactación, dependiendo del tránsito que soportará y el material de la superficie.

## 2.2. TIPOS DE SUPRESORES DE POLVO

### 2.2.1. Agua

Opera a partir de la aglomeración de partículas en la superficie. Depende altamente de la humedad presente en el ambiente, tiene una eficiencia de aproximadamente un 40 % en la captación de polvos en suspensión, su capacidad de controlar polvo decrece desde 100% a 0% en muy corto tiempo, especialmente si el clima es caluroso y seco.

El agua es más eficiente donde el tránsito vehicular es limitado. Además, es un bien muy escaso en la industria minera. Por otra parte, no evita la elevación de partículas más finas que se generan, ya que el agua no encapsula el camino. A su vez, el sobre riego facilita la formación de barro, lo que dificulta la limpieza y mantenciones de equipos, genera erosión acelerada (Ver Figura 2-1).



Fuente: Fotografía minera Soldado.

Figura 2-1. Camión aljibe con supresor de agua.

## 2.3. SALES Y CLORUROS

### 2.3.1. Cloruro de magnesio

Suprime el polvo a través de la humedad presente en el ambiente incrementando la tensión superficial del lugar de aplicación generando una superficie más dura cuando está seca, requiere una humedad mínima del 32% para absorber agua ambiental, independiente de la temperatura, sin embargo, genera una inestable superficie ante la presencia de agua.

También conocido como Bischofita, la empresa SALMAG lo describe como un supresor muy efectivo, ya que es de tipo higroscópica (humedad > 32%) también es ligante, el cual une las partículas finas estabilizando la carpeta de rodado con un punto de congelamiento de -32,8 C°, no es tóxico ni reactivo y su aplicación es inmediata. Contando con una alta resistencia la evaporación que en forma de salmuera tiene una baja tasa de evaporación del 0,001 litro por hora.

Tabla 2-1. Dosis de Bischofita.

DEFINICIONES	ESTABILIZACIÓN	SUPRESIÓN DE POLVO
Objetivo	Carpeta de rodado duradera y de alto nivel de servicio.	Control de polvos durante las estaciones secas del año
Dosificación	60-90 kg/m <sup>2</sup>	2 a 3 kg/m <sup>2</sup>
Tipo de aplicación	Mezcla íntima	Riego superficial
Duración aproximada	Sobre 5 años siendo rigurosos en procedimientos y dosificaciones (varía según tipo de suelo)	Mínimo de 2 meses sin lluvias considerables.
Conservación	No requiere	Reaplicación en cada temporada (posible menor dosis)
Reparación	Bacheos o perfilados puntuales	No requiere
Observaciones	No aporta capacidad estructural	Se recomienda perfilar y se debe retirar material de sobre tamaño antes de la aplicación.

Fuente: Ficha EasyMag, Soluciones líquidas de Bischofita.

## 2.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE APLICACIÓN

### 2.4.1. Bacheo granular

Es aplicado sobre la superficie irregular el cual presenta baches a lo largo del área de trabajo. Consiste en extraer el material del área afectada para así rellenar con material granular mezclado con la sal para erradicar los baches en la base y finalmente compactar.

### 2.4.2. Riego superficial

Se utiliza regularmente como una acción preventiva para la Bischofita, restituyendo el cloruro perdido debido al tránsito cotidiano de las maquinarias lo cual crea un desgaste del suelo. Aplicables con camiones aljibes, requiere que la superficie se encuentre con una buena regularidad es decir sin calaminas, deformaciones ni baches. Esta acción se aplica para que la Bischofita se diluya en el agua para así formar una salmuera y se reagrupe en la superficie del terreno renovando el producto y su composición. Como en el caso del cloruro de sodio es difícil lograr una disolución adecuada, se está planteando una nueva operación que consiste en colocar la sal en estado sólido sobre la superficie y luego regar el agua sobre ella.

### 2.4.3. Reperfilado con compactación

La operación de reperfilado se debe realizar al presentarse deformaciones de ahuellamiento (efecto de desgaste por del tránsito regular sobre la superficie) y deformaciones de calaminas para una restitución de la geometría original y la cohesión del material de la superficie, lo que se debe realizar con la acción de compactación por sobre la superficie tratada, la que consiste primeramente en escarificar con moto niveladora hasta una profundidad de unos 3 a 5 cm del espesor de la carpeta de rodadura, perfilar, agregar el estabilizador y compactar.

#### 2.4.4. Ventajas

- Ahorro de Costos: reduce la cantidad de agua requerida, la pérdida de material granular y los costos de conservación vial y de operación de los vehículos.
- Control de Polvo: 100% efectividad.
- Rápido: uso inmediato del camino al término de la construcción.
- Calidad de Servicio: comparable a un camino con tratamiento asfáltico.
- Durabilidad: Si se construye y aplica en forma adecuada puede durar más de tres años sin mantenciones mayores.
- El producto es natural, incoloro e inodoro.
- No es contaminante ni peligroso.

#### 2.5. CLORURO DE CALCIO

Es altamente higroscópico absorbe la humedad y la mantiene, ya que su temperatura de evaporación es alta, favoreciendo la compactación del terreno bajando costos de mantención por erosión y debido a su composición el cloruro de calcio se asocia hasta 6 moles de agua formando hidratos.

El cloruro de calcio no requiere preparación y su método de aplicación es directo mediante camiones aljibes con regadío.

Tabla 2-2. Dosis de Cloruro por área de aplicación.

<b>APLICACIÓN</b>	<b>DOSIS</b>
Caminos no pavimentados, superficies de tierra.	2.0 Kilos/m <sup>2</sup>
Caminos no pavimentados con alto tráfico de camiones, estacionamientos, etc....	3.0 Kilos/m <sup>2</sup>

Fuente: Ficha técnica cloruro de calcio, Oxy Chile.

## 2.6. RECOMENDACIONES

- Sólo con diversidad de tamaño de partículas no recomendable para suelos compuesto en su mayoría de finos.
- Escarbar el terreno previamente.
- Conviene regar previamente para mejorar su distribución.
- No aplicar durante o antes de la lluvia 24 horas.
- Ya aplicado el producto dejar pasar 4 a 6 horas sin tránsito para que se difunda en el suelo.
- Es conveniente aplicar en dos o tres pasadas para la mejora de distribución del producto.

<b>Estado físico:</b>	Líquido
<b>Forma en que se presenta:</b>	Líquido claro
<b>Color:</b>	Transparente
<b>Olor:</b>	Inodoro
<b>pH:</b>	9 - Estimado (sin diluir)
<b>Punto de fusión/ punto de congelamiento:</b>	No corresponde/-43 - +21°C (-46 - +69°F).
<b>Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición:</b>	110 - 122 °C (230 - 252 °F)
<b>Punto de inflamación</b>	No combustible
<b>Límites de explosividad:</b>	No aplica
<b>Presión de vapor:</b>	9 - 15 mm Hg @ 25 °C (77 °F)
<b>Densidad relativa de vapor (aire=1):</b>	No existen datos disponibles
<b>Densidad:</b>	10.61 - 11.97 lb/gal [1.27 - 1.43 kg/L] @ 25 °C (77 °F)
<b>Solubilidad(es):</b>	Completamente miscible en agua
<b>Coefficiente de partición n-octanol/agua:</b>	No disponible
<b>Temperatura de auto-ignición:</b>	No disponible
<b>Temperatura de descomposición:</b>	No disponible
<b>Umbral del olor:</b>	No corresponde
<b>Tasa de evaporación:</b>	No disponible
<b>Inflamabilidad:</b>	No combustible
<b>Viscosidad:</b>	2 - 7 cp @ 25°C (77 °F)

Fuente: Informe química físico del cloruro de calcio. Oxy chile.

Figura. 2-2. HDS, sección 9. Propiedades físicas y químicas.

- **Estabilidad química:** Estable a temperaturas y presiones normales.
- **Reacciones peligrosas:** Reacciona con zinc, sodio, acero galvanizado, se forma hidrogeno gaseoso inflamable y explosivo.
- **Materiales incompatibles:** Evitar contacto con trifluoruro de bromo, 2-furano ácido percarboxilico ya que el cloruro de calcio es incompatible con dichas sustancias. La reacción de la impureza del bromuro con los materiales oxidantes puede generar niveles traza de impurezas como bromatos.

Comparadas con el agua, las sales son más eficientes en el control de polvo, si se logra controlar la humedad requerida; sin embargo, no forman una capa impermeable, con lo que su composición migra fácilmente del camino al ambiente, modificando la salinidad del suelo y pH del agua.

## 2.7. POLÍMEROS SINTÉTICOS

Las propiedades adhesivas de los polímeros sintéticos promueven la ligazón de las partículas del suelo. Estos polímeros pueden fortalecer la superficie del camino, aumentando la tensión de rotura en 10 veces, lo que en clima seco permite mantener su densidad compactada. Sin embargo, tienden a fallar en presencia de agua, neblina o temperaturas bajo cero, ya que se congelan o resquebrajan al no tener la flexibilidad suficiente. En general, los polímeros compactan eficientemente, pero no impiden la generación de polvo, al saturarse la superficie donde han sido aplicados.

SASBIND es una fórmula exclusiva en base de agua de emulsión de polímeros acrílicos modificados que realiza la unión de partículas de suelos, aplicándose de forma directa en las superficies de carpetas de rodadura que requieren de un reductor de polvo.

### 2.7.1. Dosis de aplicación

Supresor de Polvo: 490 gr/m<sup>2</sup> (Una pasada de 300gr/m<sup>2</sup>, una de 150 gr/m<sup>2</sup> y la última pasada de 40 gr/m<sup>2</sup>) para transito normal y de 750 gr/m<sup>2</sup>( Una pasada de 300 gr/m<sup>2</sup>, una de 300 gr/m<sup>2</sup> y la última pasada de 150 gr/m<sup>2</sup>) Dilución : 1 litro de agua por metro cuadrado.

### 2.7.2. Beneficios

- Fácil dosificación, dilución y aplicación.
- Adecuado para la aplicar a una amplia variedad de tipos de suelos.
- No se requiere equipo especializado.
- Interrupción mínima del tráfico.
- Eliminación del desprendimiento de material particulado (polvo) correspondiente a la carpeta de rodado.
- Aplicable para todo tipo de suelos.
- Reduce la erosión y mejora la impermeabilización de caminos de tierra.
- Puede ser aplicado usando agua de mar, desalinizada e industrial para su dilución.
- La efectividad de Sasbind en el proceso de supresión de polvo es del 90%.

### 2.7.3. Proceso constructivo

1. Se debe determinar el área de trabajo al que se le aplicará el supresor de polvo Sasbind.
2. Se calcula la cantidad de producto Sasbind a utilizar de acuerdo a la superficie de trabajo a partir de las dosis.
3. Ya determinados los litros de producto Sasbind a utilizar, se determina la cantidad de agua necesaria a partir de la superficie en relación a 1 Litro/m<sup>2</sup> y se agrega la solución dentro del camión aljibe.
4. Se aplica la solución en el área delimitada a través de riegos sucesivos de manera uniforme sobre el área determinada para el tratamiento a través de un sistema de riego previamente establecido (riego con manguera, barra regadora, aspersores u otro método a presión que entregue homogeneidad en el regado y un caudal constante).

Tabla 2-3. Característica de polímeros sintéticos SASBIND.

CARACTERÍSTICAS	DATOS
Apariencia	Líquido blanco lechoso
Peso específico	1,04 N/Kg a 25°C
pH	7(+1)
Olor	Acrílico suave
Disolvente	Agua

Fuente: Ficha técnica Sasbind.

## 2.8. PRODUCTOS ORGÁNICOS NO BITUMINOSOS

### 2.8.1. Los lignosulfonatos

Es un polímero natural proveniente de la resina de un árbol el cual actúa como cementante ligando las partículas de suelo entre sí tiende a mantener la plasticidad permitiendo la compactación del suelo cuando son aplicados en camino con alto contenido de arcilla su acción ligante es tanto física como química.

EXISTEN 2 POSIBILIDADES DE APLICACIÓN:

- Zonas donde no va a haber alto tráfico: se realiza una aplicación de entre 0,200-0,250 lt/m<sup>2</sup> (4 partes de agua). Habrá que hacer un mantenimiento periódico, pero pueden llegar a asegurarse 6 meses libres de polvo. En caso de lluvia torrencial será necesario una aplicación de entre 0,050-0,075 litros/m<sup>2</sup> para cubrir el posible arrastre por la lluvia.
- Zonas donde va a haber tráfico: se realiza una aplicación de entre 0,100-0,150 litros/m<sup>2</sup>. Las primeras 2 semanas hay que hacer un total de 5 aplicaciones para que vaya creándose una película protectora que mantenga la superficie libre de polvo. Las siguientes aplicaciones se tienen que hacer cuando se aprecie que el polvo empieza a aparecer, esta periodicidad depende de multitud de variables como viento, lluvia, temperatura, intensidad de tráfico, tipología de tráfico, ... Si se quiere disminuir el número de aplicaciones habrá que aumentar la dosificación hasta encontrar la periodicidad requerida.

Tabla 2-4. Parámetros del lignosulfonato.

PARÁMETROS	UNIDAD
pH(10% en solución)	2,0 – 7,0
Materia seca (%)	55,0 +- 2,0
Insolubles (%)	Máximo 2,0
Color	marrón
Densidad (25°C)	1,285 ton/m <sup>3</sup>
Viscosidad (25°C)	250 mPas
Azufre total	6%

Fuente: Ficha técnica N° artículo 10.00.10. CORPIDUST

### 2.8.2. Aceites vegetales

Son generalmente una mezcla de glicéridos y provienen de semillas y/o frutos. Algunos ejemplos de aceites vegetales son: canola, soya, semilla de algodón. Actúan originando la aglomeración de las partículas de suelo, creando una suave costra sobre la superficie, pero su eficiencia es de corto plazo. El Supresor de Polvo Base Orgánica DS-100 (MSC-AS-44), es un producto líquido, de color café claro, de baja viscosidad, de alta penetración en terrenos o caminos de alta concentración de polvo suelto.

Su composición química se basa en un concentrado orgánico de 10 % de fase acuosa con agua desmineralizada, a la cual se le ha agregado un 20% de un compuesto químico orgánico de alta resistencia no contaminante de excelente durabilidad y adherencia, especial para tratamientos de suelos y especialmente fabricado para obtener un producto de alto rendimiento, además se le agrega un 20% de aditivo de aceite vegetal, que permite darle mayor adherencia a la partícula de polvo. Por último, se le agrega un 50% de emulsificante triglicérido de origen orgánico y biodegradable, cuya función es evitar que las micelas con aditivos se aglomeren mientras estén en el agua tratada y permitir que la reacción de atrapar la partícula de polvo se produzca al entrar el supresor de polvo en contacto con el suelo.

Dada su composición y para que cumpla eficientemente su objetivo puede ser aplicado como concentrado, o bien, puede ser diluido con agua al 50% para obtener el DS-50, o al 33% para obtener el DS-33, siendo su rendimiento tanto concentrado como diluido, un metro cuadrado por litro, y su durabilidad es de 30 días aproximadamente.

La composición química del supresor de polvo permite mantenerlo almacenado, sin contacto con el aire, hasta 6 meses ya sea en tambores de 200 litros o a granel en estanques. - Para suelos que no se encuentran debidamente compactados, en que se espera el máximo de durabilidad del producto aplicado, es recomendable que se realice un tratamiento inicial con el Supresor de Polvo Biodegradable, para luego realizar aplicaciones mensuales de mantenimiento. Para efectos de transporte el producto tiene una densidad de 1,1 gr/cm<sup>3</sup>.

<u>Propiedades físico químicas</u>		Mezcla : Triglicéridos de aceites vegetales solubles.		
Estado físico	: Emulsión	Componente	NºCAS	Proporción
Olor	: Muy leve, típico aceites vegetales.	Aceite vegetal	Nº Cas: 67762-38-3	50%
Color	: Café oscuro	Ester de soya	de propiedad	20%
Ph	: 7-9	Aceite linaza	Nº Cas: 8001-26-1	20%
Punto de ebullición	: 210 °C	Agua	Nº Cas 7732-18-5	10%
Punto de inflamación	: 240 °C	<b>Identificación de riesgos</b>		
Inflamabilidad	: No es inflamable	Contacto con la piel	: Contacto prolongado con la piel puede producir irritación leve.	
Densidad	: 1.1 g/cm <sup>3</sup>	Contacto con los ojos	: Contacto prolongado puede producir irritación leve	
Viscosidad a 25 °C	: 15 cst	Inhalación	: Puede producir irritación respiratoria por inhalación excesiva Y prolongada..	
Punto de congelamiento	: < -36 °C	Ingerido	: Puede causar leve irritacion en boca garganta estomago, es necesario asistencia médica.	
Solubilidad en agua	: Soluble			
Estabilidad	: Producto estable			

Fuente: Ficha técnica Base Orgánica DS-100,EcoPollux.

Figura 2-3. Ficha técnica descripción DS-100.

### 2.8.3. La melaza

Son productos derivados de la caña de azúcar son viscosos y de un color café almíbar el cual al ser aplicado sobre la superficie crea una capa superficial el cual ligan temporalmente las partículas de suelo por su composición física. Para su permanencia es necesario realizar aplicaciones constantes, principalmente porque son hidrosolubles. El producto se ve afectado por la humedad ambiental y la presencia de lluvias con las cuales se degradan hasta el punto de mezclarse con el agua eliminando la capa superficial dejando el suelo sin tratamiento. Tienden finalmente a dejar el terreno de forma inestable y en forma de costras al momento de secarse y no ser tratada.

Agua:	18,22 %
Sacarina:	30-36 %
Azúcar invertido:	71-24 %
Cenizas:	6-9 %
Potasio:	1900-3300 mg/100 g
Calcio:	800-1400 mg/100 g
Magnesio:	200-400 mg/100 g
Hierro:	15-28 mg/100 g
Cobre:	0,5-1,5 mg/100 g
Fósforo:	30-50 mg/100 g
Cromo:	trazas

Fuente: Ficha de seguridad Quiminet.

Figura. 2-4. Composición de la melaza.

## 2.9. PRODUCTOS BITUMINOSOS

En este grupo se incluyen los asfaltos cortados y emulsiones asfálticas, entre otros. Aglomeran partículas finas, generalmente formando una superficie que mantiene las partículas de suelo en su lugar. Encapsulan y estabilizan la superficie de rodado, obteniendo una eficiente respuesta, similar al pavimento, con propiedades de visibilidad y seguridad como las de caminos asfaltados. Bajo condiciones adecuadas de suelo y material de relleno, esta solución puede mantener un camino de vehículos livianos estabilizado y encapsulado por más de un año.

Son productos muy resistentes, insolubles en agua, sin presentar evaporación. Generalmente resisten el rodado y poseen un alto punto de tensión de rotura, traspasando la fortaleza de la base a su superficie. Existen emulsiones asfálticas que se complementan con aglomerantes y emulsificantes, los cuales son pieza clave en su eficacia, ya que impiden –en casos particulares– la lixiviación del agente bituminoso, pues no todos los tipos de suelo compactan de la misma manera. Las emulsiones de alto contenido bituminoso (sobre 50%) forman una carpeta altamente resistente a la carga y rodado, de gran adherencia e hidrorrepelente, no siendo resbaladiza ante la presencia de agua o humedad.

- LOS MATERIALES BITUMINOSOS PUEDEN DIVIDIRSE EN DOS GRANDES GRUPOS: BETUNES Y ALQUITRANES.

Ambos presentan unas propiedades análogas y de diferencias muy significativas: los dos son termoplásticos y poseen una buena adhesividad con los áridos; sin embargo la viscosidad de los alquitranes se ve más afectada por las variaciones de temperaturas y su envejecimiento es mucho más precoz que el de los betunes.

#### 2.9.1. Bitúmenes

Son mezclas de hidrocarburos naturales, pirogenados (sometidos a tratamientos de calor), o combinaciones de ambos. Pueden presentar diversos estados: gaseosos, líquidos, semisólidos, y sólidos. Además, pueden ser naturales o artificiales.

#### 2.9.2. Bitúmenes naturales

Se encuentran en la naturaleza formando lagos, mezclados con arena o arcilla, y a veces impregnando rocas. Son poco abundantes y su extracción no presenta gran interés. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales más ligeros se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad.

#### 2.9.3. Bitúmenes artificiales

Se obtienen a partir del petróleo sometiendo al mismo, después de una destilación fraccionada a temperatura ambiente, a otro proceso de destilación fraccionada en caliente y vacío para obtener aceites pesados y grasas sin que se produzca el cracking que se origina con temperaturas más altas. Este cracking consiste en romper las cadenas de los hidrocarburos más largas y convertirlas en hidrocarburos de cadenas más pequeñas.

Cabe destacar dentro de los diversos tipos de betunes, algunos de ellos de especial interés como los bitúmenes asfálticos. Estos betunes, preparados por destilación de hidrocarburos naturales, se presentan como sólidos o semisólidos a temperatura ambiente por lo que, para poder usarlos en obra, es preciso calentarlos a fin de reducir su viscosidad.

También conviene citar otros tipos de ellos, como los bitúmenes fluidificados o las emulsiones bituminosas.

#### 2.9.4 Bitúmenes fluidificados

Se obtienen mezclando betunes duros con aceites ligeros (queroseno, gasolina, etc.). Tiene la ventaja de que no es preciso calentarlos para su utilización y los disolventes empleados tienen como única misión facilitar el trabajo en obra, ya que se eliminan en el proceso de curado. Si este betún lo emulsionamos con agua, además de reducir su viscosidad, facilita su uso en condiciones de bajas temperaturas, lluvias o humedad.

#### 2.9.5 Emulsiones Bituminosas

Son mezclas de dos líquidos no miscibles, uno de los cuales se dispersa en forma de gotas muy pequeñas por el otro. Si se mezclan y agitan betún fundido y agua caliente se obtiene una emulsión, pero, en cuanto está en reposo las partículas dispersas empiezan a unirse hasta que se produce la separación del betún y el agua, lo que se denomina como emulsión rota.

A fin de conseguir emulsiones estables, se emplea un tercer producto llamado “emulsionante” cuya finalidad es rodear las partículas del betún impidiendo su unión, y por consiguiente evitando que la emulsión se rompa. Al colocar en obra la emulsión y en contacto con los áridos, se produce la rotura de la misma. Es decir, las partículas se vuelven a juntar formando una película continua que une al árido (Ver Figura 2-5).



Fuente: PETROSOIL, DUSTCONTROL.

Figura 2-5. Camión aljibe rociando el producto PETROSOIL.

Algunos autores clasifican de diferente forma los tipos de betunes siendo otra posible clasificación la siguiente: imprimadores, que se utilizan para la preparación de superficies; pegamentos bituminosos y adhesivos, que se utilizan para la unión de productos o elementos de la impermeabilización; armadura bituminosas, que se utilizan para la realización in situ de la impermeabilización; materiales para el sellado de juntas; y productos prefabricados tales como las láminas y las placas.

## 2.10. PETROSOIL

Mezcla acuosa de bitúmenes asfálticos y sustancias de alto peso molecular de origen vegetal, además de contar con modificadores de tensión superficial. Sus principales características son su alta estabilidad y su alta capacidad de dilución (Ver Figura 2-6), la gran desventaja aparente es nivel de preparación y mantención del producto.

Aspecto (color)	Marrón oscuro.
Estado físico	Líquido viscoso (antes de la dilución)
Olor	Dulce.
PH solución acuosa al 10%	Neutro
Temperatura de ebullición	100°C a 1 atm msnm.
Temperatura de fusión	No aplica.
Temperatura de auto inflamación	> 350°C (residuo seco del PETROSOIL®).
Temperatura de descomposición	> 300°C (residuo seco del PETROSOIL®).
Punto Flash	No Aplica al producto carece de solventes (acuoso).
Densidad a 25 °C 1 atm	1,1 gr. /cm <sup>3</sup> +- 0,1
Solubilidad en agua a 20°C	Soluble antes de curar

Fuente: Ficha técnica PETROSOIL, DUSTCONTROL.

Figura 2-6. Características físico químicas de PETROSOIL.

Tabla 2-5. Resumen funcional de productos para la mitigación de polvos.

<b>TIPOS DE SUPRESOR</b>	<b>EFICIENCIA EN CONTROL DE POLVO IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>TEXTO FUNCIONAL SOBRE OPERACIÓN</b>
Agua	Eficiencia entre el 40% y el 50% lixivia componente del suelo zonas áridas de alta salinidad cambian pH de napas subterráneas.	Recurso escaso. El sobre riego daña neumáticos, permite circulación inmediata, pero genera barro.
Cloruro de calcio	Cloruro de calcio tiene una eficiencia del 55%.	
Cloruro de magnesio	El cloruro de magnesio tiene una eficiencia del 87% en control de polución, sin embargo puede filtrarse el cloruro arrastrado por el agua a través del suelo, si es que no tiene un mantenimiento adecuado.	Superficies resbaladizas cuando se humedecen higroscópicos Seca gomas caucho y revestimientos en equipos No es complementario con riego regular de agua para controlar polvo.
No bituminoso (lignosulfonato)	Eficiencia del 63%. Concentraciones de 7300 mg por litro afecta peces y 2500 mg por litro puede afectar a roedores. Produce ulceración y pérdida de peso en animales pequeños Reducción de la actividad biológica en el agua debido a la contaminación por lignosulfonato.	Con baja humedad y alta temperatura es más efectivo que cloruros, pero a corto a plazo.

Fuente. Creación propia en base a planes de mitigación de polución.

Tabla 2-5. Resumen funcional de productos para la mitigación de polvos (Continuación).

<b>TIPOS DE SUPRESOR</b>	<b>EFICIENCIA EN CONTROL DE POLVO IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>TEXTO FUNCIONAL SOBRE OPERACIÓN</b>
No bituminosos aceites vegetales y melazas	Efectividad del 84% reducción de la actividad biológica producto de la decoloración del agua.	Mayoritariamente se remueven con el agua y no impermeabilizan el camino, además es de poca durabilidad en el tiempo.
Orgánicos bituminosos emulsión asfáltica	Posee una efectividad de 95% y tiene una gran capacidad de impermeabilizante.	Considerado supresor de larga duración, mancha vehículos durante su aplicación, alta resistencia al rodado y tensión de carga, reduce ciclo de riego y permite reparación de camino sobre riego.

Fuente. Creación propia en base a planes de mitigación de polución.

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE BISCHOFITA COMO SUPRESOR DE  
POLVO, EN BASE A SUS CACTERISTICAS Y CONDICIONES DE FAENA.**

### **3. CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE BISCHOFITA COMO SUPRESOR DE POLVO, EN BASE A SUS CACTERISTICAS Y CONDICIONES DE FAENA.**

#### **3.1. PRODUCTOS DESCARTADOS**

La mala elección de un producto para controlar la polución puede generar una serie de problemáticas, como gastos innecesarios y excesivos, que en la pequeña minería puede generar una desestabilizad económica importante, daños irreparables en el medio ambiente, a la salud de las personas y áreas de trabajo.

El agua como mitigador de polvo, independiente de los resultados y rendimientos que tiene su aplicación en caminos operacionales, es un recurso escaso en la comuna donde se ubica la faena y la principal consecuencia que podría generar el excesivo consumo de este recurso sería el daño a las comunidades aledañas y al ecosistema.

El método de mitigación de polvo presenta diferentes propiedades que necesitan ser estudiadas para conllevar un buen rendimiento, correspondiente a resistencia a la abrasión, flujo de trabajo, clima y estabilidad estructural bajo condiciones de humedad y adversas. Como se sabe cada producto tiene una composición química diferente al igual que el rendimiento, con estas diferencias la mayoría de los materiales no cumplen con las condiciones requeridas, ya que son creadas bajo necesidades especificadas, un ejemplo de esto seria, el cloruro de calcio que específicamente necesita un ambiente seco para funcionar eficientemente. La abrasión y el flujo vehicular sobre la carpeta de rodado genera la perdida y degradación del material de la superficie incrementando la permeabilidad y grietas, estos efectos disminuyen directamente la unión de las partículas finas dispuestas en las vías de transito con el producto aplicado. Como consecuencia de esto aumenta la formación de baches, grietas y pérdida en la estabilidad del terreno. Es por esto que el control de polvo no solo es importante para mantener el confort y la seguridad vial, sino que también es esencial para la mantención de una adecuada terminación superficial. Las condiciones climáticas afectan directamente, ya que el porcentaje de humedad al aumentar disminuye la capacidad de soporte.

### 3.1.1. Agua

Este método basado básicamente en el uso únicamente del agua como mitigador de polvo sin ningún aditamento, queda automáticamente descartado puesto que es un método de corto plazo y que a altas temperaturas es ineficiente debido al punto de evaporación del agua. Pero principalmente por que el tratarse de un recurso que se encuentra escaso en la comuna de Petorca, se hace necesario erradicar el uso innecesario, existiendo tecnologías que ayuden a cumplir la misma función.

### 3.1.2. Productos Bituminosos

Estos tipos de productos proporcionan una estabilización importante en la superficie de rodado, obteniendo una eficiente respuesta semejante al pavimento, con propiedades de visibilidad y seguridad. A pesar de los múltiples beneficios que entrega este producto, la principal razón por la cual no fue un método viable, es que su implementación se debe realizar con equipos y personal especializado, servicios que a escala de la pequeña minería representan costos muy elevados.

La durabilidad en este tipo de productos está relacionada con la capacidad de las capas bituminosa de mantener sus propiedades óptimas durante su periodo de servicio. Las capas de espesor superiores o las que están en contacto directo con los neumáticos o cualquier superficie de desgaste, tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte del flujo de los equipos, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores o cimiento del camino. Una toma errada de decisiones por desconociendo puede llevar a diseños de procesos constructivos incorrectos, lo que generaría como efecto, pérdidas en la adherencia árido ligante, envejecimiento y fallas por fatiga que acorta la vida útil, teniendo repercusiones económicas, en el medio ambiente, confort de las vías y seguridad.

Si bien las lluvias en esta zona de la quinta región son escasas, en el periodo de precipitaciones, estas son muy intensas. Según figura 1-7, tienen una duración de 4 meses, mientras que la otra parte del año, desde octubre hasta mayo escasea. Estos productos otorgan una larga durabilidad, si se aplican de la forma correcta, pero el agua genera pérdida de resistencia en la interface entre el ligante asfáltico y el agregado pétreo. Esto hace que la tasa de acumulación de la deformación permanente, se incremente debido a la pérdida de cohesión de la mezcla por humedad, por lo que el periodo de 3 años que podría durar el producto se reduce a 8 meses.

### 3.1.3. Polímeros sintéticos

Principalmente los polímeros sintéticos presentan una propiedad adhesiva alta, debido a su composición sintética promueve la adhesión de partículas finas con el suelo, normalmente los polímeros fortalecen la superficie dejando una alta tensión que gracias a los climas secos promueven su densidad compactada beneficiando altamente su estabilidad estructural, sin embargo esto se ve afectado cuando el polímero es sometido a la presencia de agua o alta cantidad de humedad debido a esto, el polímero adquiere una dureza alta debido al congelamiento y compactación por el frío y presencia de agua produciendo un desquebrajamiento. Por no tener la elasticidad y flexibilidad necesaria conlleva a una pérdida de producto y desgaste de la superficie de rodado lo que puede producir filtraciones, deslizamiento, liberación de partículas en suspensión al aire dejando el método como obsoleto.

### 3.1.4. Lignosulfonato

El lignosulfonato al ser un polímero natural proveniente del árbol es de un costo moderadamente bajo, sin decir que sus complementos elevan su precio. Al ser aplicado sobre el camino presenta una acción ligante que resulta tanto física como química, la problemática de este producto a utilizar es el corto plazo que genera el método, ya que posee una duración aproximadamente 6 meses, pero bajo condiciones de lluvia es necesaria aplicación de otra capa para promover la estabilidad y compactación de terreno y un posible arrastre con la lluvia.

Este método es beneficiado en zonas donde haya bajo flujo vehicular y ambiente seco, dejando así las zonas de alto tráfico en constante contacto con el terreno, desgastando considerablemente tanto el producto como la carpeta de rodado, desestabilizando el terreno, la adhesión de partículas en suspensión baja drásticamente obligando un total de 5 aplicaciones en un periodo de dos semanas para la creación de una película protectora estable para mantener la superficie libre de polvos, al tener alto flujo vehicular varios factores tales como el viento, la lluvia, temperatura, humedad, etc. deben ser nuevamente analizadas por el desgaste de agua que genera el crear otra carpeta de rodado.

### 3.1.5. Aceites vegetales y melaza

Si bien los aceites vegetales son un complemento adecuado para el cuidado del medio ambiente ya que son derivados de mezcla de glicéridos, frutos o algunos aceites vegetales estos dejan el terreno inestable cuando secan dejando una película en forma de costra. Este método crea una aglomeración únicamente de las partículas del suelo ignorando las partículas en suspensión que son creadas posteriormente, además de no poseer características higroscópicas no capta la humedad para la mitigación de polvos, deja un alto consumo en cuanto producto utilizar ya que su eficiencia es de corto plazo no durable más de unas semanas.

Otro producto natural derivado de la caña de azúcar es la melaza, el cual al ser aplicado , crea una capa superficial ligante temporal debido a su composición física, la gran problemática que afecta este producto es la reutilización y constante aplicación del producto, ya que al ser hidrosolubles en presencia de altas humedades y agua este se diluye o disuelve afectando directamente la capa superficial, éstas pueden llegar al punto de ser mezcladas y desaparecer y que al no ser tratadas simplemente se secan dejando costras y desestabilización en el terreno. Con la escasas hídrica presente y los climas áridos, los productos de corta duración y desestabilización de terreno no aplican para la Minera Dulcinea.

## 3.2. PRODUCTOS PRE-SELECCIÓN

### 3.2.1. Cloruro de Magnesio

En el caso de la faena minera Dulcinea a del 1-4, presenta dos variedades de caminos, en base a su flujo de tránsito y desgaste superficial, según el factor área de aplicación, identifica 500 m del acceso principal como una superficie estable y compacta, debido al poco tránsito de vehículo pesado, mientras que los 750 metros de camino operacional y los 75 m del acceso al botadero, presentan material fino y altamente volátil, esto generado por el tránsito a bajas velocidades de los camiones bidireccionales y maniobras de conducción, que aumentan la fricción con pista de rodado, generando partículas de material fino que se alojan y posteriormente son arrastradas por efecto del viento o por el flujo vehicular (Ver figura 3-1).



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 3-1. Intersección acceso botadero con camino operacional.

De acuerdo a lo anterior, para la aplicación de Bischofita no se contempla un trabajo previo para la estabilización del camino, pero si un regadío superficial. Debido a que se encuentra bajo los estándares requeridos. Este tipo de producto tiene la propiedad de ser altamente soluble en agua, según la empresa SALMAG indica que 750 kg de este producto se disuelven en 500 l de agua. Mientras que para utilizarlo como control de polvo se emplea una dosis de 2-3kg/m<sup>2</sup> de acuerdo a tabla 2-1. Por lo que al comprender un área de aplicación total de 5962,5 m<sup>2</sup> se utilizaría en la primera etapa de aplicación un total de 17.887,5 Kg, utilizando 11,92 m<sup>3</sup> de agua para su disolución y aplicación.

La comuna de Petorca como ya está explicado es un lugar con presencias de lluvia solo durante 4 meses (Figura 1-7) y el resto sin precipitación alguna, además se describe como un lugar seco y que por su localización geográfica se ve afectada por altas temperaturas (Figura 1-8), es por eso que el clima es una variante importante, ya que así se pueden determinar las estaciones con lluvias las cuales alteran el producto, su composición, estabilidad del suelo donde se aplicó el producto. En cuanto a la humedad ambiental que varía en las diferentes estaciones del año, ambos productos necesitan captar esta humedad para así ser más eficaz en la mitigación de polvos en suspensión.

La Bischofita es un supresor de polvos que necesita un clima seco, ya que al estar en presencia de agua se crea una carpeta de rodado inestable y resbaladiza, este producto está considerado para dos meses sin precipitaciones fuertes, para así evitar una inestabilidad en el área de trabajo. Su característica higroscópica necesita un mínimo del 32% de humedad (SALMAG) para absorber agua ambiental, creando una carpeta de rodado dura. Normalmente en la zona de Petorca presenta una humedad promedio del 70% disminuyendo a 55 % en época de pocas precipitaciones.

Otra característica es su alta resistencia de evaporación, además de sus múltiples propiedades, crea un ahorro de costos como en la cantidad agua utilizada, reduce los tiempos de mantención de caminos, ya que no se requiere si es bien aplicado, además de los costos de mantención de maquinaria resultante de la erosión y desgaste por la inestabilidad del terreno y su diferencia de tamaños en la superficie. Controlando los polvos en suspensión con una eficiencia de alrededor del 100% creando un ambiente de trabajo más estable y menos contaminante.

### 3.2.2. Cloruro de Calcio

El segundo producto pre-seleccionado para proponer en la faena corresponde al cloruro de calcio líquido al 35% turbio anti polvo, disponible en la empresa Oxychile que al igual que la Bischofita es muy soluble. Para el acceso principal que contempla un área de 2250 m<sup>2</sup> con una superficie estable (ver figura 3-2), se propone una dosis de 2 kg/m<sup>2</sup>, utilizando 4500 Kg de producto, de acuerdo a la relación anteriormente señalada.



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 3-2. Acceso principal faena Dulcinea.

En cuanto al camino operacional, donde existe alto tráfico de camiones y material fino en la superficie, se sugiere según la tabla 2-2, una dosis de 3 kg/m<sup>2</sup>. Se considera camino operacional a los 750 m desde el rajo a la cancha de acopio y los 75 m de acceso al botadero, el área total de aplicación sería de 3712,5 m<sup>2</sup>, para lo cual se necesitarían 11.137,5 kg de cloruro de calcio líquido al 35% turbio.

Dado a que el producto disponible en el mercado chileno se especifica como un líquido, las cantidades de agua a utilizar va sujeto directamente con la cantidad de producto a emplear. Considerando la concentración de 35 % de cloruro de calcio y la cantidad total a utilizar que son 15637,5 Kg, se desprende que el agua utilizada es de 11.583 lt.

El cloruro de calcio al ser una sal promueve las mismas características climáticas que la Bischofita, la diferencia del producto en condiciones climáticas es que requiere un porcentaje de humedad más alto (45%), ya que al ser un cloruro su composición química la hace asociarse hasta con seis moles de agua, formando hidratos creando un carpeta de rodado más dura, la cual tiene una durabilidad de 6 meses con una efectividad del 100% en la mitigación de polvos en suspensión, pero que a partir del siguiente mes (mes 7) baja al 89% y así hasta producir un desgaste total. El ambiente seco para este producto es ideal, por ser una sal es fácilmente soluble.

Siendo uno de los agentes más efectivos en la supresión de polvos, necesidad más que importante en minería en mantención de caminos no pavimentados. Estudios demuestran que la humedad, agregación de las partículas y erosión son los responsables de que los caminos no pavimentados se encuentren compactados y tengan una densidad adecuada que permite el tránsito normal de vehículos. La aplicación del cloruro de calcio sobre este tipo de superficies permite reducir costos de mantención gracias a que otorga estabilidad del material y disminuye la migración de partículas debido a su capacidad de absorber agua de la humedad, el cloruro de calcio aplicado sobre caminos no pavimentados permiten que se mantenga húmedos, condición que induce a las partículas finas a formar agregados y dificultar su movilidad (ver figura 3-3). La utilización de agua entrega un efecto similar al del cloruro de calcio, pero debido a su alta evaporación lo hace poco práctico en cambio el punto de ebullición de las soluciones de cloruro de magnesio es mayor que la del agua.



Fuente: Sitio Web: Oxy chile / [www.oxychile.cl](http://www.oxychile.cl).

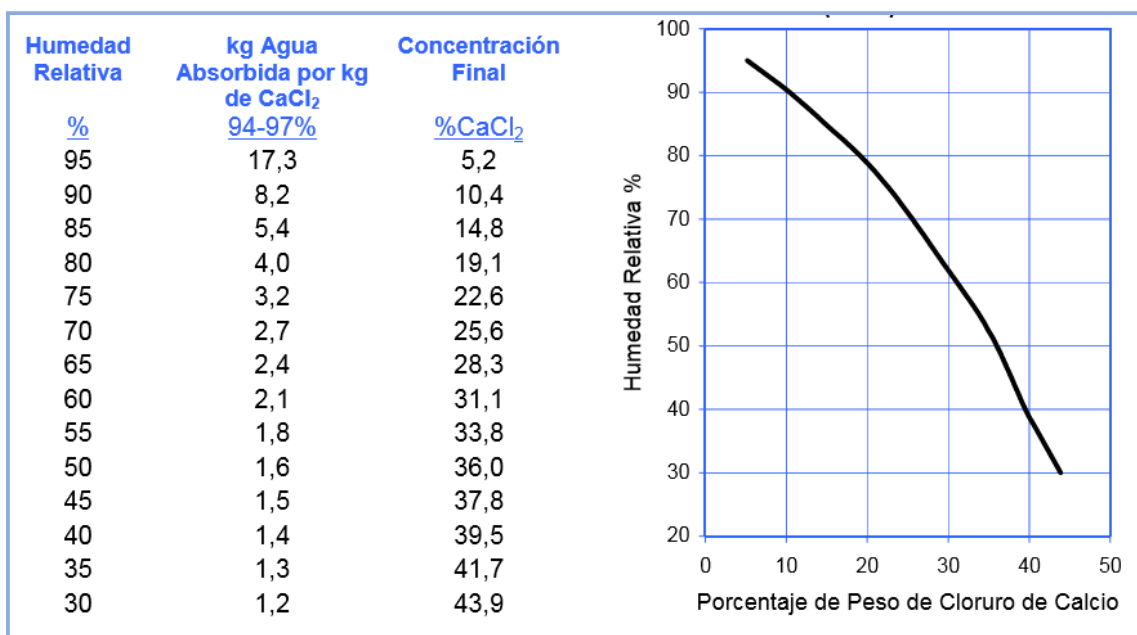
Figura 3-3. Resultado de un tratamiento con cloruro de calcio.

❖ CARACTERÍSTICAS DEL CLORURO DE CALCIO:

Este producto posee características únicas como mitigadoras de polvos en suspensión y estabilizadoras de suelos sin pavimentar y superficies similares:

- Disminuye la erosión manteniendo las partículas finas unidas a partículas gruesas.
- Es ambientalmente seguro debido a su baja toxicidad, y su resistencia a la migración desde el suelo y pequeñas cantidades requeridas.
- Las soluciones de cloruro de sodio poseen un punto de congelamiento muy inferior al agua y como consecuencia puede actuar como anticongelante. Lo que favorece a caminos ubicados en zonas con bajas temperaturas, reduciendo daños por congelamiento evitando la unión de hielo sobre el camino y acelera la descongelación permitiendo una formación de salmuera más rápida.

Favorece el proceso de compactación de partículas en superficie al mantener niveles adecuados de humedad requeridos de un mínimo del 32 % para su buen funcionamiento.



Fuente: Manual del cloruro de calcio Oxy Chile.

Figura 3-4. Comportamiento del cloruro de calcio bajo la humedad relativa del aire.

❖ **COMPARACIÓN A OTROS PRODUCTOS:**

Cloruro de magnesio, tiene una menor eficiencia que el cloruro de calcio, ya que requiere mayores cantidades de producto para logra la misma efectividad en el control de polvo.

Aceites y emulsiones, si bien logran mantener las partículas en el camino, bajo condiciones de sequedad como en este caso en particular pierden resistencia y crean una superficie que puede fragmentarse no aumentando la estabilidad de la carpeta de rodado y que en general son productos costosos.

❖ **APLICACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO:**

La aplicación del producto no solo consta del método o cantidad a utilizar, sino que también del terreno en el cual se aplicará el supresor de polvo, ya que existen diferentes, en su superficie y composición, a continuación, se identifican algunos de ellos:

#### ❖ SUPERFICIES CON TIERRA APISONADA, RIPIO:

Se define una dosis estándar para la aplicación de caminos que consiste en 1,75Lt/m<sup>2</sup>. Esta dosis funciona de manera óptima en estas superficies y la duración del tratamiento en estos casos es mayor a cualquier otro (6 a 8 meses). Una vez terminada la aplicación se recomienda un tiempo de reposos de esta superficie de una hora, para que se produzca una absorción adecuada y buena estabilización y mitigación de polvos en suspensión.

#### ❖ TERRENOS ARENOSOS:

La aplicación de dosis en estos terrenos es de 1,75 Lt/m<sup>2</sup> en términos generales funciona, aunque no con la misma eficiencia que se logra con superficies más compactas. La durabilidad del tratamiento en estos terrenos es menor haciendo necesario nuevas aplicaciones del producto, se recomienda una espera de cuatro horas posterior a la aplicación del producto.

#### ❖ SUPERFICIES PREVIAMENTE TRATADAS:

Es común en minería que las superficies sean tratadas con compuestos derivados del aceite para la supresión de polvos. En estos casos el cloruro de calcio no es absorbido apropiadamente al momento de aplicación y se pierde, este caso particular requiere un pre tratamiento del suelo para reducir el contenido de aceites en el suelo.

#### ❖ MÉTODO DE APLICACIÓN:

El cloruro de calcio se esparce líquido en forma de lluvia, utilizando camiones aljibes que la empresa dispone, los que son de 22m<sup>3</sup> lo suficiente para cubrir un área de 12,5 km<sup>2</sup>, implementado con aspersores o rociadores adecuados para el producto, siendo suficiente una aplicación al año, o dos más solamente en las estaciones extremas más secas (si es necesario), aconsejando que la primera sea efectuada a principios de la estación de verano y la otra a mediados, promoviendo la estabilidad y durabilidad dentro del año. Considerando que el área de trabajo es la mitad de lo que abastece el camión aljibe de la empresa, se recomienda aplicar dos veces el producto, mejorando la distribución y estabilidad del camino, para soportar el periodo requerido.

La dosis de cloruro de calcio que se debe aplicar depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie objeto del tratamiento. Sin embargo, debido a las diferencias entre cada camino se propone una dosificación estándar considerando la durabilidad del tratamiento. Como ya se ha mencionado al tener mayor estabilidad se determina que debe tener una cantidad  $2 \text{ kg/m}^2$  cloruro de calcio, la dosificación estándar y velocidad de propagación del camión implementada en estos casos es de  $1,75 \text{ Lt/m}^2$  y  $15 \text{ Km/h}$  respectivamente (Oxy Chile). Continuando con la otra área de trabajo: camino operacional y el acceso al botadero, se aplica el producto con las mismas especificaciones de dosificación y velocidad del camión, pero con  $3 \text{ kg/m}^2$  de producto por la composición del suelo.

Una vez aplicado el producto en la superficie se debe dejar sin tránsito vehicular durante 4 horas para que tenga una buena fijación, según lo informado en el proyecto de explotación la jornada de trabajo es de lunes a viernes, considerando esto para aplicar el producto un día sábado o domingo y así no tener incidencias en el funcionamiento normal de la operación.

Se plantea realizar la aplicación una vez terminada las estaciones con lluvias (Figura.1-7) para el aprovechamiento de las condiciones climáticas secas que favorecen la estabilidad y duración del producto, ya que en temporadas lluviosas es fácilmente diluible por el agua, desfavoreciendo sus propiedades.

### 3.3. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA LA APLICACIÓN

- EN GENERAL CUALQUIER TERRENO ES BENEFICIOSO TENER LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

En cuanto a seguridad, este tipo de producto tiene la siguiente clasificación de riesgo de producto químico: salud 1, Inflamabilidad 0 y reactividad 0. Lo que significa que no es peligroso para la salud de las personas. Para informar de estos valores en el camión utilizado para la aplicación y la zona de almacenamiento, se utiliza el rombo que se observa en la Figura 3-5, complementada con los datos señalados.



Fuente: Ficha de seguridad, empresa SALMAG.

Figura 3-5. Rombo de riesgos químicos.

A continuación se detallarán los efectos y las medidas de seguridad que se deben tomar en caso de contacto accidental del producto con distintas partes del ser humano, lo que debe ser informado a través de charlas al personal involucrado.

Tabla 3-1. Medidas y efectos por contacto accidental con cloruro de calcio.

<b>ACCIÓN</b>	<b>EFECTOS</b>	<b>MEDIDAS A CONSIDERAR</b>
Inhalación	No se conocen efectos dañinos.	Llevar a la persona al aire libre respirando calmadamente.
Contacto con la piel	Irritación leve.	Lavar con agua y jabón.
Contacto con los ojos	Molestia por granulometría.	Lavar con agua por lo menos 15 minutos.
Ingestión	Dañino como todo producto que se ingiere sin ser comestible.	Tratar de acuerdo a los síntomas.

Fuente: Hoja de seguridad, Oxiquim S.A.

- En caso de derrame del producto a granel, se recomienda recogerlo para utilizarlo de igual forma, ya que no pierde sus propiedades, a menos que sea en un ambiente húmedo. Para lavar los restos que queden en la superficie de derrame, se utiliza una neblina de agua en caso de ser necesario. No se necesita ninguna protección especial para realizar esta operación.
- En caso de derrame del producto como solución se debe evitar el ingreso a corrientes de agua, ya sean ríos o vías por donde se evacuan las aguas lluvias en la faena.
- Para eliminar cualquier desecho a granel se recomienda la incineración en una instalación especialmente diseñada para tal acción.
- Para la aplicación y manipulación del cloruro de calcio, se debe utilizar una máscara para emanaciones químicas, anteojos de seguridad, guantes impermeables de goma, además se debe contar con duchas de emergencia y estaciones de lavado de ojos.

### 3.4. EQUIPOS A EMPLEAR

#### 3.4.1. Transporte

La forma más viable y utilizada para transportar el producto es a través de camiones aljibes. Según lo señalado, se requiere uno con capacidad de 22 m<sup>3</sup> (Ver Figura 3-6.) lo suficiente para abastecer el área tratada. Se recomienda la utilización de estanque de acero inoxidable y un lavado después de su uso. En cuanto a la estructura para dispersar el agua se sugiere el uso de cañerías de acero o plástico, para un rango de condiciones de operaciones amplio, solo si la temperatura de la solución no supera los 70°C se puede utilizar PVC como cañería de transporte. El diámetro queda determinado por el flujo del producto en cada caso.



Fuente: Camión disponible en el mercado.

Figura 3-6. Camión aljibe.

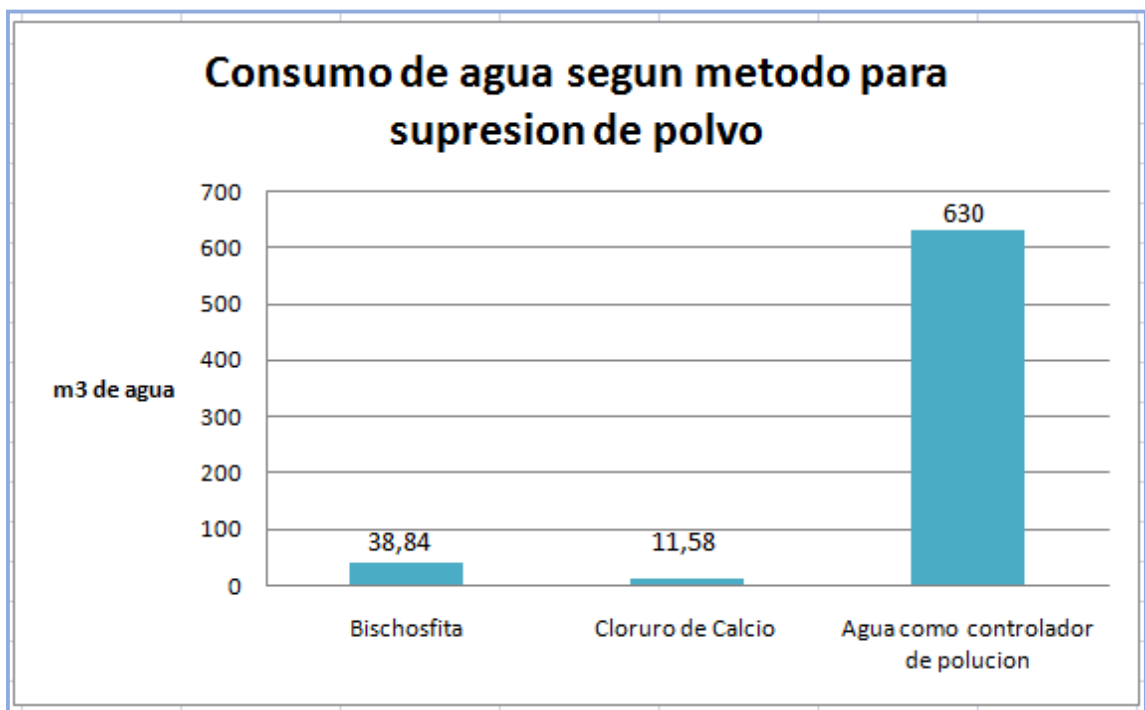
#### 3.4.2. Bombas

Para la elección de la bomba los principales factores a considerar es la densidad y composición al igual que la cantidad del producto. Para el transporte de cloruro de calcio se recomienda el uso de bombas centrífugas de una capacidad mínima de 250 gpm para un servicio óptimo.

Para una mayor duración se recomienda que la bomba sea de acero y tenga una velocidad de motor de 1750 rpm o menos, en caso de ser un cloruro de calcio turbio se recomienda el uso de bombas de diafragma.

El uso de la Bischofita como mitigador de acuerdo a los datos indicados, reduce el consumo de agua para la mantención de los caminos en un 93,83%, esto considerando la aplicación de dos veces la misma dosificación en el mejor de los casos, para lograr mantener las pistas optimas por los 8 meses que se requiere. Mientras que el Cloruro de Calcio optimiza el recurso hídrico en un 98,16%, pero según indica la duración del producto en condiciones óptimas, se requerirá la aplicación nuevamente, pero en menor dosificación, aumentando el uso del agua. Esto considerando el tráfico de camiones, vehículos livianos y aclimatación del producto.

A continuación, se graficará el consumo de agua que requieren los dos productos preseleccionados para controlar la polución por un periodo de 8 meses, además de la cantidad de agua utilizada como método de control de polución (Ver Gráfico 3-1).



Fuente: Elaboración propia, información analizada.

Gráfico 3-1. Consumo de agua según método para supresión de polvo

### 3.5. PROPUESTA

#### 3.5.1. Bischofita

La Bischofita ha sido evaluada en diversos países como supresor temporal de polvo, técnica que consiste en aplicar un riego de salmuera (Bischofita más agua) sobre la superficie del camino, obteniéndose muy buenos resultados.

La adición de Bischofita al suelo permite la aglomeración de las partículas finas, mecanismo que difiere si se trata de suelos no plásticos o de alta plasticidad. En suelos no plásticos y de baja plasticidad, tales como limos y arenas finas, el mecanismo de aglomeración es consecuencia de la mayor tensión superficial de la solución salina que rodea las partículas. La película de agua que rodea las partículas finas de suelo es como un "puente elástico" que une partículas adyacentes, al agregar Bischofita al suelo mejora la resistencia de este puente elástico, ayudando a mantener unidas las partículas e incrementando la resistencia al corte. La Bischofita presenta varias características:

#### 3.5.2. Deliquesencia

Es la capacidad de absorber la humedad del aire y disolverse en esta humedad para formar una solución líquida. El cloruro de magnesio absorbe agua cuando la humedad relativa es superior al 32%, proceso que cesa cuando la presión de vapor de la solución salina originada, es igual a la presión de vapor de la atmósfera. Además, el cloruro de magnesio tiene la capacidad de retener la humedad absorbida por un tiempo prolongado, el cual depende de las condiciones climáticas prevalecientes. La cantidad de agua absorbida es proporcional a la superficie expuesta de la sal, a la humedad relativa del aire y a la concentración de  $MgCl_2$  en solución.

#### 3.5.3. La cristalización en la superficie de rodado

Bajo condiciones de baja humedad relativa, generalmente en la tarde en climas áridos, se produce la cristalización del cloruro de magnesio en la parte superior de la superficie de rodado, cementando las partículas finas. Esto forma una costra dura que resiste la acción abrasiva del tránsito, y, como consecuencia, se reduce la tasa de deterioro y mejora la calidad de rodadura.

#### 3.5.4. Estabilidad frente ciclos de hielo/deshielo

Debido a que el cloruro de magnesio reduce el punto de congelamiento del agua del suelo, permite minimizar el daño de la capa de rodadura granular causado por los ciclos de hielo / deshielo.

El método de venta comercial propone dos tipos de productos la Bischofita en solución líquida preparada en faena o a granel de las cuales debe ser preparado mediante una dilución formando una salmuera para que haya una correcta aplicación sobre la superficie.

#### 3.5.5. Preparación de la salmuera

La salmuera consiste en una mezcla homogénea de Bischofita y agua en proporción en peso de 1,5 Kg: 1Lt (Bischofita: Agua).

#### 3.5.6. Limitaciones Climáticas

La salmuera de Bischofita no debe ser aplicado cuando esté lloviendo o exista posibilidad de lluvia, o cuando la temperatura atmosférica sea menor que 7 °C.

La preparación de la salmuera debe ser realizada por uno de los siguientes métodos:

1. En un estanque abierto de capacidad superior a la de los camiones aljibes (está contemplado el camión de 15 m<sup>2</sup> para este producto) introducir toda el agua a utilizar, luego introducir Bischofita. A medida que se realiza esto agitar la mezcla mediante la inyección de aire comprimido hasta lograr la disolución de Bischofita y una mezcla homogénea. La duración de la operación se reduce mediante la recirculación de la salmuera con bombas.
2. En estanques cerrados con sistema de agitación interno, introducir el agua y la Bischofita hasta que se logre la disolución y una mezcla homogénea. Cualquier otro procedimiento y equipamiento que permita la disolución y produzca una mezcla homogénea puede ser utilizado.

### 3.5.7. Preparación del camino y riego superficial

La preparación de la superficie existente y la aplicación de la salmuera de Bischofita deberán ser realizadas por uno de los métodos que se describen más abajo. Cualquiera sea el método de aplicación, si la superficie está muy seca o con demasiados finos sueltos se recomienda regarla con agua. Esto con la finalidad de asegurar la adecuada penetración y mezclado de la salmuera con el material de la superficie. Independiente de riegos que tengan como fin compactar el camino es imprescindible regar el camino completamente (pero sin saturarlo) justo antes de aplicar la solución.

1. Riego completo de agua (riego completo pero leve, sin saturar la superficie; si se produce exceso de riego de agua, se debe esperar a que se sequen las pozas de la superficie) para luego aplicar la salmuera de Bischofita directamente sobre la superficie compactada y libre de baches, calaminas y material suelto.
2. En caso que exista un grado de deterioro (profundidad menor a 10 mm), la superficie del camino deberá ser nivelada para eliminar los deterioros presentes. También es necesario realizar un nivelado superficial cuando no exista una adecuada penetración de la salmuera, esto con la finalidad de hacer el material más permeable. Si la superficie nivelada queda en un estado muy suelto, se recomienda regar el suelo días antes del tratamiento.

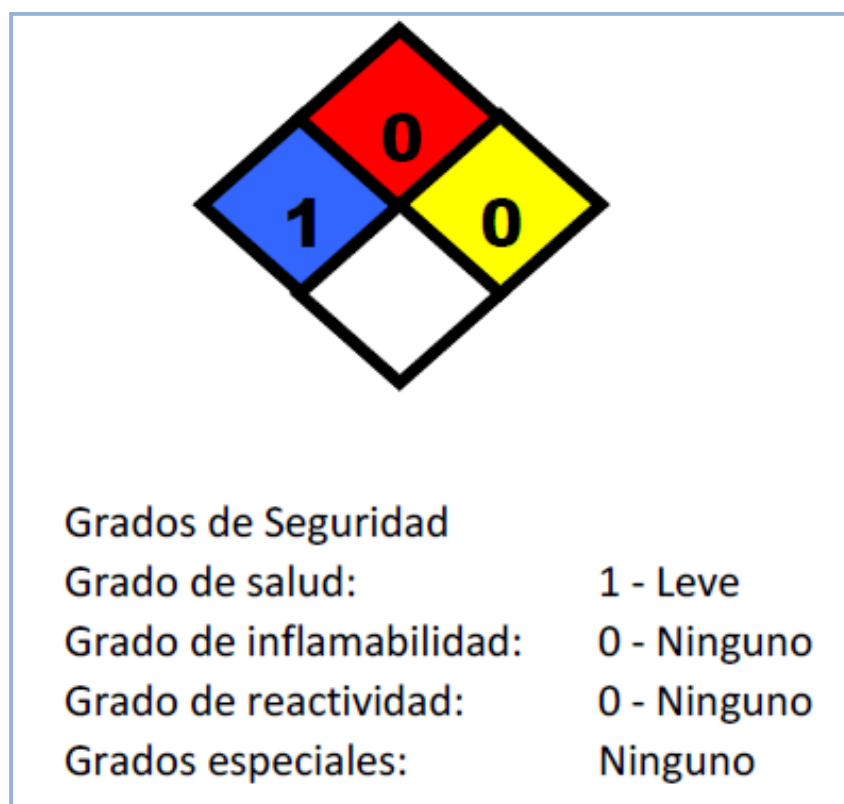
### 3.5.8. Aplicación de la salmuera de Bischofita.

La salmuera deberá ser aplicada uniformemente sobre todo el ancho de la superficie, utilizando un camión aljibe equipado preferiblemente con un dispositivo de esparcido a presión calibrado apropiadamente, se dispone de la mezcla en el camión para su posterior riego.

Para todos los métodos se recomienda una dosis de aplicación total de salmuera de 4 lt/m<sup>2</sup> (para el caso de una salmuera con proporciones de Bischofita: Agua igual a 1,5: 1). Esta dosis es apropiada para la mayoría de tipos de suelos, en suelos plásticos o con pocos finos es necesario incrementar un poco la dosis de aplicación. Normalmente para el control de contaminación se utiliza 3lt/m<sup>2</sup>.

### 3.6. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

En cuanto a seguridad, este tipo de producto es considerado no peligroso de acuerdo la Nch 382 of 2017, ya que según la clasificación de riesgo de productos químicos presenta: salud 1, Inflamabilidad 0 y reactividad 0, Lo que significa que no es peligroso para la salud de las personas. Esta información debe ser informada y difundida a los trabajadores a través de la Figura 3-7, la que debe estar presente donde se almacena el producto, ya sea camión aljibe o estanque.



Fuente: Ficha de seguridad Bischofita, empresa SALMAG.

Figura 3-7. Rombo de riesgos químicos, empresa SALMAG

En la siguiente tabla se detallarán los efectos que tendría el contacto del producto con diferentes partes del cuerpo humano y las medidas que se deben tomar para actuar de forma correcta, esta información también debe ser compartida con el personal para que sepan actuar ante un eventual evento.

Tabla 3-2. Efectos y medidas a considerar por contacto accidental con Bischofita.

ACCIÓN	EFECTOS	MEDIDAS A CONSIDERAR
Inhalación	Puede irritar el tracto respiratorio. La inhalación de productos de descomposición térmica puede generar daños al sistema respiratorio.	Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición cómoda para respirar. Si presenta dificultad respiratoria llamara un centro de información toxicológica o a un médico.
Contacto con la piel	puede generar enrojecimiento o irritación.	Lavar con agua y jabón abundantes. En caso de irritación cutánea, consultar un médico.
Contacto ocular	Puede causar irritación ocular.	Enjuagar cuidadosamente con agua durante varios minutos.
Ingestión	Ingestión de grandes cantidades provoca malestar estomacal, niveles elevados de magnesio en sangre pueden provocar debilidad muscular, confusión y una disminución en los reflejos.	No inducir el vómito, a menos que sea indicado por personal médico, enjuagar la boca y beber abundante agua.

Fuente: Ficha de seguridad Bischofita, empresa SALMAG.

En caso de ser parte de un incendio este tipo de producto no se considera inflamable, los medios de extinción apropiados son: polvo seco químico, CO<sub>2</sub>, espuma o cualquier agente clase “ABC”, según indica la hoja de seguridad de la empresa SALMAG, no existe ningún método de extinción no apropiado, pero se debe tener atención a la compatibilidad con productos adyacentes.

En caso de derrame cuando la dosis ya se encuentra diluida, se debe evitar que alcance aguas superficiales o desagües y tomar todas las precauciones necesarias para que los residuos sean recolectados y contenidos.

En caso de derrames cuando el producto se encuentre a granel, se sugiere recoger mecánicamente y colocar en un envase adecuado para su recuperación o eliminación. En caso de que los residuos se encuentren en el camino o en una superficie parecida, se debe lavar con agua en forma de lluvia.

En cuanto a los E.P.P requeridos para la manipulación, estos deben cubrir las partes expuestas mencionadas anteriormente, los que deben ser protección respiratoria apropiada, guantes de látex o neopreno para manipulación rutinaria, gafas protectoras y vestimenta larga que evite el contacto con la piel.

## CONCLUSIONES

Fue necesario indagar sobre la minera Dulcinea del 1-4 para identificar las condiciones donde se va aplicar el cloruro de magnesio, como el área total 5962,5 m<sup>2</sup>, conformada por 500 m de pista compacta en el acceso principal y 825 m de caminos operacionales, contemplando el acceso al botadero y la distancia a la cancha de acopio, donde el mineral es seleccionado manualmente para su posterior comercialización, esta determinante indicará la cantidad de producto a utilizar y recurso hídrico necesario para su aplicación. Otra de las condiciones de crucial importancia identificadas en la primera parte del presente trabajo de título, es el clima del sector, que a pesar de ser de estepa con gran sequedad atmosférica, presenta una temporada con precipitaciones muy intensas las que podrían dañar, tanto la superficies como la Bischofita. En base a los equipos disponible en faena y a los tiempos de ciclo que efectúan los camiones al momento de transportar mineral o estéril, relacionados con la razón E/M se identifica un tráfico moderado de vehículos pesados y livianos, determinantes que implican el desgaste y carga sometida que estará expuesta la pista de rodado.

Las variantes climáticas y funcionalidad del producto son determinantes a la hora de reducir los posibles seleccionados para ser aplicados. Fueron analizados diferentes clases de productos presentes en el mercado nacional, describiendo su composición, naturaleza, viabilidad y durabilidad en el tiempo, tales como las sales y cloruros que poseen características higroscópicas y presentan un trabajo eficiente bajo las condiciones climáticas presentadas en la faena minera, productos bituminosos naturales asfálticos que presentan una estabilidad y compactación del terreno superior a otros productos presentados, pero finalmente con una preparación técnica exhaustiva en su aplicación y preparación en la carpeta de rodado, sin mencionar que requiere equipo especializado y estabilizadores para su correcta adhesión y estabilidad, por otra parte los productos orgánicos no bituminosos naturales como los lignosulfonatos o melazas presentan una mitigación de polvos efectiva pero de cortos plazos no superiores a 1 semana lo que conlleva a un riego regular aumentando el uso del producto hídrico ,si bien poseen agentes biodegradables y amigables con el medio ambiente, presentan un resultado en cuanto a estabilidad muy inferior a los cloruros o productos bituminosos asfálticos.

Finalmente, los productos sintéticos que en si se presentan como un supresor de alta eficacia no era posible la adaptación de este por las condiciones climáticas de temperatura y humedad que afecta la durabilidad y consistencia, creando una superficie inestable y resbaladiza para la faena, basado en especificaciones del producto (SASBIND). Estas características y comportamiento dieron la información para un análisis enfocado en la selección de un producto, que no solo funcionará como un supresor eficiente, sino que también buscará una gran disminución en el uso del agua, la cual escasea en la zona dando una propuesta crítica y adaptable a las variantes climáticas, disponibilidad y eficiencia.

Para la elección del método más viable, fue necesario analizar varias aristas, además de las mencionadas anteriormente. Si bien el Cloruro de calcio reduce el consumo de agua en un 98,16%, este valor se vería afectado cuando el producto comience perder su eficiencia por las condiciones de extremo calor que se presentan y se necesite nuevamente la utilización de agua para el control del polvo. Según Oxiquim al séptimo mes de su aplicación el rendimiento baja a un 89%. Es por esto que el método más rentable y práctico a aplicar en la faena Dulcinea del 1-4 corresponde a la Bischofita, la que reduce el consumo del agua en un 93,83%, cumpliendo con el objetivo de reducir el consumo hídrico en la minería. Considerando los valores del mercado actual (SALMAG) el valor a granel por tonelada es de \$39.500 + IVA, es aceptable para la pequeña minería invertir \$1.981.602, ya que contempla aplicación, producto y mantención, valores inferiores a lo invertido en el método de mitigación actual, el que considera la utilización de 630m<sup>3</sup> de agua con un valor de \$2.400.000. La aplicación del cloruro de magnesio (Bischofita) no solo presenta un beneficio en la reducción de consumo de agua y supresión de polvo, sino que además otorga un área de trabajo limpio y seguro.

## **RECOMENDACIONES**

Antes de la aplicación del producto, se aconseja un regadío previo para compactar el material fino sobre la superficie, esta operación se sugiere efectuar 24 horas antes de la implementación de la Bischofita para una mejor distribución.

Se recomienda la aplicación de la Bischofita a fines de mes de Octubre, para sí evitar el impacto sobre la superficie generado por las fuertes lluvias que afectaron los meses anteriores y así completar el periodo requerido de 8 meses con un óptimo rendimiento.

Otra de las consideraciones al utilizar la Bischofita como mitigador de polvo, es que requiere de una mantención regulada, donde la cantidad de producto será en menor cantidad que la que se aplicó originalmente, pero que de igual forma incrementa el consumo de agua utilizado en la primera etapa. Debido a que el periodo donde se propone la aplicación del producto es de 8 meses, se sugiere a los 4, repetir la dosificación de producto, para tener una superficie confiable y que logre soportar todo el periodo requerido, contemplando que el producto no se acomode a las condiciones del terreno.

## **BIBLIOGRAFÍA**

SALMAG, EASYMAG: Soluciones líquidas de Bischofita [en línea]

< <http://www.salmag.com/wp/wp-content/uploads/2015/12/ficha-easymag.pdf>> [05 Mayo 2019]

ECOPOLLUX, Ficha técnica base orgánica DS-100 [en línea]

< <https://ecopollux.cl/supresor-de-polvo/>> [19 Mayo 2019]

RMSCHILE, Ficha técnica SASBIND reductor de polvo [en línea]

< <http://www.incotrade.cl/sitio/wp-content/uploads/DATA-SHEET-SASBIND-ES.pdf>> [27 Mayo 2019]

OCCIDENTAL CHEMICAL-CHILE, Hoja técnica Cloruro de Calcio [en línea]

< [https://www.oxychile.cl/opensite\\_20075.aspx](https://www.oxychile.cl/opensite_20075.aspx)> [01 Junio 2019]

AGROCLIMA, Informe precipitación Petorca [en línea]

<<http://www.agroclima.cl/InformesAgroclima/Precipitacion.aspx?IdEst=104&Infor=22&Tipo=2>> [07 Junio 2019]

## ANEXOS

### GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE ROADMAG COMO SUPRESOR DE POLVO EN CAMINOS NO PAVIMENTADO, Dirección de Investigación Científica y Tecnológica Universidad Católica.

menos concentración de RoadMag. En este caso, la dosis de aplicación de salmuera ( $l/m^2$ ) deberá ser duplicada. Para mayor información se recomienda consultar al productor.

(b) Limitaciones Climáticas

RoadMag no debe ser aplicado cuando esté lloviendo o exista posibilidad de lluvia, o cuando la temperatura atmosférica sea menor que  $7\text{ }^\circ\text{C}$ .

(c) Preparación

La preparación de la salmuera debe ser realizada por uno de los siguientes métodos:

**Método A:** En un estanque abierto de capacidad superior a la de los camiones aljibes (idealmente superior a  $10\text{ m}^3$ ) introducir la totalidad del agua, luego con un cargador frontal introducir RoadMag. A medida que se realiza esto agitar la mezcla mediante la inyección de aire comprimido hasta lograr la disolución de RoadMag y una mezcla homogénea. La duración de la operación se reduce mediante la recirculación de la salmuera con bombas.

**Método B:** En estanques cerrados con sistema de agitación interno, introducir el agua y RoadMag hasta que se logre la disolución de RoadMag y una mezcla homogénea.

Cualquier otro procedimiento y equipamiento que permita la disolución de RoadMag y una mezcla homogénea puede ser utilizado.

Ejemplo:

*Determinación de las cantidades de RoadMag y agua que deben ser introducidos a un estanque de capacidad conocida para obtener la razón en peso de 1,5 :1 (proporción de RoadMag a agua).*

Capacidad Estanque	:	$10\text{ m}^3$	
Densidad Salmuera	:	$1.25\text{ ton/m}^3$	
Sea B	:	Cantidad de RoadMag (ton)	
Sea A	:	Cantidad de Agua (ton)	
$10\text{ m}^3 \cdot 1.25\text{ ton/m}^3$	=	$12.5\text{ ton}$	
$12.5\text{ ton}$	=	$B + A$	
B	=	$1.5 \cdot A$	
	$\Rightarrow$	<b>B</b>	= <b><math>7.5\text{ ton}</math></b>
	$\Rightarrow$	<b>A</b>	= <b><math>5.0\text{ ton}</math></b>

## Ficha tecnica EASYMAG, SALMAG.



**EASYMAG**

**SOLUCIONES LIQUIDAS DE BISCHOFITA**

DOSIS DE BISCHOFITA

DEFINICIONES	ESTABILIZACIÓN	SUPRESION DE POLVO
<b>OBJETIVO</b>	Carpetas de rodado duradera y de alto nivel de servicio	Control de Polvo durante las estaciones secas del año
<b>DOSIFICACIÓN</b>	60 - 90 kg/m <sup>2</sup>	2 a 3 kg/m <sup>2</sup>
<b>TIPO DE APLICACIÓN</b>	Mezcla íntima	Riego Superficial
<b>DURACIÓN APROXIMADA</b>	Sobre 5 años siendo riguroso en procedimientos y dosificación (puede variar según tipo de suelo)	Mínimo 2 meses sin lluvias considerables (puede variar según tipo de suelo)
<b>CONSERVACIÓN</b>	No requiere	Reaplicación en cada temporada (posible menor dosis)
<b>REPARACIÓN</b>	Bacheros o repelidos puntuales	No requiere
<b>OBSERVACIONES</b>	No aporta capacidad estructural	Se recomienda perfilar y se debe retirar material sobre tamaño antes de la aplicación

COMPROMISO SALMAG

La empresa está fuertemente orientada al desarrollo permanente de nuevas tecnologías y mejores aplicaciones de Bischofita, a través de DustMag® en la minería, con el objetivo de ser parte del control de polvo en las faenas. Para lograr ese objetivo, SALMAG cuenta además con un Centro Logístico para distribuir Bischofita en la región de Antofagasta y fortalecer día a día el servicio de control de polvo.

TRABAJO EN TERRENO

La efectividad de DustMag® y su éxito en la minería se debe principalmente a la experiencia en el uso de la Bischofita y al equipo de ingenieros que trabaja en terreno monitoreando el servicio diariamente en cada faena minera.

EXPERIENCIA

CAMINOS MINEROS: más de 20.000.000 m<sup>2</sup> tratados anualmente con presencia en la mayoría de las faenas del sector.  
 TRANQUES DE RELAVE: más de 100.000 m<sup>2</sup> tratados para el control de erosión edíca.

## Hoja de datos de seguridad, SALMAG.



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

<b>Nombre del Producto</b>	<b>Bischofita</b>
Código documento	081/02-CH
Fecha de emisión	Julio 2012

#### En caso de inhalación

Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición cómoda para respirar. Si presenta dificultad respiratoria: llamar a un centro de información toxicológica o a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Lavar con agua y jabón abundantes. En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.

#### En caso de contacto ocular

Enjuagar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar los lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Continuar enjuagando. Si la irritación ocular persiste: Consultar a un médico.

#### En caso de ingestión

No inducir el vómito, a menos que sea indicado por personal médico. Enjuague la boca y beba abundante agua.

#### Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los siguientes síntomas se pueden presentar

En caso de inhalación:	Puede irritar el tracto respiratorio. La inhalación de productos de descomposición térmica puede generar graves daños al sistema respiratorio.
En caso de contacto con la piel:	Puede causar enrojecimiento o irritación
En caso de contacto ocular:	Puede causar irritación ocular
En caso de ingestión:	Ingestión de grandes cantidades provoca molestias estomacales. Niveles elevados de magnesio en sangre pueden provocar debilidad muscular, confusión y una disminución en los reflejos.

#### Notas para el médico tratante

Tratamiento sintomático.

### 5. Medidas para combate del fuego

No inflamable.

#### Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Polvo químico seco, CO<sub>2</sub>, espuma o cualquier agente clase "ABC".

Medios de extinción no apropiados: Ninguno, pero se debe prestar atención a la compatibilidad con productos adyacentes.

#### Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Utilice equipo de respiración autónomo, antiparras y ropa protectora.

#### Productos de descomposición térmica

Puede liberar gases/vapores tóxicos/corrosivos por descomposición térmica

Productos de descomposición térmica: Sobre 110° C compuestos de magnesio y ácido clorhídrico. Sobre 300°C cloro(g)

### 6. Medidas para controlar derrames o fugas

#### Medidas de emergencia y precauciones personales

Provea ventilación adecuada. Utilice elementos de protección personal.

#### Precauciones para el medio ambiente

No permitir que alcance aguas superficiales o desagües. Tomar todas las precauciones necesarias para que los residuos sean recolectados y contenidos.

#### Métodos de limpieza

Recoger mecánicamente y colocar en un envase adecuado para su recuperación o eliminación. Lavar con agua para eliminar residuos si ha derramado sobre la calzada de un camino pavimentado.

## Declaración escases hídrica, Provincia de Petorca.

4. **QUE**, por otra parte, el Informe Técnico denominado "Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Provincia de Petorca y Marga-Marga, V Región de Valparaíso", de 7 de enero de 2019, de la División de Estudios y Planificación de la Dirección General de Aguas, señala que los sistemas de agua potable rural, informados por la Dirección de Obras Hidráulicas, presentan un rendimiento promedio del 37% para la provincia de Petorca, en las comunas de Cabildo, La Ligua, Petorca y Zapallar, por lo cual recomienda decretar período de escasez en base a lo indicado en el numeral 10.b) de la Resolución D.G.A. N° 1674, de 2012.
5. **QUE**, debido a las razones señaladas, y con el objeto de implementar medidas extraordinarias, que contribuyan a superar la escasez del recurso hídrico, se requiere la dictación de un decreto de escasez hídrica en la provincia de Petorca, Región de Valparaíso
6. **QUE**, el Director General de Aguas mediante el oficio Ord. D.G.A. N° 46, de 23 de enero de 2019, solicita se declare zona de escasez a la provincia de Petorca, Región de Valparaíso.
7. **QUE**, el artículo 314 inciso 1° del Código de Aguas, dispone que el Presidente de la República, a petición o con informe de la Dirección General de Aguas, podrá, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez por períodos máximos de seis meses, no prorrogables.
8. **QUE**, teniendo presente los antecedentes previamente indicados, procede declarar zona de escasez a la provincia de Petorca, Región de Valparaíso.

### DECRETO:

1. **DECLÁRASE ZONA DE ESCASEZ** por un período de seis meses, no prorrogables, a contar de la fecha del presente decreto, a la provincia de Petorca, Región de Valparaíso.
2. En virtud de esta declaración, y no habiendo acuerdo entre los usuarios para redistribuir las aguas, la Dirección General de Aguas podrá hacerlo respecto de las aguas disponibles en las fuentes naturales, con el objeto de reducir al mínimo los daños generales derivados de la sequía. Igualmente, podrá suspender las atribuciones de las juntas de vigilancia, como también los seccionamientos de las corrientes naturales que estén comprendidas dentro de la zona de escasez.
3. La Dirección General de Aguas podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas desde cualquier punto, por el mismo período señalado en el numeral primero de este decreto, sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas y sin la limitación del caudal ecológico mínimo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas. También podrá otorgar cualquiera de las autorizaciones señaladas en el Título I del Libro Segundo de la mencionada codificación.
4. Asimismo, en las corrientes naturales o en los cauces artificiales en que aún no se hayan constituido organizaciones de usuarios, la Dirección General de Aguas podrá a petición de parte, hacerse cargo de la distribución en las zonas declaradas de escasez.
5. Para los efectos señalados en los numerales anteriores, la Dirección General de Aguas adoptará las medidas necesarias sin sujeción a las normas establecidas en el Título I del Libro Segundo del Código de Aguas.
6. Esta declaración de zona de escasez no será aplicable a las aguas acumuladas en embalses particulares.

Según las recomendaciones realizadas por los profesores a cargo del comité de revisión de tesis, se realizaron las siguientes modificaciones en el presente trabajo de titulación:

**“PROPUESTA DE SUPRESIÓN DE POLVO OPTIMIZANDO  
EL RECURSO HÍDRICO EN PROYECTO RAJO  
DULCINEA DEL 1-4, COMUNA DE PETORCA”**

- Cambio en la redacción del objetivo general.
- Cambios en los nombres de los capítulos del trabajo.
- Adición de datos asociados a costos en el capítulo tres.