MODELACIÓN DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS PROYECTO MINA DE CALIZA POTRERILLO

Desarrollado Por:

ASESORÍAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PEDRO ALEX SANHUEZA HERRERA E.I.R.L.

Para:

MWH Chile

Octubre 2008

ESTUDIO DESARROLLADOR POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.	Jefe de Proyecto
Ing. Mónica Torreblanca V.	Modelación de Calidad del Aire
Ing. Daniela Yáñez C.	Inventario de Emisiones

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de explotación de la Mina de Caliza Potrerillo se localizará en la cordillera de Los Andes, en la Región de Atacama. Producto de las actividades mineras, se generarán emisiones de material particulado y gases a la atmósfera, las cuales serán transportadas y dispersadas por los vientos. Por tal motivo, se realizó una modelación para estimar las concentraciones de PM10, SO_2, y NO_2, en el entorno de las operaciones mineras.

Para la modelación de las concentraciones, se estimaron y espacializaron las emisiones de materia particulada y gases, debidas a la faena minera y planta de cal, tanto para la fase de construcción como de operación. Luego se procesaron los registros de las variables meteorológicas que influyen en la dispersión y transporte de contaminantes atmosféricos. Posteriormente se definió el dominio de modelación, el cual incluye todas las operaciones generadoras de emisión de polvo, y su entorno conformado por un dominio de 46x46 km.

Finalmente, se estructuraron los archivos de ingreso al modelo AERMOD y se obtuvo las concentraciones de materia particulada y gases, según los períodos de las normas de calidad vigentes. Para la línea base de concentraciones se dispone sólo de mediciones basales de PM10 por un período en el área del Proyecto, el cual se utiliza para evaluar el impacto del Proyecto sobre la calidad del aire Estos cálculos se realizaron tanto en la fase de construcción como operación de la Mina de Caliza Potrerillo.

Todas las concentraciones máximas ocurrirán a poca distancia de las faenas, debido a que en su mayoría corresponden a emisiones fugitivas. La única excepción corresponde a las emisiones de SO_2 y NO_2 desde los hornos de cal, sin embargo, las máximas concentraciones se esperarían a 530 metros desde los hornos.

Las concentraciones esperadas, en todas sus fases (construcción y operación), son menores (a modo referencial) a los máximos permisibles por las normativas vigentes (primarias y secundarias).

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 2

1. INTRODUCCIÓN 4

Etapa 1 Área de Estudio y Análisis Meteorológico 4
Etapa 2: Estimación de las Emisiones de contaminantes 4
Etapa 3: Modelación del transporte y dispersión de contaminantes 4
Etapa 4: Evaluación de Resultados 5
1.1 Objetivo 5
1.2 Localización del Proyecto en Evaluación 5
1.3 Definición del Área de Estudio 7

2. ANÁLISIS METEOROLÓGICO 9

2.1 Análisis de las Variables Meteorológicas 9

3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES 15

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE EMISIONES 15
3.1.1 Procesos en Fase de Construcción 15
3.1.2 Procesos en Fase de Operación 16
3.2 CICLOS DE OPERACIÓN Y NIVELES DE ACTIVIDAD 18
3.2.1 Niveles de actividad en Fase de Construcción 18
3.2.2 Niveles de actividad en Fase de Operación 18
3.3 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES 22
3.3.1 Procesos en Fase de Construcción 22
3.3.2 Procesos en Fase de Operación 22
3.4 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES 23
3.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES 28
3.5.1 Fase de Construcción 28
3.4.2 Fase de Operación 29

4. MODELACIÓN DE CONCENTRACIONES 33

4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO 33
4.2 DOMINIO DE MODELACIÓN 35
4.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN 36
4.3.1 Fase de Construcción 36
4.3.2 Fase de Operación 38

5. EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES 45

6. CONCLUSIONES 47

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto Mina de Caliza Potrerillo generará emisiones de materia particulada y gases a la atmósfera, producto de sus actividades asociadas a las tronaduras, carguío, transporte de material, chancado, y calcinación, principalmente. A fin de evaluar los efectos sobre el medioambiente, en términos de las concentraciones esperadas en su entorno, se realizó una modelación para estimar dichas concentraciones y compararlas con los valores normados (a modo referencial).

Para el desarrollo de la evaluación, se han definido cuatro etapas principales:

Etapa 1: Área de Estudio y Análisis Meteorológico
Etapa 2: Estimación de las Emisiones de materia particulada y gases
Etapa 3: Modelación de la Concentración de contaminantes
Etapa 4: Evaluación de resultados

Etapa 1 Área de Estudio y Análisis Meteorológico

En esta etapa se definió el alcance geográfico-espacial del área a evaluar. Para esto se han considerado el tipo de proyecto, la localización de sus actividades (fuentes emisoras), así como en entorno geográfico y topográfico.

Se procesaron además, las variables meteorológicas tales como, velocidad y dirección del viento, temperatura, y radiación solar, registradas durante el año 2005, en la estación Aero Potrerillo, enfatizando el análisis de rosas de viento, lo que permitió caracterizar el transporte de masas de aire en la zona.

Etapa 2: Estimación de las Emisiones de contaminantes

El Inventario de Emisiones de contaminantes se estimó para cada fase del proyecto, es decir, para la fase de construcción y operación. Para esto se procesó la información del Proyecto, en relación a las fuentes emisoras y sus niveles de actividad, en conjunto con las horas de operación, toneladas procesadas, consumo de combustible, entre otros parámetros.

El cálculo de emisiones se basó en la utilización de Factores de Emisión, contenidos en el documento desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (USEPA), denominado AP-42, en su última actualización.

Etapa 3: Modelación del transporte y dispersión de contaminantes

Esta actividad correspondió a la aplicación de un modelo para estimar el transporte y dispersión de contaminantes, emitido a la atmósfera en la fase de construcción y operación del proyecto Mina Caliza Potrerillo. El sistema de modelación seleccionado, de acuerdo al tipo de fuentes y entorno a modelar, fue el AERMOD, el cual contiene las ecuaciones y capacidad para simular el transporte, dispersión y depositación de particulado primarias en terreno complejo y operaciones mineras.

Para el desarrollo de esta etapa, se consideró como input el inventario de emisiones, debidamente temporalizado y espaciado, datos de topografía y registros meteorológicos.

Etapa 4: Evaluación de Resultados

Una vez obtenidas las concentraciones de gases y partículas en el área de influencia para las fases de construcción y operación, se evaluaron dichas concentraciones en relación a los valores máximos permisibles por las normas de calidad del aire (primarias y secundarias).

1.1 Objetivo

El objetivo de este estudio es modelar y evaluar el efecto que tendrá la construcción y operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo, sobre la calidad del aire en el entorno a las operaciones del Proyecto.

1.2 Localización del Proyecto en Evaluación

La Mina de Caliza Potrerillo, se ubicará en el valle del río Potrerillo, en la Cordillera de Los Andes, Región de Atacama, entre los 3.258 y 4.123 msnm.

El Proyecto contempla la extracción de caliza a cielo abierto a través de actividades de tronaduras, carguío, transporte de mineral, y acopio de lastre en depósito. El mineral extraído será trasladado a la Planta de Cal, ubicada a 7 kilómetros del yacimiento, donde la caliza será sometida a procesos de chancado, molienda y calcinación para producir cal.

La Figura 1.1, muestra la localización y los componentes de la Mina de Caliza Potrerillo.

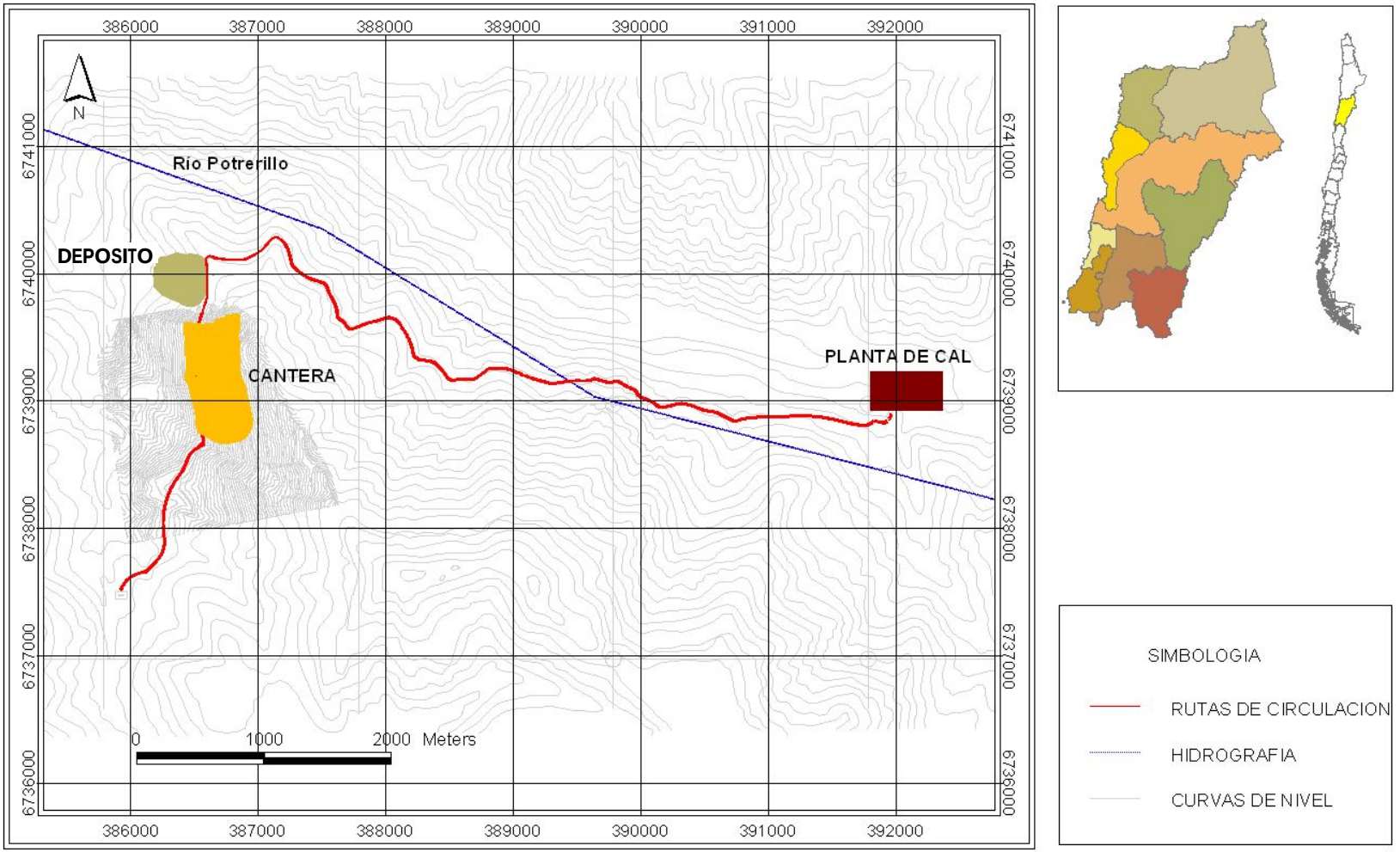

Figura 1.1 Componentes Mina de Caliza Potrerillo

1.3 Definición del Área de Estudio

El área de estudio queda definida por un dominio de 46x46 km, centrado en las faenas mineras, abarcando además la estación meteorológica Aero Potrerillo. La Figura 1.2, muestra el área de estudio de la Mina de Caliza Potrerillo.

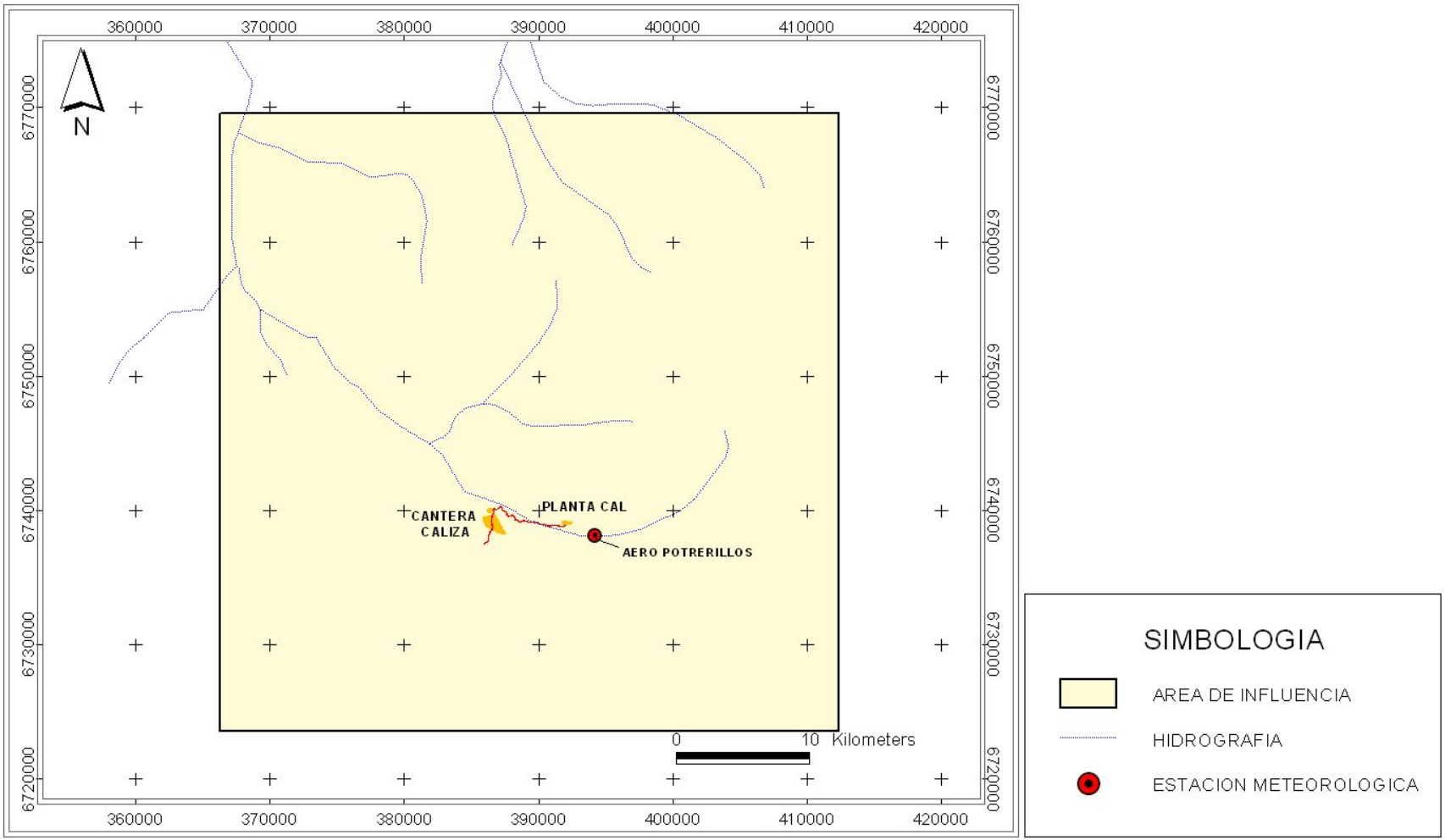

Figura 1.2 Área de Estudio Proyecto Mina de Caliza Potrerillo

2. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

La meteorología utilizada en este estudio, corresponde a los registros obtenidos de la Estación Aero Potrerillo, ubicada a dos kilómetros al sur del sitio del Proyecto. Esta estación se localiza en las coordenadas UTM, Este 394.147 m y Norte 6.738.003 m, según Datum WGS-84, Huso 19 Sur.

2.1 Análisis de las Variables Meteorológicas

- Temperatura

La Tabla II.1 muestra para cada mes del año, la temperatura del aire (ºc) en el área del Proyecto. De ella se observa un patrón caracterizado por meses fríos entre Mayo y Septiembre, y meses más cálidos en primavera-verano. La amplitud térmica (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) es característica de zonas montañosas, con mínimos bajo cero y máximas que exceden los 25 grados.

La variación horaria de la temperatura se muestra en la Figura 2.1. En ella se ha graficado la media, máxima, y mínima para cada hora del día. En general, las temperaturas se mantienen bajas (menores a 5 ºc) hasta las 8:00 AM, para luego ir ascendiendo gradualmente hasta llegar a los 13ºc a las 15:00 horas, cuando comienza a descender nuevamente hasta alcanzar valores de 5ºc. Este patrón de temperaturas incide fuertemente en la formación de atmósferas estables nocturnas que impiden la dispersión de contaminantes.

Tabla II.1 Estadística Mensual de la Temperatura del aire

Mes	Temperatura (ºc)		
	Media	Mínima	Máxima
Enero	13.2	-0.9	26.0
Febrero	12.9	4.9	23.6
Marzo	10.9	0.7	23.6
Abril	7.4	-2.5	20.3
Mayo	3.2	-6.6	18-0
Junio	3.4	-4.1	13.4
Julio	2.5	-13.1	17.9
Agosto	4.2	-9.9	17.2
Septiembre	2.6	-10.4	15.3
Octubre	5.9	-3.8	18.4
Noviembre	9.5	0.7	19.2
Diciembre	12.6	1.2	24.0

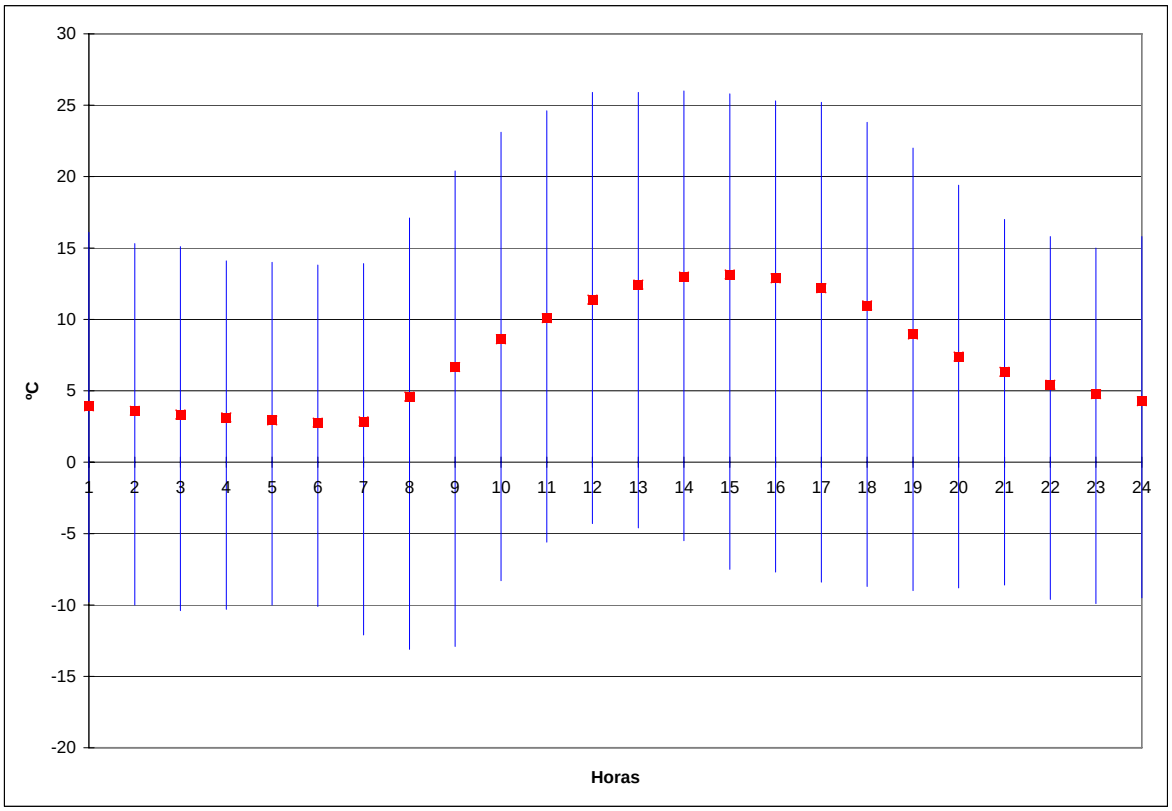

Figura 2.1 Distribución horaria de la Temperatura (°c)

- Velocidad del viento

La velocidad del viento en el área del Proyecto se caracteriza por tener un comportamiento relativamente homogéneo durante todo el año. La Tabla II.2 muestra para cada mes del año, los valores promedio, mínimos, y máximos de la velocidad del viento. De la tabla II.2 se desprende que en todos los meses existen ráfagas de viento (vientos mayores a 10 m/s) y con mínimas cercanas a 0 m/s. Este patrón es característico de zonas montañosas.

La distribución horaria de la velocidad del viento se muestra gráficamente en la Figura 2.2. En ella se ha graficado la velocidad del viento promedio y los valores máximos y mínimos para cada hora. De ella se observa que en promedio las velocidades del viento tienen a aumentar a partir de las 10:00 de la mañana, hasta llegar a un máximo a las 16:00 horas, para luego descender nuevamente. Sin embargo, las velocidades altas ocurren a cualquier hora del día.

Tabla II.2 Estadística Mensual de la Velocidad del viento

Mes	Velocidad del viento (m/s)		
	Media	Mínima	Máxima
Enero	4.80	0.05	17.92
Febrero	4.14	0.02	12.29
Marzo	4.22	0.07	14.33
Abril	3.65	0.00	13.58
Mayo	4.31	0.54	16.55
Junio	3.08	0.19	11.53
Julio	3.76	0.21	15.00
Agosto	5.19	0.45	19.17
Septiembre	4.96	0.33	16.22
Octubre	5.68	0.08	17.40
Noviembre	4.97	0.01	16.37
Diciembre	4.80	0.05	15.36

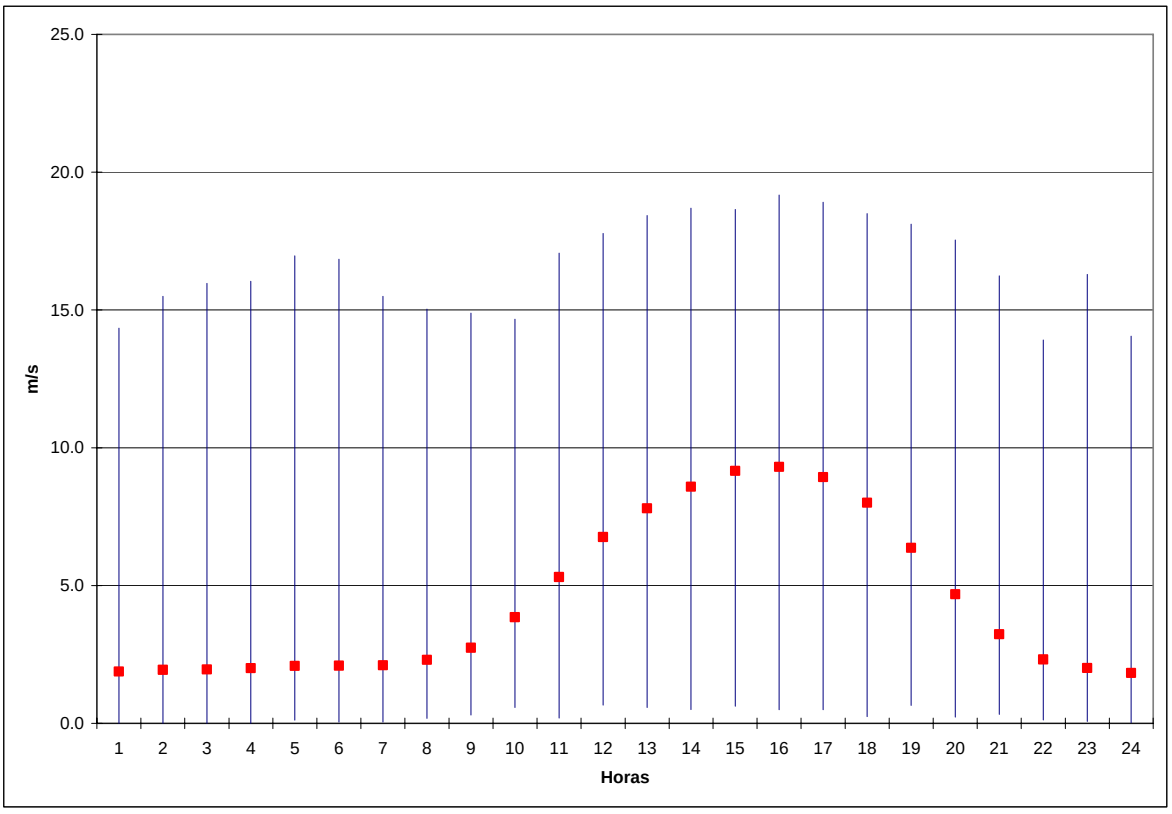

Figura 2.2: Distribución horaria de la velocidad del viento

- Dirección del Viento

La dirección del viento se analiza a través de las rosas de viento compuestas, que entregan la frecuencia de ocurrencia de direcciones de viento asociadas a rangos de velocidad (magnitud del vector viento).

La rosa de viento anual (Figura 2.3), indica que en el área del Proyecto los vientos son predominantemente del Oeste y Sur-Este. Con un vector resultante de 219º. Se

presentan condiciones de calma en un 6.3% del tiempo, y la velocidad promedio del viento es de 4.4 m/s.

Durante el día, el viento es predominantemente del Oeste, con pocas calmas (0.6%), y con velocidad promedio bastante alta (6.6 m/s). Estas condiciones son favorables para la dispersión de particulado desde el área del Proyecto.

Durante las noches, los vientos provienen principalmente desde el Sur-Este, con componentes menores desde el Oeste. Son vientos débiles, en promedio con 2.7 m/s, y un alto porcentaje de calmas (11.0%). Estas condiciones nocturnas limitan la dispersión de contaminantes emitidos desde fuentes localizadas en el área del Proyecto.

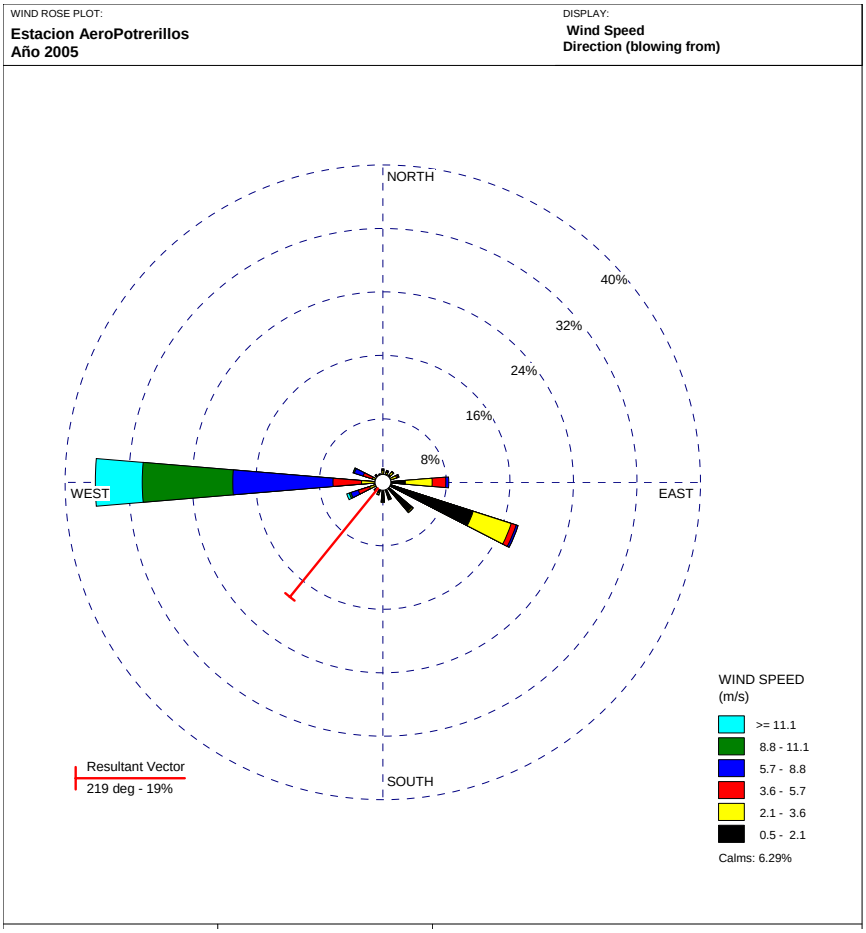

Figura 2.3: Rosa de viento anual en el área del Proyecto

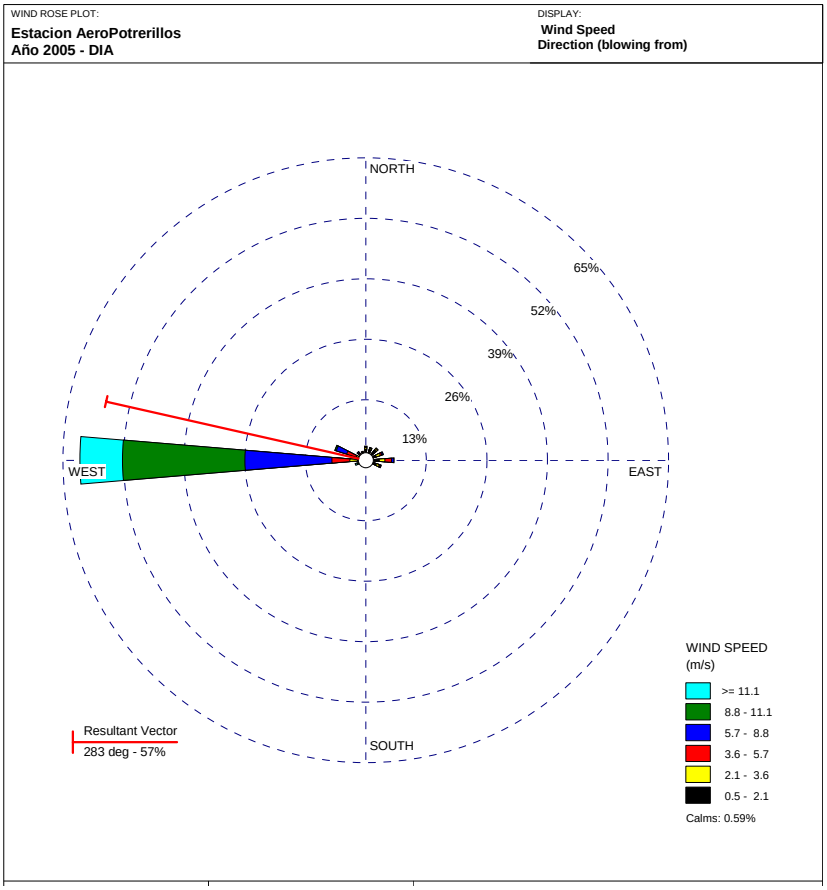

Figura 2.4: Rosa de viento durante el día, en el área del Proyecto

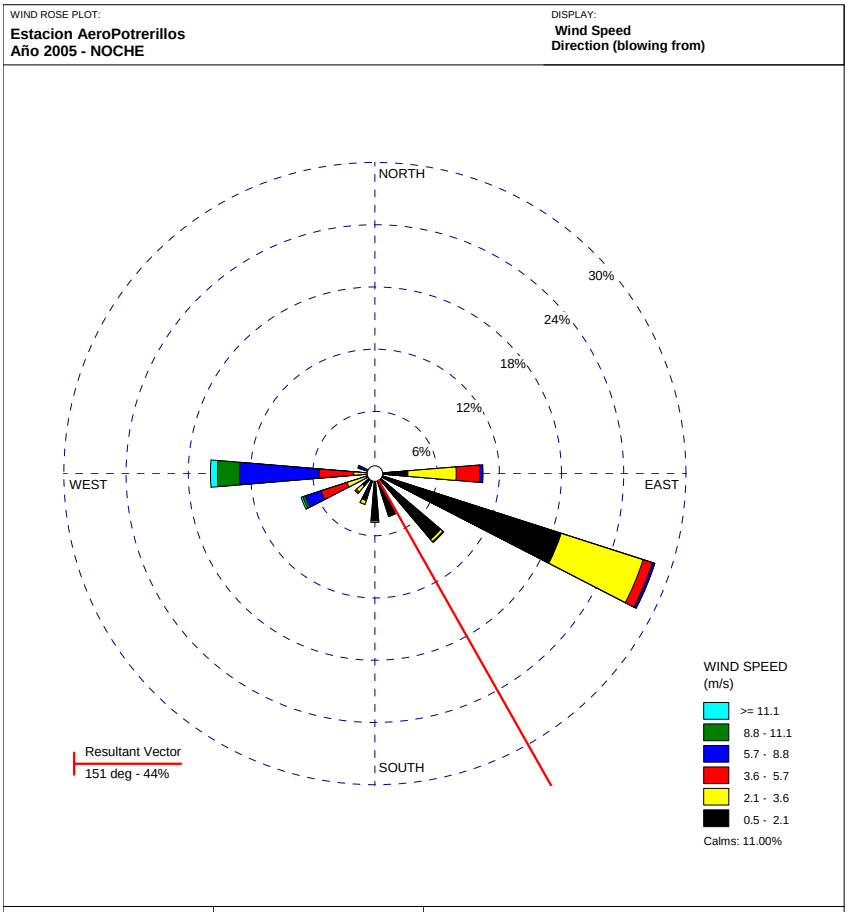

Figura 2.5: Rosa de viento durante la Noche, en el área del proyecto

3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES

En esta sección se detallan todas las actividades realizadas para estimar el Inventario de Emisiones de gases y partículas debido a las fases de construcción y operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo. Para esto, en primera instancia se analizó en forma general el proceso extractivo y productivo de las faenas y luego se recopiló la información necesaria de todas las actividades, fuentes de emisión de material particulado, niveles de actividad y ciclos de operación.

Con los datos recopilados, se procedió a estimar el Inventario de Emisiones, mediante la metodología de Factores de Emisión. Estos factores corresponden a los definidos por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (US-EPA) en el documento AP-42 en su última actualización.

Debido a la dinámica de las operaciones de una mina, el inventario de emisiones varía casi a diario, sin embargo, y para fines de la evaluación del impacto de las operaciones sobre la depositación de partículas, para la fase de operación se estimó un inventario de emisiones que refleje la peor situación de emisión, asociado a los máximos niveles de explotación de la Mina de Caliza. De esta forma, el año considerado para la evaluación fue el año 4, que corresponde al año que se contempla la máxima extracción de mineral que asciende a 1,6 millones de toneladas al año.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE EMISIONES

De acuerdo a las actividades consideradas en el Proyecto, la estimación de emisiones se realizó para cada una de las distintas fases, es decir, se estimó la emisión en la fase de construcción y operación.

3.1.1 Procesos en Fase de Construcción

En la fase de construcción del Proyecto, se espera principalmente la generación de material particulado debido a emisiones fugitivas resultantes de excavaciones y movimientos de tierra, circulación de vehículos en caminos no pavimentados, asociadas a la construcción del camino que unirá la Mina de Caliza y la Planta de Cal. Adicionalmente se esperan emisiones de gases de los vehículos y maquinarias, sin embargo, estas emisiones son despreciables, por tanto, en esta Fase se presenta un detalle de la estimación de material particulado respirable (PM10).

La fase de construcción del Proyecto queda dividida en dos áreas responsables de las emisiones de material particulado: Construcción del Camino y Construcción de Planta de Cal. Cabe notar que la mina no contempla una etapa de prestripping, por tanto no se considera en este cálculo. En la Tabla III.1, se detallan las distintas fuentes y tipos de emisión, por área responsable en la fase de Construcción del proyecto. Cabe notar que las emisiones durante esta fase se deben principalmente a los movimientos de tierra, siendo despreciable las emisiones debidas a la construcción de obras civiles y montaje de equipos.

Tabla III.1 Clasificación de Fuentes de Emisión de PM10, Fase de Construcción

Área	Fuente de Emisión	Tipo de Emisión
CONSTRUCCIÓN CAMINO	Tronaduras	Fugitiva
	Movimiento de Material	Fugitiva
	Transferencia de Material	Fugitiva
	Combustión Interna de Motores	Móvil
	Tránsito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
	Erosión Eólica de Material	Fugitiva
CONSTRUCCIÓN PLANTA DE CAL	Movimiento de Material	Fugitiva
	Transferencia de Material	Fugitiva
	Combustión Interna de Motores	Móvil
	Tránsito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
	Obras civiles	Fugitiva *
	Montaje de equipos	Fugitiva *

* Emisiones no relevantes

3.1.2 Procesos en Fase de Operación

Durante la fase de operación se esperan tres áreas de emisión de gases y partículas. Una de ellas es la Mina, donde las principales actividades emisoras se asocian a la explotación de mineral, perforaciones, tronaduras, carguío y transporte de mineral y lastre. Aquí se generan básicamente emisiones de material particulado, y en menor medida los gases de las maquinarias y vehículos utilizados.

La otra área corresponde a servicios a faenas, donde las emisiones se deben básicamente al polvo resuspendido por el tránsito de vehículos y maquinarias que trasladan servicios, personal y materiales desde las Plantas de Procesamiento a la Mina. La combustión de los motores también generará emisiones de gases los cuales son despreciables.

Finalmente, el área de la Planta de Procesamiento, donde mediante el proceso de chancado, molienda y calcinación se producirá cal. Aquí se esperan emisiones fugitivas de materia particulada de los procesos de chancado. molienda, y transferencia de materiales, y también de materia particulada, SO_2 y NO_2, de los hornos de calcinación.

La Tabla III.2, resume las distintas fuentes y tipos de emisión por área responsable durante la fase de Operación.

Tabla III.2 Clasificación de Fuentes de Emisión, Fase de Operación

Área	Actividad	Fuente de Emisión	Tipo de Emisión
MINA DE CALIZA	Perforaciones	Perforaciones	Fugitiva
		Combustión Interna Maquinaria	Móvil
		Movimiento de Maquinaria	Fugitiva
	Tronaduras	Tronaduras	Fugitiva
		Combustión Interna Maquinaria	Móvil
		Movimiento de Maquinaria	Fugitiva
	Carguío	Movimiento de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Transferencia de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Combustión Interna Cargadores Frontales	Móvil
	Depósito de Lastre	Transferencia de Mineral Camiones Mineros	Fugitiva
		Combustión Interna Camiones Mineros	Móvil
		Tránsito de Camiones Mineros	Fugitiva
	Depósito de Lastre	Movimiento de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Combustión Interna Cargadores Frontales	Móvil
		Movimiento de Cargadores Frontales	Fugitiva
		Erosión Eólica	Fugitiva
SERVICIOS A FAENAS	Servicios a Faenas	Combustión Interna de Motores	Móvil
		Transito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
PLANTA DE PROCESAMIENTO	Planta de Chancado	Chancado Primario	Fugitiva
		Chancado Secundario	Fugitiva
		Harneros	Fugitiva
		Transferencia de Mineral entre correas transportadoras	Fugitiva
		Erosión eólica en Acopio de mineral	Fugitiva
	Planta de Calcinación	Hornos de Calcinación	Puntual
		Transferencia de Mineral entre correas transportadoras	Fugitiva

3.2 CICLOS DE OPERACIÓN Y NIVELES DE ACTIVIDAD

En esta sección se detallan los ciclos de operación, niveles de actividad y parámetros necesarios para la estimación de emisiones para la fase de construcción y operación del Proyecto. Estas variables están relacionadas con las horas de operación, toneladas procesadas, consumo de combustible y maquinaria utilizada, entre otras variables identificadas para cada una de fuentes de emisión identificadas en el Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

3.2.1 Niveles de actividad en Fase de Construcción

De acuerdo al organigrama del Proyecto, la fase de construcción durará 26 meses. Sin embargo, las actividades emisoras principales se concentrarán en los seis primeros meses, donde se realizarán los movimientos de tierra. El resto del tiempo corresponde a actividades de construcción de obras civiles y emplazamiento de equipos y maquinaria. Por tal motivo, para efectos de evaluar el impacto durante esta fase, se han considerado los seis meses de mayor actividad emisora. Durante esta fase, se trabajará con una jornada de 12 horas al día, los siete días de la semana.

La Tabla III.3, presenta los ciclos de operación y niveles de actividad, para la fase de construcción del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

Tabla III.3 Niveles de actividad Fase de Construcción

Área	Actividad	Cantidad	Unidad
CONSTRUCCIÓN PLANTA DE CAL	Actividades Constructivas	9	Superficie en Construcción (ha)
CONSTRUCCIÓN CAMINO	Movimiento y transferencia de Material	30.952	t/d
	Tronaduras	1	tronadura/d
		5.100	Superficie tronada (m^2)

3.2.2 Niveles de actividad en Fase de Operación

Debido a la dinámica y tipos de fuentes de emisión asociadas a la extracción de mineral, el inventario de emisiones varía y depende de la cantidad de mineral explotado. El Proyecto en su fase de operación, contempla la explotación durante 30 años, y para la estimación de emisiones, se consideró aquel que refleje una situación de máximos niveles de explotación, para así obtener el caso más desfavorable en la estimación de dichas emisiones.

De esta forma, para la evaluación se ha considerado el año 4º, que corresponde al período de máxima extracción de mineral, totalizando 1,5 millones de toneladas de mineral y 0,1 millones de toneladas de extracción lastre. La Tabla III.4 muestra el Plan Minero para el año 4º y el lugar de disposición del mineral extraído.

Tabla III.4 Extracción de Mineral año 4°

Tipo de Mineral	Mineral	Cantidad (t/año)	Lugar de Destino
Mineral	Caliza	1527191	Chancador Primario
Lastre	Conglomerado	96259	Depósito de Lastre
	Volcánico	12958	Depósito de Lastre

Los niveles de actividad y ciclos de funcionamiento considerados para cada de las fuentes de emisión por área responsable, se presenta en la Tabla III.5.

Tabla III.5 Niveles de Actividad y Ciclos de Operación, Fase de Operación

Actividad		Cantidad	Unidad	Funcionamiento	Unidad
MINA DE CALIZA					
Perforaciones		210	perforaciones/tronadura	350	(d/año)
		24500	perforaciones/año		
Tronaduras		1	tronadura/d	Cada 3 días	(d/año)
		117	Tronadura/año		
		5250	Superficie tronada (m^2)		
Carguío de Mineral		1	Cargador Frontal	350	(d/año)
		4675	Capacidad carguío (t/d)		
Transporte de Mineral		7	Camiones	350	(d/año)
		4675	Capacidad transporte (t/d)		
		1	Camino		
		7	Kilómetros		
Depósito de Lastre		1	Cargador Frontal	350	(d/año)
SERVICIOS A FAENAS					
Mantención		1	Camión	350	(d/año)
Transporte de Pasajeros		1	Bus		
Vehículos de Livianos		3	Camionetas		
PLANTAS DE PROCESAMIENTO					
PLANTA DE CHANCADO	**Chancado Primario**	1	Chancador	340	(d/año)
		4500	t/d		
	Chancado Secundario	1	Chancador	340	(d/año)
		4500	t/d		
	Harnero	1	Harnero	340	(d/año)
		4500	t/d		
	Correas Transportadoras	3	Correas	340	(d/año)
		1500	t/d		
	Acopio de Mineral	0,016	Superficie erosionable (ha)	340	(d/año)
PLANTA DE CALCINACIÓN	**Correas Transportadoras**	3	Correas		
		2880	t/d		

Tabla III.5 Niveles de Actividad y Ciclos de Operación, Fase de Operación

Actividad		Cantidad	Unidad	Funcionamiento	Unidad
	Hornos de Calcinación	2	Hornos	350	(d/año)
		1440	t/d alimentación		

3.3 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES

En esta sección, se detallan las medidas de mitigación de emisiones de materia particulada, adoptadas tanto en la fase de construcción como de operación del Proyecto.

3.3.1 Procesos en Fase de Construcción

- **Humectación de caminos no pavimentados**: Se humectaran las rutas sin pavimento y por donde circula la maquinaria y vehículos que intervienen en las actividades constructivas. La eficiencia del riego con agua como medida de abatimiento es de un 50%.

- **Humectación de material**: Los traspasos y transferencias de material se impregnaran con agua, cuya eficiencia como medida de reducción de emisiones es de un 50%.

3.3.2 Procesos en Fase de Operación

- **Humectación de ruta Mina-Planta de Cal**: Se humectará la ruta que une la Mina de Caliza Potrerillo, con una eficiencia del 50% en la mitigación de emisiones de material particulado.

- **Humectación de lastre**: El material descargado en el depósito se regará con agua con un eficiencia del 50%.

- **Equipos de Filtro Mangas**: En los equipos de chancado, harneros y las transferencias de material particulado en la Planta de Chancado, se implementarán filtros mangas para la captura de material particulado con un eficiencia de 99%.

- **Equipos de Filtro Mangas**: Los hornos de calcinación contarán con filtros mangas para la captura de materia particulada con una eficiencia del 99%.

3.4 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

La metodología adoptada para la estimación de emisiones de partículas, se basa en el uso de factores emisivos y niveles de actividad.

Los factores de emisión pueden definirse como valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con la actividad asociada a la generación de ese contaminante. Estos factores se expresan generalmente como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia, o duración de la actividad emisora (Ejemplo: ton PM_{10} emitidos / ton Material Removido).

Estos factores permiten la estimación de emisiones de diversas fuentes contaminantes. En la mayoría de los casos, estos factores son simplemente promedios de toda la información disponible de calidad aceptable, y se asumen generalmente como representativos de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de la fuente emisora.

La ecuación general para la estimación de emisiones de una fuente dada es la siguiente:

$$E = A * FE * \left(1 - \frac{RE}{100}\right)$$

Donde:

E : Emisión
A : Nivel de actividad
FE : Factor de emisión
RE : Eficiencia global de reducción de emisiones, en %

La Tabla III.6, entrega un detalle de los factores de emisión de materia particulada utilizados en este estudio, indicando parámetros necesarios para el cálculo, así como también referencias bibliográficas.

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Movimiento de Tierra por Uso de Maquinaria Pesada	$FE = \frac{f * 0.45 * s^{1.5}}{M^{1.4}}$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/hr	Horas de trabajo de la maquinaria en un día	hr/día
		s	Contenido de finos del material	%		
		M	Contenido de humedad del material	%		
		f	Factor de ajuste para PM_{10}= 0,75	Ad		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42, 5ª Edición, Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-2 (Pág.11.9.-7)						
Perforación Minera	$FE = f * 0.59$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/ perforación	Número de perforaciones realizadas en un día	perforación/día
		f	Factor de ajuste para PM_{10}= 0,37	Ad		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-4 (Pág.11.9-10)						
Tronadura	$FE = f * 0.00022 * A^{1..5}$	*FE*	Factor de emisión PM	kg/ tronadura	Número de tronaduras realizadas en un día	tronaduras /día
		f	Factor de ajuste para PM_{10}= 0,52	Ad		
		A	Área de tronadura, con sondajes de profundidad mayor que 21 metros	m^2		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-2 (Pág.11.9-7)						
Transferencia de Material (Carga y Descarga)	$FE = \frac{k * 0.0016 * \left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$	*FE*	Factor de emisión en kilógramos de PM	kg/ton material transferido	Toneladas de material transferido en un día	ton/día
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida, para : PM_{10} k = 0,35	Ad		
		U	Velocidad del viento al momento de la transferencia	m/s		
		M	Contenido de humedad del material	%		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización Noviembre 2006, Capítulo 13, Sección 13.2.4.1 (Pág.13.2.4-4)						
Tránsito por Caminos No Pavimentados	**Vehículos Pesados:** $FE = 281.9 * k * \left(\frac{s}{12}\right)^{a} * \left(\frac{W}{3}\right)^{b}$	*FE*	Factor de emisión de PM	gr/veh-km	Número de Vehículos	veh
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida PM_{10}, para: Para Vehículos Pesados, k= 1,5 Para Vehículos Livianos, k= 1,8	Ad		
		s	Contenido de finos del camino	%	Kilómetros recorridos en un día	km/día
		S	Velocidad de los vehículos	km/hr		
		W	Peso medio de los vehículos	Ton cortas		

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
	Vehículos Livianos: $FE = 281.9 * k * \frac{\left(\frac{s}{12}\right) * \left(\frac{S}{48}\right)^{a}}{\left(\frac{M}{0.5}\right)^{b}}$	*M*	Contenido de humedad del camino	%		
		a,b	PM_{10} Para Vehículos Pesados, a= 0,9 y b=0,45 Para Vehículos Livianos, a= 0,5 y b=0,2			
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización 2003, Capítulo 13, Sección 13.2.2, Ec. 1 (Pág. 13.2.2-4)						
Erosión Eólica	$FE = 1{,}9 * k * \left(\frac{s}{1{,}5}\right) * \left(\frac{f}{15}\right) * \left(\frac{365 - p}{365}\right)$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/día-has	Hectáreas erosionadas	has
		f	Porcentaje del tiempo en que el viento excede los 5,4 m	%		
		s	Contenido de finos del suelo o material apilado	%		
		p	Número de días al año con precipitación igual o mayor que 0,254 mm	días		
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida PM_{10}=0,36	Ad		
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 1983, Capítulo 11, Sección 11.2.3, Ec. 3 (Pág. 11.2.3-5)						
Chancador de Mineral	**Primario** $FE = 0.02$ **Secundario** $FE = 0.05$	*FE*	Factor de emisión de PM_{10}	kg/ton de mineral procesado	Toneladas de material chancado en un día	ton/día
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1995, Capítulo 11, Sección 11.24, Tabla 11.24-1, (Pág. 11.24-3)						
Harneros	$FE = 0.036$	*FE*	Factor de emisión de PM_{10}	kg/ton de mineral procesado	Toneladas de material chancado en un día	ton/día
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1995, Capítulo 11, Sección 11.19, Tabla 11.19.2-1, (Pág. 11.19.2-6)						
Combustión Interna de Motores de Maquinaria Pesada	$FE = 0.4$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/HP*hr	Potencia de la maquinaria	HP
					Horas de operación en el día	hr
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 1983, Capítulo 11, Sección 11.2.3						

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Combustión Interna de Motores de Camiones Diesel	**Camiones Pesados Convencional (peso > 16 ton):** $FE = 10.933 * V^{-0.7054}$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						
Combustión Interna de Buses Interurbanos Diesel	**Buses Interurbanos Diesel Tipo 2** $FE = 2.32335 * V^{-0.7373}$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						
Combustión Interna de Motores Vehículos Livianos	**Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2:** $FE = 0.00003015 * V^2 - 0.00327295 * V + 0.129444$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						

Para estimar los factores de emisión aplicables a las fuentes de material particulado identificadas en la fase de construcción y operación de la Mina de Caliza Potrerillo, es necesario definir una serie de parámetros que integran la formulación matemática de estos factores. Estos parámetros corresponden a valores locales en faena y se indican en la Tabla III.7.

Tabla III.7: Parámetros de los Factores de Emisión de PM10 fugitivo

Parámetro	Unidad	Valor
FASE DE CONSTRUCCIÓN		
Contenido de Finos Material a Remover	%	3
Contenido de Humedad Material a Remover	%	3
Densidad Material a Remover	t/m^3	2,6
Contenido de Finos del Camino	%	10
FASE DE OPERACIÓN		
Contenido de Finos Caliza	%	3
Contenido de Humedad Caliza	%	3
Contenido de Finos Lastre	%	3
Contenido de Humedad Lastre	%	3
Contenido Fino del Camino	%	5
Contenido de Humedad	%	3
PARÁMETROS GENERALES		
Velocidad del Viento Promedio	m/s	4,5
Número de días con precipitación mayor a 0.254 mm	días	7
Porcentaje del Tiempo que el Viento excede los 5.4 m/s	%	35

Las emisiones de gases y partículas debidas a los hornos de calcinación, se obtienen de los estudios de ingeniería del Proyecto. Dado que los hornos utilizarán carbón como combustible, se asume un contenido de azufre de 1.2%, que corresponde al rango superior de los carbones importados (0.1 a 1.2% S). La Tabla III.8 resume los parámetros de emisión de los hornos.

Tabla III.8 Parámetros de emisión de los hornos de calcinación

Parámetro	Valor	Unidad
Producción horno	17.500	Kg/h
Densidad del gas	0,24	Kg/m^3
Flujo de gases	46.095	m^3/h
Temperatura salida de los gases	275	ºC
Velocidad de salida de los gases	1	m/s
Altura Chimenea	29	m
Diámetro chimenea	3,4	m
PM10	30	mg/m^3
SO_2	206	mg/m^3
NO_2	98	mg/m^3

3.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

3.5.1 Fase de Construcción

La Tabla III.8, muestra el resultado del inventario de emisiones de materia particulada (PM10) para la fase de construcción en la Mina de Caliza Potrerillo, por área responsable.

De acuerdo al Inventario de Emisiones, en esta fase se emitirán 98 k/d de partículas, lo que equivale a 10 t/año. El área de construcción Camino es responsable del 87,4% de las emisiones (86 k/d) y la construcción de la Planta de Cal representa un 12,6% del total de emisiones de material particulado.

Tabla III.8 Resultados Inventario de Emisiones fugitivas de PM10 Fase de Construcción

Área	Actividad	Emisión		
		(kg/d)	(t/año)	%
CONSTRUCCIÓN CAMINO	Tronaduras	42	0,4	42,5%
	Movimiento de Material	5	1	4,6%
	Transferencia de Material	6	1	6,3%
	Transporte de Materiales	32	5	32.5%
	Transporte de Personal	1	0,2	1,4%
	Erosión Eólica	0,2	0,03	0,2%
	Sub-Total	**86**	**8**	**87,4%**
CONSTRUCCIÓN PLANTA DE CAL	Actividades Constructivas	12	2	12,6%
	Sub-Total	**12**	**2**	12,6%
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN		**98**	**10**	**100%**

La Figura 3.1, muestra el porcentaje de participación de las distintas actividades emisoras de particulado en la fase de construcción. De la Figura se observa, que los principales aportes a las emisiones, corresponden al Tronaduras, Transporte de Materiales, y Actividades Constructivas en la Planta de Cal, que representan un 42,5%, 32,5% y 12,6% del total de las emisiones de particulado, respectivamente.

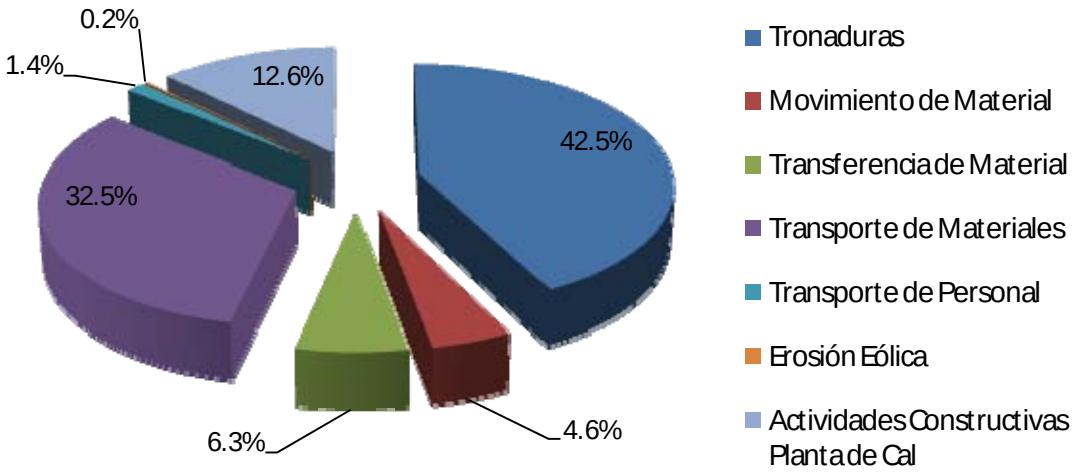

Figura 3.1 Aportes por fuentes a la emisión de polvo, Fase de Construcción

3.4.2 Fase de Operación

La Tabla III.9, muestra el resultado del inventario de emisiones de partículas (PM10) para la fase de operación en la Mina de Caliza Potrerillo, por área responsable.

De acuerdo al Inventario de Emisiones, en esta fase se emitirán 800 k/d de materia particulada, lo que equivale a 266 t/año. El área Mina de Caliza es responsable del 88,7% de las emisiones (709 k/d), los Servicios Faenas aportan un 3,8% y las Plantas de Procesamiento representan un 7,5% de participación en las emisiones de particulado, respectivamente

Tabla III.9 Resultados Inventario de Emisiones de PM10
Fase de Operación

Área	Actividad	Emisión		
		(kg/d)	(t/año)	%
MINA DE CALIZA	Perforaciones	17	6	2,2%
	Tronaduras	44	5	5,4%
	Carguío	12	4	1,5%
	Transporte	625	219	78,2%
	Depósito de Lastre	11	0	1,4%
	Sub-total	**709**	**235**	**88,7%**
SERVICIOS FAENAS	Servicios Faenas	30	11	3,8%
	Sub-total	**30**	**11**	**3,8%**
PLANTAS DE PROCESAMIENTO	Planta de Chancado	5	2	0,6%
	Planta de Calcinación	55	19	6,9%
	Sub-total	**60**	**21**	7,5%
TOTAL FASE DE OPERACIÓN		**800**	**266**	**100%**

La Figura 3.2, muestra el porcentaje de participación de las distintas actividades emisoras de particulado en la fase de Operación. De la Figura se observa, que la principal fuente de emisión de particulado corresponde al Transporte de Mineral, que representan un 78,2% del total de las emisiones de materia particulada.

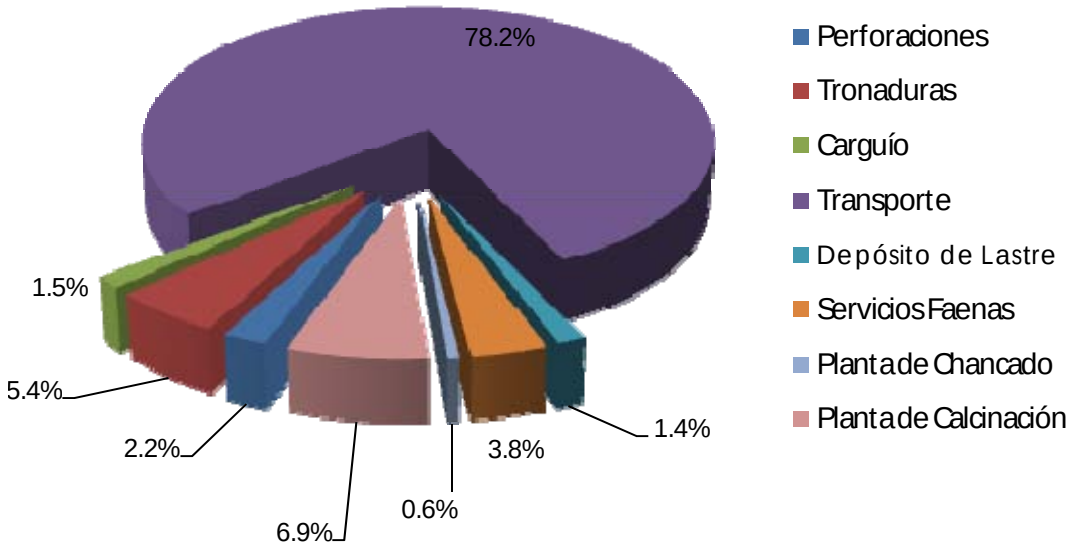

Figura 3.2 Aportes por fuentes a la emisión de polvo, Fase de Operación

La Tabla III.10, muestra el detalle por fuente, de las emisiones de materia particulada durante la fase de operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

La Tabla III.11, entrega las emisiones de gases (SO_2 y NO_2), durante la fase de operación, debido al funcionamiento de los hornos de calcinación. Estos valores se han obtenido en base a los parámetros indicados en la Tabla III.8.

Tabla III.10 Detalle del Inventario de Emisiones PM10, Fase de Operación

Área	Actividad	Fuente de Emisión	Emisión		
			(kg/d)	(t/año)	%
MINA DE CALIZA	Perforaciones	Perforaciones	15	5	1,9%
		Maquinaria de Perforación	2	1	0,3%
		Sub-Total	**17**	**6**	2,2%
	Tronaduras	Tronaduras	44	5	5,4%
		Maquinaria de Tronadura	0,01	0,001	0,001%
		Sub-Total	**44**	**5**	5,4%
	Carguío	Movimiento de Material	6	2	0,8%
		Transferencia de Mineral	4	1	0,5%
		Combustión Interna	2	1	0,2%
		Sub-Total	**12**	**4**	1,5%
	Transporte	Transferencia de Mineral a Chancador	3	1	0,4%
		Transferencia a Depósito de Lastre	0,1	0,04	0,02%
		Polvo Resuspendido	620	217	77,5%
		Combustión Interna	2	1	0,3%
		Sub-Total	**625**	**219**	78,2%
	Depósito de Lastre	Movimiento de Maquinaria	4	0,2	0,5%
		Polvo Resuspendido	0,3	0,01	0,03%
		Combustión Interna	1	0,1	0,2%
		Erosión Eólica	6	0,3	0,7%
		Sub-Total	**11**	**0,5**	1,4%
	TOTAL MINA		**709**	**235**	**88,7%**
Servicios a Faenas	Servicios Faenas	Camión Mantención	18	6	2,2%
		Buses de Transporte de Pasajeros	3	1	0,3%
		Camionetas 4x4	10	4	1,3%
		Sub-Total	**30**	**11**	3,8%
	TOTAL SERVICIOS FAENAS		**30**	**11**	**3,8%**
Planta de Procesamiento	Planta de Chancado	Chancado Primario	1	0,3	0,1%
		Chancado Secundario	2	1	0,3%
		Harneros	2	1	0,2%
		Transferencias	0,1	0,05	0,02%
		Acopio de Mineral	0,05	0,02	0,01%
		Sub-Total	**5**	**2**	0,6%
	Planta de Calcinación	Transferencias	0,05	0,02	0,01%
		Horno 1	28	10	3,5%

Tabla III.10 Detalle del Inventario de Emisiones PM10, Fase de Operación

Área	Actividad	Fuente de Emisión	Emisión		
			(kg/d)	(t/año)	%
		Horno 2	28	10	3,5%
		Sub-Total	**55**	**19**	6,9%
	TOTAL PLANTAS		**60**	**21**	7,5%
TOTAL FASE DE OPERACIÓN			**800**	**266**	100,0%

Tabla III.11 Emisión de Gases en los hornos de calcinación

Parámetro	Valor	Unidad
SO_2	7,35	g/s
NO_2	1,25	g/s

4. MODELACIÓN DE CONCENTRACIONES

4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO

Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un conjunto de ecuaciones matemáticas que representan el transporte, advección y difusión de contaminantes emitidos a la atmósfera. Estos modelos sirven para interpretar y predecir las concentraciones y depositación de contaminantes causadas por la dispersión y por el impacto de fuentes de distinto tipo. Estos modelos contienen los parámetros de dispersión y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica y la topografía.

Se aplicó el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), denominado AERMOD, ampliamente utilizado en simulación del transporte y dispersión de contaminantes en complejos industriales.

El modelo AERMOD, utiliza información meteorológica local y contiene ecuaciones para ajustar las velocidades del viento a distintas alturas. Es un modelo de estado estacionario (es decir, sus concentraciones varían en escalas de tiempo de 1 hora) el cual considera opciones para incluir la topografía y las fuentes de emisión.

La ecuación de distribución gaussiana emplea cálculos que requieren dos parámetros de dispersión (σ_y y σ_z) para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran viento abajo de la emisión. Esta ecuación determina las concentraciones de contaminantes en cualquier punto del espacio. Es aplicable a operaciones mineras, debido a que permite manejar distintos tipos de fuentes (puntuales, areales, fugitivas, open-pit ó tajos).

La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

$$c = \frac{Q}{u 2\pi\sigma_y\sigma_z} exp-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\left[exp-0.5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

Donde:

c	:	Concentración (g/m^3)
u	:	Velocidad del viento a la altura efectiva de la fuente (m/s)
Q	:	Emisión del contaminante (g/s)
σy	:	Coeficiente de dispersión horizontal (m)
σz	:	Coeficiente de dispersión vertical (m)
H	:	Altura efectiva de la emisión (m)
y	:	Coordenada horizontal, en la dirección del viento, tomando como origen el punto de emisión (m)
z	:	Coordenada vertical, tomando como origen el punto de emisión (m)

La ecuación se corrige por reflexión en el suelo y en la altura de mezcla, quedando de la forma:

$$c = \frac{Q}{u 2\pi \sigma_y \sigma_z} \left[\begin{array}{l} exp-0.5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2 + \\ \sum_{N=1}^{k} \left(exp-0.5\left(\frac{z-H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + \right. \\ \left. exp-0.5\left(\frac{z-H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 \right) \end{array} \right]$$

El modelo AERMOD entrega como resultados la concentración y la depositación de materia particulada. La depositación, expresada en masa de materia particulada por unidad de superficie y tiempo (g/m^2-año).

4.2 DOMINIO DE MODELACIÓN

Se ha definido un área de modelación que incluye las operaciones de la Mina de Caliza Potrerillo, y que abarca además las zonas sensibles de interés. Lo anterior se logra al considerar una superficie de 46x46 kilómetros. La Figura 4.1 muestra el dominio de modelación utilizado. El origen del dominio se encuentra en las coordenadas UTM-Huso 19 Sur, E: 366260 m y N: 6723595 m, que corresponden a la esquina SW. En la Figura 4.1 se indican además los puntos receptores representados por una cruz.

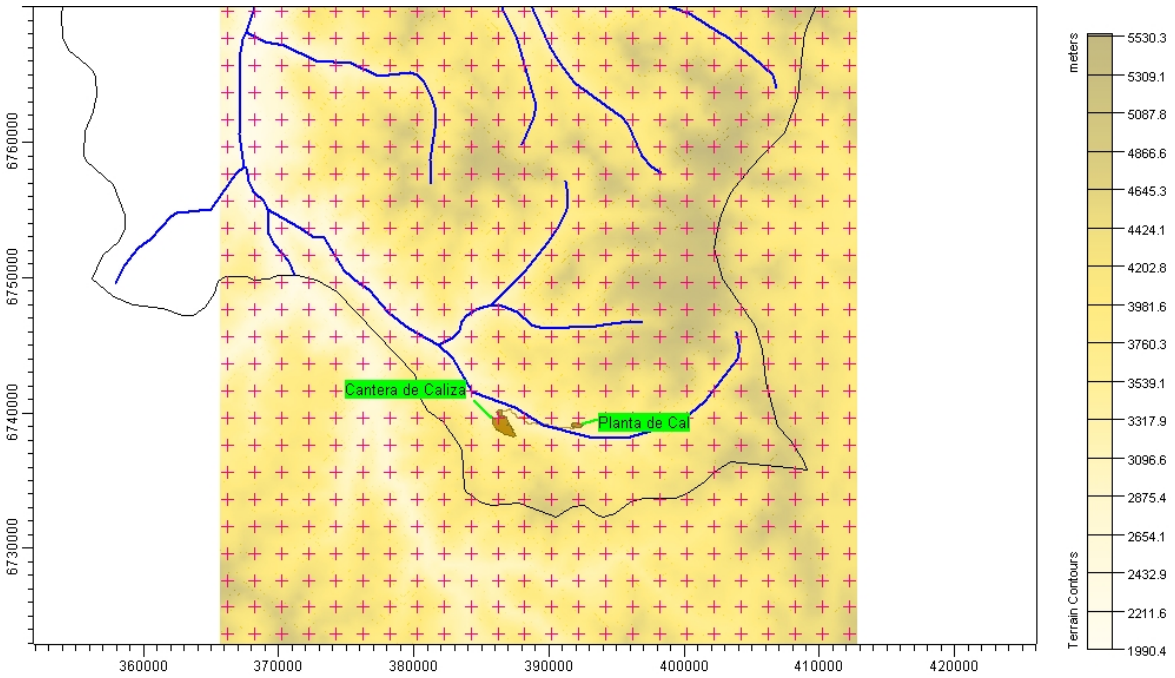

Figura 4.1: Dominio de Modelación

Los resultados de modelación se obtuvieron para una grilla general de 576 receptores, espaciados uniformemente cada 2 kilómetros, lo que permite estimar la distribución espacial de la depositación de particulado en el área de modelación. Además, se definieron grillas finas de receptores discretos con un espaciado de 50 m, quedando un total de 6.069 receptores en el área de estudio.

La topografía del lugar se obtuvo de los archivos digitales de terreno generada por el USGS y la información meteorológica se obtuvo de los registros de la Estación Aero Potrerillo del año 2005.

4.3 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

Los resultados se entregan para las dos fases del Proyecto (construcción y operación), indicando las concentraciones de PM10 esperadas durante la fase de construcción, y de PM10, SO_2, y NO_2, durante la fase de operación del Proyecto.

4.3.1 Fase de Construcción

º PM10

Esta fase durará seis meses, y consistirá básicamente en la construcción del camino entre la Mina y la Planta de Cal, así como las obras de movimiento de tierra para la instalación de la Planta de Cal. De acuerdo al inventario de emisiones, en esta fase se emitirán 98 kg/d de material particulado.

La Tabla IV.1 entrega las concentraciones máximas esperadas de PM10 según diseño de norma.

La Figura 4.2 muestra la distribución espacial del percentil 98 en 24 horas, de las concentraciones de PM10 esperada durante la Construcción del proyecto. De ella se observa que la máxima concentración de PM10 sería de 4 µg/m^3, y se obtendría en las cercanías de la construcción del camino. La Figura 4.3 muestra la distribución espacial de la concentración media anual del PM10, cuyo valor máximo resultó ser de 1 µg/m^3.

Tabla IV.1 Concentraciones de PM10 esperadas en PMC

Tiempo exposición	[PM10] µg/m^3
Percentil 98 en 24 horas	4
Media anual	1

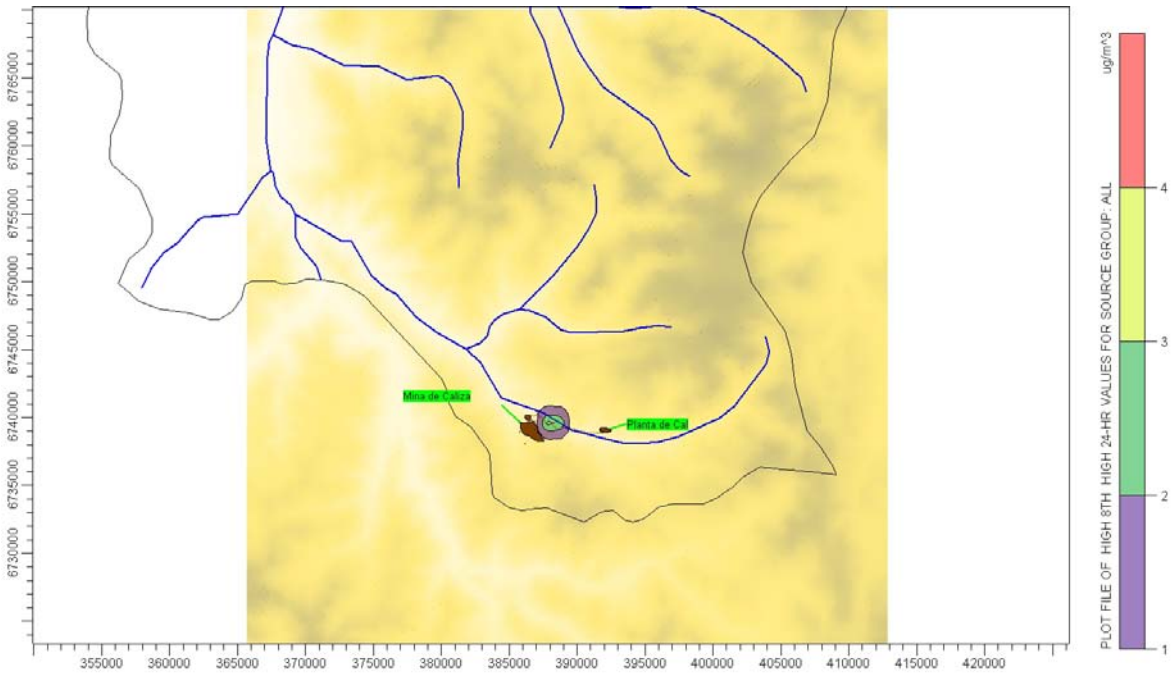

Figura 4.2 Distribución espacial de las concentraciones PM10 P98 24 horas

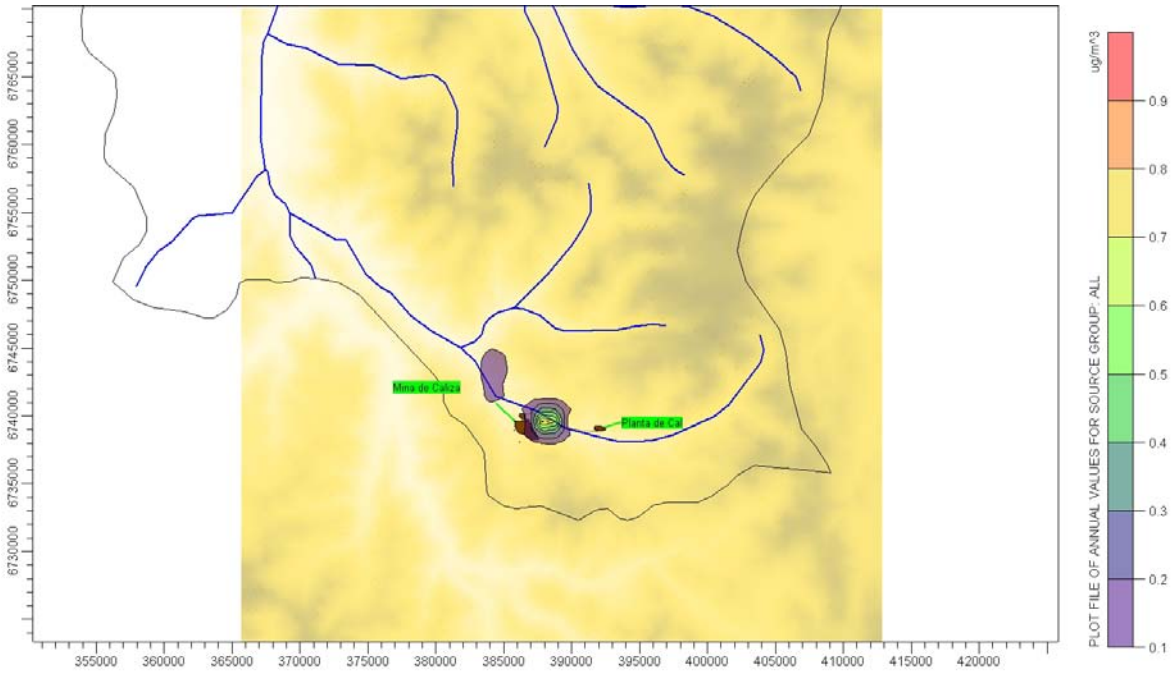

Figura 4.3 Distribución espacial de las concentraciones de PM10 Media anual

4.3.2 Fase de Operación

Esta fase durará 30 años, y consistirá básicamente en las operaciones de perforación, tronadura, y extracción de caliza en la mina, transporte de mineral a planta, y procesamiento del mineral para obtener la cal. De acuerdo al Plan minero, se escogió el año de mayor actividad, a fin de ser conservador en relación a la estimación de las emisiones. Para el año de mayor actividad (4^{to}) se obtiene un total de 800 kg/d de material particulado, 1.058 Kg/d de SO_2, y 180 Kg/d de NO_2.

º **PM10**

La Tabla IV.2 entrega las concentraciones máximas esperadas de PM10 según diseño de norma, durante la Operación del proyecto.

La Figura 4.4 muestra la distribución espacial del percentil 98 en 24 horas, de las concentraciones de PM10 esperada durante la fase de operación del Proyecto. De ella se observa que la máxima concentración de PM10 sería de 6 µg/m^3, y se obtendría a una a una distancia de 330 metros desde las obras del camino. La Figura 4.5 muestra la distribución espacial de la concentración media anual del PM10.

Tabla IV.2 Concentraciones de PM10 esperadas en PMC

Tiempo exposición	[PM10] µg/m^3
Percentil 98 en 24 horas	6
Media anual	3

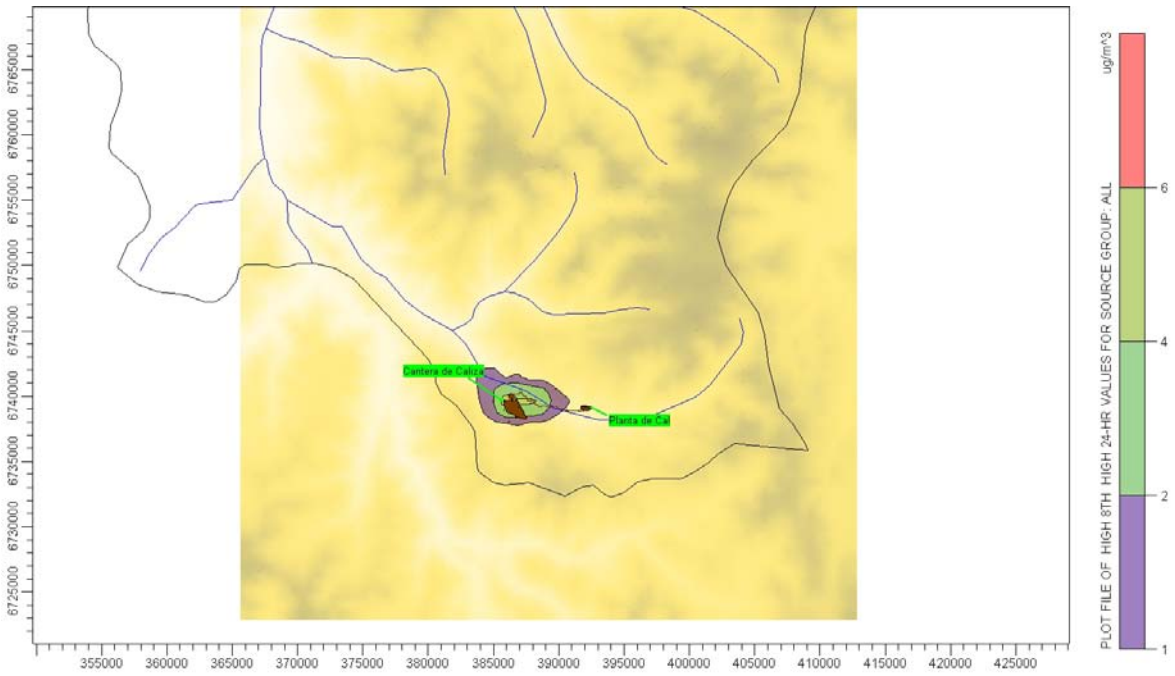

Figura 4.4 Distribución espacial de las concentraciones de PM10 P98 24 horas

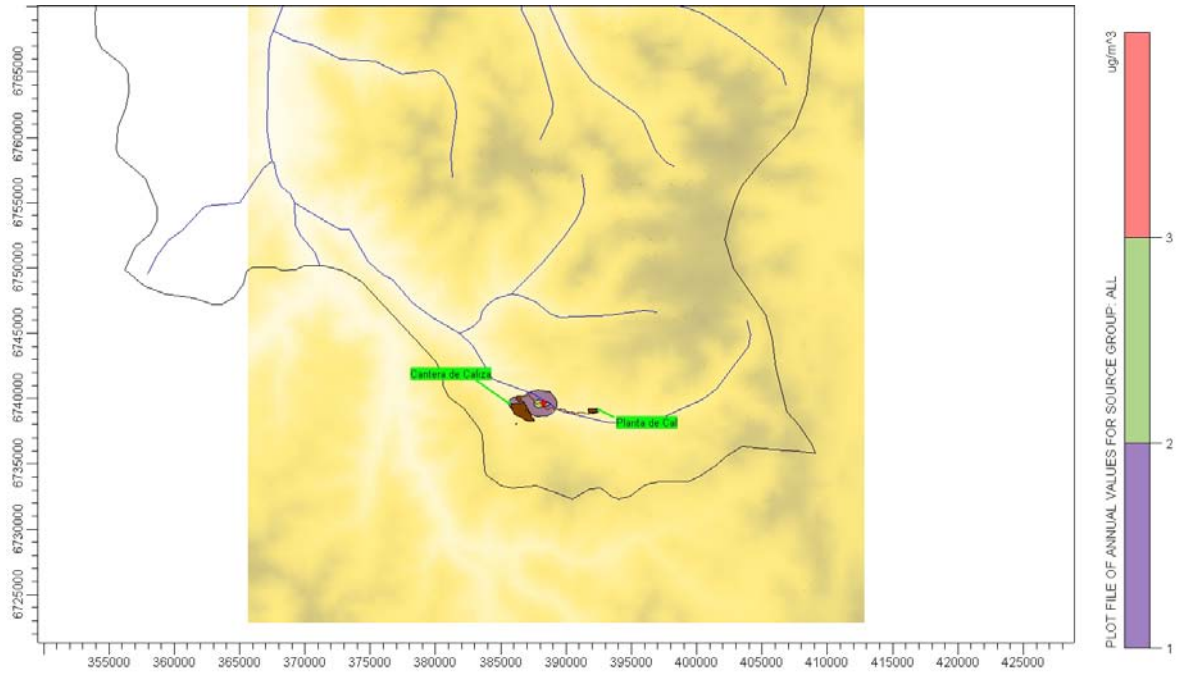

Figura 4.5 Distribución espacial de las concentraciones de PM10 Media anual

º **SO_2**

Se modeló para cada hora del año 2005, el transporte y dispersión de SO_2 debido al funcionamiento de los hornos de calcinación, y se determinaron las concentraciones de SO_2 para cada período normado (máximo horario, media en 24 horas y anual), en todo el dominio de modelación. La Tabla IV.3 muestra los resultados esperados en el punto de máxima concentración (PMC). Este punto resultó estar a 530 metros al Nor-Este de la chimenea.

Las Figuras 4.6 a 4.9 muestran la distribución espacial del SO_2 en sus métricas máxima en una hora, máxima en 24 horas, percentil 99 en 24 horas, y media anual.

Tabla IV.3 Concentraciones esperadas de SO_2 en PMC

Tiempo exposición	**$[SO_2]$ µg/m^3**
Máximo en 1-hora	607
Máxima en 24 horas	58
Percentil 99 en 24 horas	50
Media anual	10

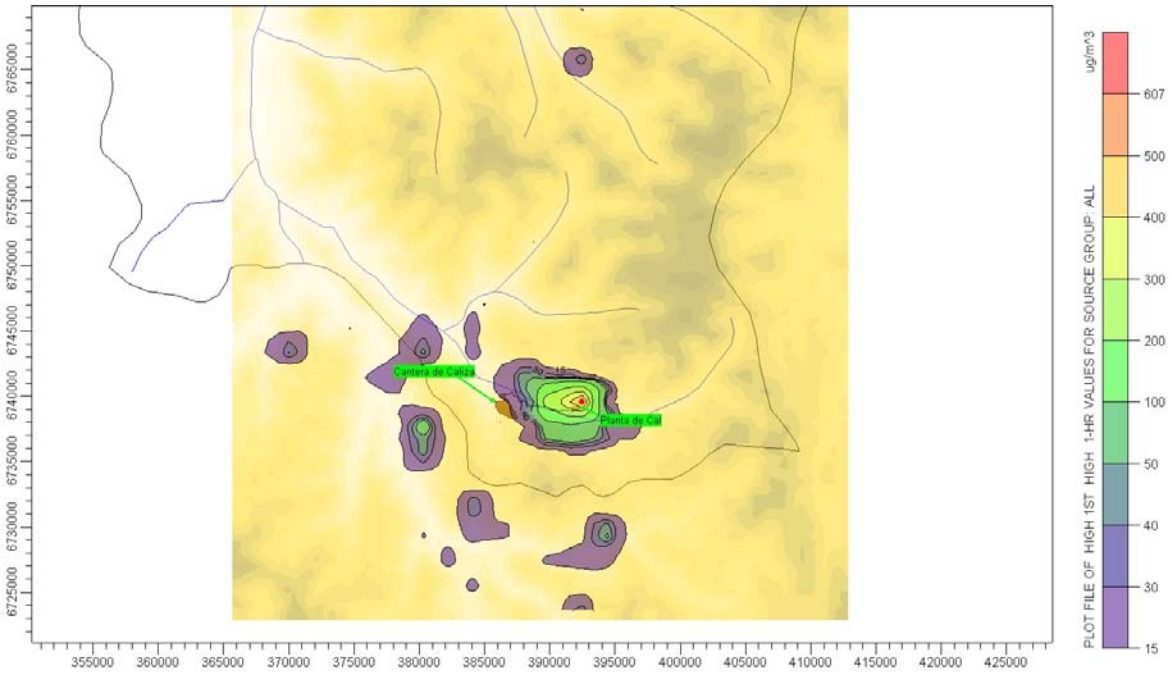

Figura 4.6 Distribución espacial de las concentraciones de SO_2 máximo 1 hora

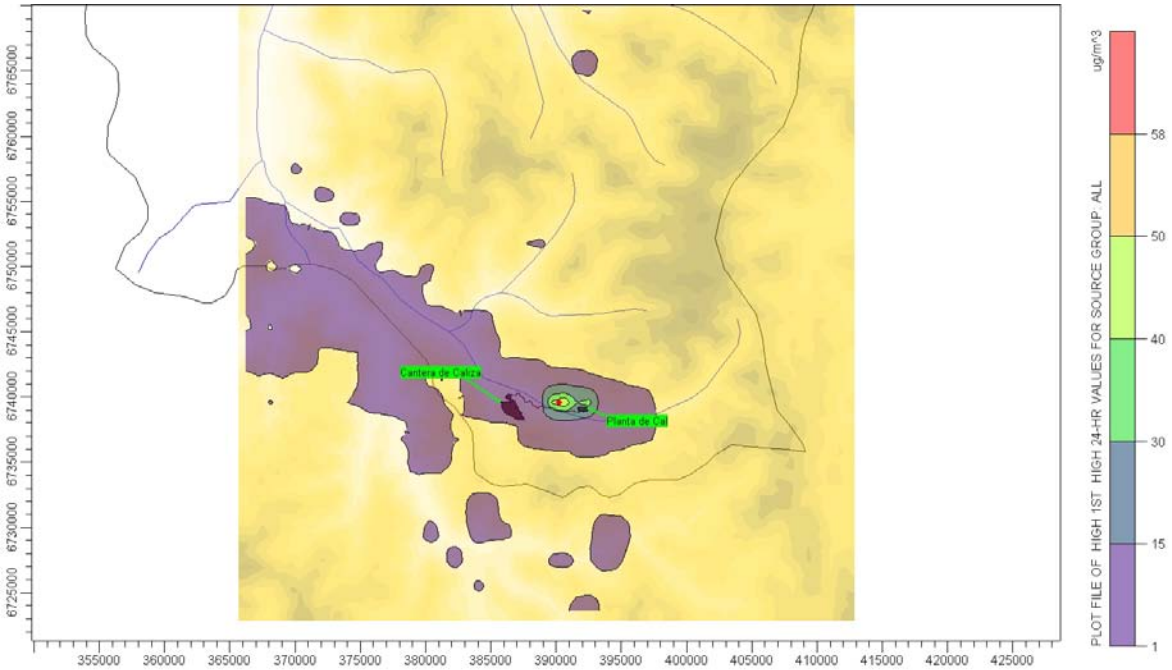

Figura 4.7 Distribución espacial de las concentraciones de SO_2 máximo 24 horas

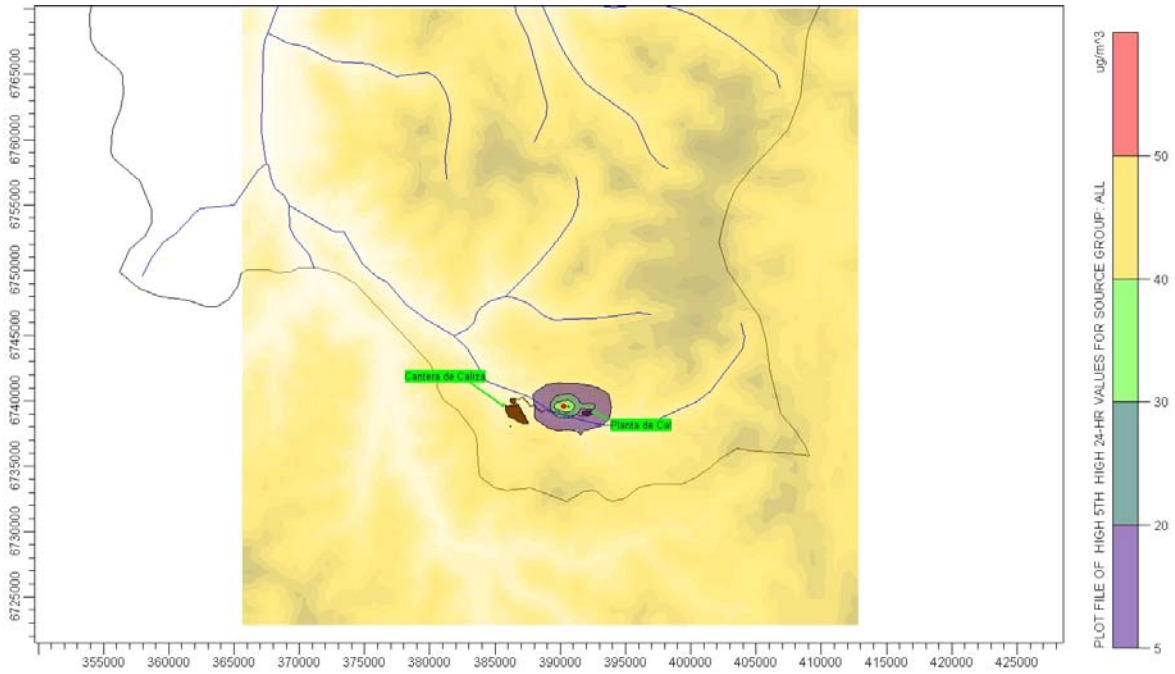

Figura 4.8 Distribución espacial de las concentraciones de SO_2 P99 24 horas

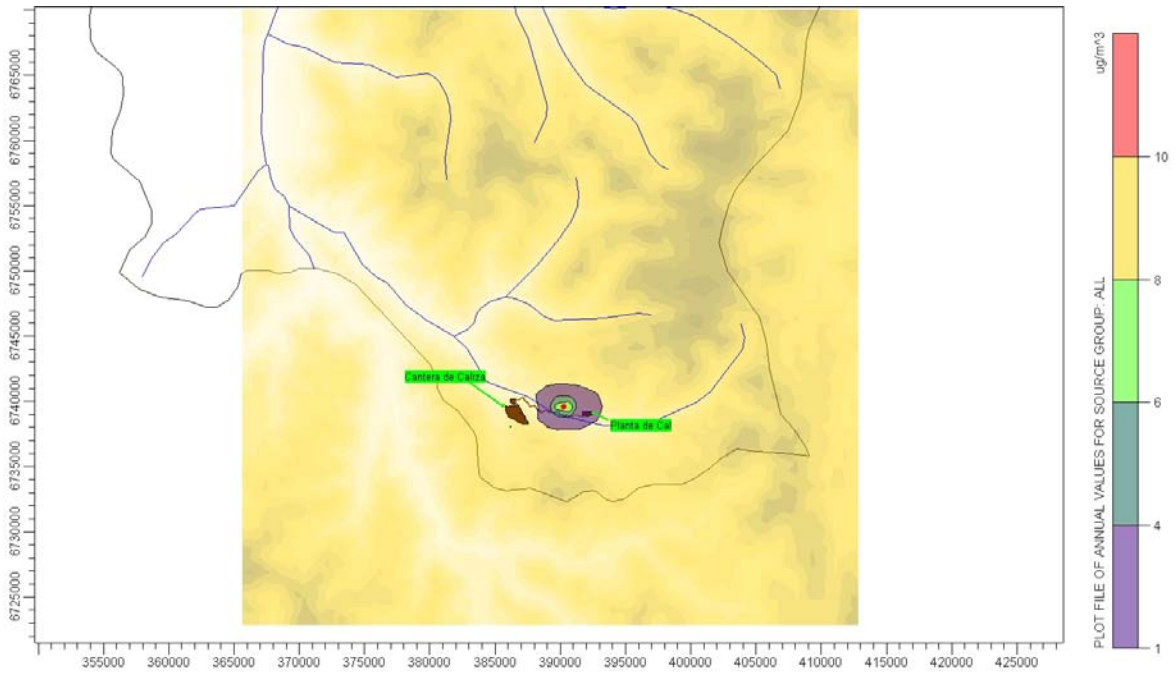

Figura 4.9 Distribución espacial de las concentraciones de SO_2 media anual

º **NO_2**

Se modeló para cada hora del año 2005, el transporte y dispersión de NO_2 debido al funcionamiento de los hornos de calcinación, y se determinaron las concentraciones de NO_2 para cada período normado (horario y anual), en todo el dominio de modelación. La Tabla IV.4 muestra los resultados esperados en el punto de máxima concentración (PMC). Este punto resultó estar a 530 metros al Nor-Este de la chimenea.

Las Figuras 4.10 a 4.11 muestran la distribución espacial del NO_2 en sus métricas percentil 99 en una hora y media anual.

Tabla IV.4 Concentraciones esperadas en PMC

Tiempo exposición	**$[NO_2]$ µg/m^3**
Percentil 99 en 1 hora	81
Media anual	1,7

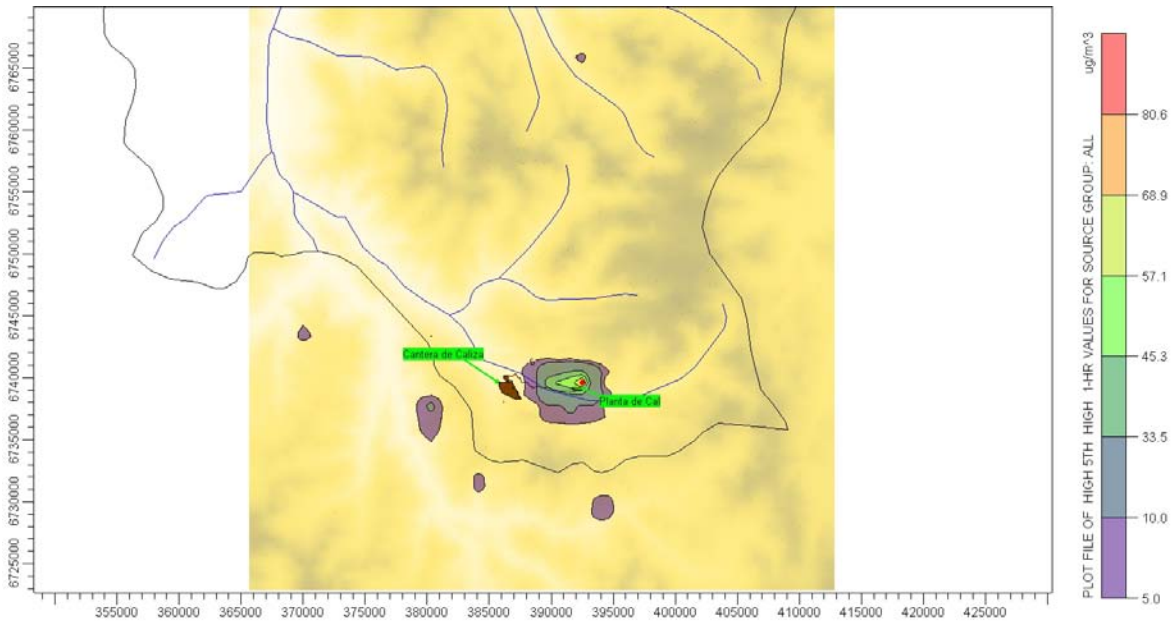

Figura 4.10 Distribución espacial de las concentraciones de NO_2 P99 1hora

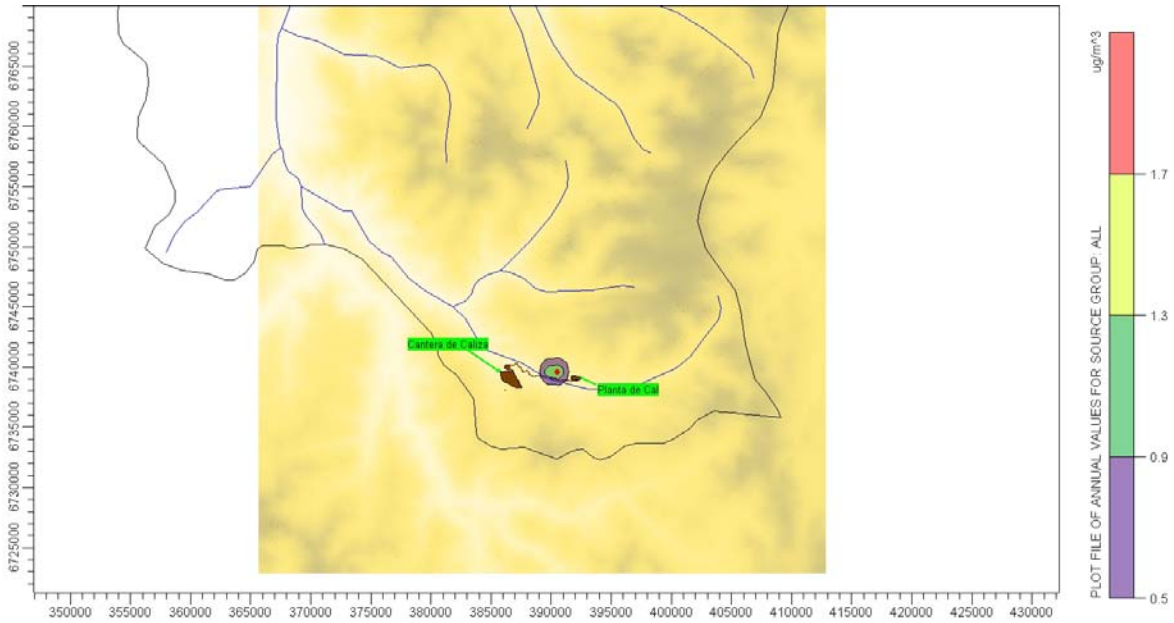

Figura 4.11 Distribución espacial de las concentraciones de NO_2 media anual

5. EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES

De acuerdo a mediciones realizadas cercanas al sitio del Proyecto, se encontró que las concentraciones de PM10 en 24 horas no superaron los 10 µg/m^3, por tanto se toma este valor como línea base del área del Proyecto. No existen registros de concentraciones de SO_2 y NO_2 en el área, sin embargo, dado que no existen fuentes que emitan estos contaminantes, se asume el nivel basal en cero.

Los valores obtenidos de las modelaciones, se comparan con la normativa vigente en Chile, la cual corresponde al DS 59/1998 y DS 45/2001, para el PM10, DS Nº 113/2003 y DS 185/1991 para el SO_2, y DS 114/2003 para el NO_2.

La Tabla V.1 resume las concentraciones debidas al aporte de las emisiones del Proyecto en su fase de construcción, los niveles basales, y el total (Línea Base + Proyecto) para cada contaminante, esperado en el punto de máxima concentración (PMC). Al comparar estas concentraciones con los tiempos de exposición y criterios de excedencia para las normas primarias, se desprende que el proyecto cumple con las normativas de calidad del aire.

La Tabla V.2 resume las concentraciones debidas al aporte del proyecto en su fase de operación, los niveles basales, y el total (Línea Base + Proyecto) para cada contaminante, en el punto de máxima concentración (PMC). Al comparar estas concentraciones con los tiempos de exposición y criterios de excedencia para las normas primarias, se desprende que el Proyecto, al igual que en la fase anterior, cumple con las normativas de calidad del aire.

La Tabla V.3 muestra la evaluación para las normas secundarias de SO_2. Dado que este gas se emitirá en forma significativa sólo durante la fase Operación, es esta la que se ha evaluado. De ella se observa que los niveles esperados esta muy por debajo de los valores normados, por tanto el proyecto cumple con esta norma de calidad del aire.

Tabla V.1 Concentración de Calidad del Aire para PM10: Fase de Construcción

	PM10	
	P98 24-horas	**Media Anual**
Línea Base	10	10
Proyecto	4	1
Total esperado	**14**	**11**
Norma	150	50
% de la Norma	**9,3**	**22,0**

Tabla V.2 Evaluación de la Calidad del Aire: Normas Primarias
Fase de Operación

	PM10		SO_2		NO_2	
	P98 24-horas	Media Anual	P99 24-horas	Media Anual	P99 24-horas	Media Anual
Línea Base	10	10	0	0	0	0
Proyecto	6	3	50	10	81	1,7
Total esperado	**16**	**13**	**50**	**10**	**81**	**1,7**
Norma	150	50	250	80	400	100
% de la Norma	**10,7**	**26,0**	**20,0**	**12,5**	**20,3**	**1,7**

Tabla V.3 Evaluación de la Calidad del Aire: Normas Secundarias
Fase de Operación

	SO_2		
	Máximo 1-hr	Máximo 24-horas	Media Anual
Línea Base	0	0	0
Proyecto	607	58	10
Total esperado	**607**	**58**	**10**
Norma	1000	365	80
% de la Norma	**60,7**	**15,9**	**12,5**

6. CONCLUSIONES

Este estudio ha evaluado los efectos sobre la calidad del aire, debido a la construcción y operación del Proyecto de explotación de caliza y planta de cal.

Para esto se ha utilizado el modelo de la USEPA denominado AERMOD, el cual entrega las concentraciones de gases y partículas según los tiempos normados en los estándares de calidad del aire en Chile. El modelo requiere del ingreso de parámetros locales, tales como las fuentes de emisión, parámetros meteorológicos, y la topografía del terreno.

Durante la fase de construcción el principal contaminante será el PM10, debido a que en esta fase el movimiento de material es la fuente principal. Se generarán 98 kg/d de PM10. Las concentraciones máximas esperadas de este contaminante resultaron ser de 4 $\mu g/m^3$ como métrica percentil 98 en 24 horas y 1 $\mu g/m^3$ como media anual, valores que están bajo los estándares de calidad, aún sumando un nivel de fondo de 10 $\mu g/m^3$, que es el máximo registrado en la zona.

Durante la operación, se espera una emisión de 800 kg/d de PM10 debido a las operaciones de la mina (perforaciones, tronadura, carguío), tránsito vehicular, y emisiones de los hornos de cal. Además, se esperan también una emisión de 1.058 kg/d de SO_2 y 180 kg/d de NO_2 debido al funcionamiento de los hornos de cal. Por tal motivo se realizaron modelaciones para cada uno de estos contaminantes del aire. Las máximas concentraciones de PM10 resultaron ser de 6 $\mu g/m^3$ y 3 $\mu g/m^3$ para el percentil 98 en 24 horas y media anual, respectivamente. El SO_2 máximo en una hora resultó ser de 607 $\mu g/m^3$, la máxima en 24 horas, 58 $\mu g/m^3$, el percentil 99 en 24 horas 50 $\mu g/m^3$, y la media anual 10 $\mu g/m^3$. Todos estos valores están por debajo de los máximos permisibles por las normas primarias y secundarias de SO_2. Finalmente, para el NO_2, se espera un máximo de 81 $\mu g/m^3$, y 1,7 $\mu g/m^3$ para la media anula, valores bajo los 400 $\mu g/m^3$ y 100 $\mu g/m^3$ que establece la norma de calidad para este contaminante.

Todas las concentraciones máximas ocurrirán a poca distancia de las faenas, debido a que en su mayoría corresponden a emisiones fugitivas. La única excepción corresponde a las emisiones de SO_2 y NO_2 desde los hornos de cal, sin embargo, las máximas concentraciones se esperarían a 530 metros desde los hornos.

Los resultados indican que el Proyecto es ambientalmente factible desde el punto de vista de su impacto sobre la calidad del aire, debido a que las concentraciones esperadas, en todas sus fases (construcción y operación), son menores a los máximos permisibles por las normativas vigentes (primarias y secundarias).

MODELACIÓN DE DEPOSITACIÓN DE POLVO MINA DE CALIZA POTRERILLO

Desarrollado Por:

ASESORÍAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PEDRO ALEX SANHUEZA HERRERA E.I.R.L.

Para:

MWH Chile

Octubre 2008

ESTUDIO DESARROLLADOR POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.	Jefe de Proyecto
Ing. Mónica Torreblanca V.	Modelación de Calidad del Aire
Ing. Daniela Yáñez C.	Inventario de Emisiones

RESUMEN EJECUTIVO

El Proyecto de explotación de la Mina de Caliza Potrerillo se localizará en la cordillera de Los Andes, en la Región de Atacama. Producto de las actividades mineras, se generarán emisiones de material particulado a la atmósfera, las cuales serán transportadas y dispersadas por los vientos y eventualmente depositadas en áreas cercanas a la faena. Por tal motivo, se realizó una modelación para estimar la depositación de material particulado, en el entorno de las operaciones mineras.

Para la modelación de depositación, se analizaron, estimaron y espacializaron las emisiones de material particulado total, debidas a la faena minera y planta de cal, tanto para la fase de construcción como de operación. Luego se procesaron los registros de las variables meteorológicas que influyen en la dispersión y transporte de contaminantes atmosféricos. Posteriormente se definió el dominio de modelación, el cual incluye todas las operaciones generadoras de emisión de polvo, y las zonas sensibles a evaluar.

Finalmente, se estructuraron los archivos de ingreso al modelo AERMOD y se obtuvo la tasa de depositación de material particulado, expresada en términos de g/m^2-período. Este valor se utiliza posteriormente para determinar la profundidad del polvo, en términos de los mm depositados. Estos cálculos se realizaron tanto en la fase de construcción como operación de la Mina de Caliza Potrerillo.

Los resultados indican que a 2 km desde las obras del Proyecto, ya no sería detectable el polvo depositado.

Al comparar, a modo de referencia, los resultados obtenidos de la modelación del particulado sedimentable en el área del proyecto, con el DS Nº 4/1992 del Ministerio de Agricultura, el cual norma la calidad del aire para material particulado sedimentable en la Cuenca del Huasco, se obtiene que el Proyecto, en cualquiera de sus fases cumple esta norma secundaria, siendo los valores máximos esperados de 55 mg/m^2-día, respecto de 150 mg/m^2-d, como valor de referencia.

Por lo anterior, se desprende que el Proyecto no genera efectos adversos sobre el entorno en general, toda vez que los aportes de sus emisiones están bajo la norma de referencia de material sedimentable, y su efecto es perceptible sólo en el entorno inmediato a las obras y faenas.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 2

1. INTRODUCCIÓN 4

Etapa 1 Área de Estudio y Análisis Meteorológico 4
Etapa 2: Estimación de las Emisiones de material particulado 4
Etapa 3: Modelación Depositación de Partículas 4
Etapa 4: Evaluación de Resultados 5
1.1 Objetivo 5
1.2 Localización del Proyecto en Evaluación 5
1.3 Definición del Área de Estudio 7

2. ANÁLISIS METEOROLÓGICO 9

2.1 Análisis de las Variables Meteorológicas 9

3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO 15

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE EMISIONES 15
3.1.1 Procesos en Fase de Construcción 15
3.1.2 Procesos en Fase de Operación 16
3.2 CICLOS DE OPERACIÓN Y NIVELES DE ACTIVIDAD 18
3.2.1 Niveles de actividad en Fase de Construcción 18
3.2.2 Niveles de actividad en Fase de Operación 18
3.3 ACCIONES RESPECTO DE EMISIONES 22
3.3.1 Procesos en Fase de Construcción 22
3.3.2 Procesos en Fase de Operación 22
3.4 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES 23
3.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES 28
3.5.1 Fase de Construcción 28
3.5.2 Fase de Operación 29

4. MODELACIÓN DE DEPOSITACION DE PARTÍCULAS 31

4.1 Descripción del Modelo Utilizado 31
4.2 Dominio de Modelación 33
4.3 Resultados de la Modelación 34

5. EVALUACION 40

6. CONCLUSIONES 41

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de explotación de la Mina de Caliza Potrerillo generará emisiones de material particulado a la atmósfera, las cuales serán transportadas y dispersadas por los vientos y eventualmente depositadas en áreas cercanas a la faena. Por tal motivo, se realizó una modelación para estimar la depositación de material particulado, en el entorno de las operaciones mineras.

Para el desarrollo de la evaluación, se han definido cuatro etapas principales:

Etapa 1: Área de Estudio y Análisis Meteorológico
Etapa 2: Estimación de las Emisiones de material particulado
Etapa 3: Modelación de la Depositación de Partículas
Etapa 4: Evaluación de resultados

Etapa 1 Área de Estudio y Análisis Meteorológico

En esta etapa se definió el alcance geográfico-espacial del área a evaluar. Esto básicamente consideró el tipo y localización de las actividades del Proyecto (fuentes emisoras), así como los lugares sensibles a evaluar.

Se procesaron además, las variables meteorológicas tales como, velocidad y dirección del viento, temperatura, y radiación solar, registradas durante el año 2005, en la estación Aero Potrerillo, enfatizando el análisis de rosas de viento, lo que permitió caracterizar el transporte de masas de aire en la zona.

Etapa 2: Estimación de las Emisiones de material particulado

Para el desarrollo del Inventario de Emisiones de partículas en la fase de construcción y operación, se procesó la información recopilada, en relación a las fuentes emisoras y sus niveles de actividad, en conjunto con las horas de operación, toneladas procesadas, consumo de combustible, entre otros parámetros de las fuentes identificadas.

El cálculo de emisiones se basó en la utilización de Factores de Emisión, contenidos en el documento desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (USEPA), denominado AP-42, en su última actualización.

El inventario de emisiones contiene información sobre el tipo de fuente, la emisión de material particulado, expresado en toneladas al año, y el área o fuentes de emisión responsable de estas emisiones.

Etapa 3: Modelación Depositación de Partículas

Esta actividad correspondió a la aplicación de un modelo para estimar el transporte, dispersión y depositación del particulado, emitido a la atmósfera en la fase de construcción y operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo. El sistema de modelación seleccionado, de acuerdo al tipo de fuentes y entorno a modelar, fue el AERMOD, el cual contiene las ecuaciones y capacidad para simular el transporte, dispersión y depositación de particulado primarias en terreno complejo y operaciones mineras.

Para el desarrollo de esta etapa, se consideró como input el inventario de emisiones, debidamente temporalizado y espaciado, datos de topografía y registros meteorológicos.

Etapa 4: Evaluación de Resultados

Una vez obtenida la depositación de partículas en el área de influencia para las fases de construcción y operación, se evaluó la masa de material particulado depositada por unidad de superficie, con sus correspondientes salidas gráficas de la distribución espacial de la depositación de partículas. Además, se estima la depositación expresada términos de espesor (mm) de material particulado depositada por unidad de tiempo.

1.1 Objetivo

El objetivo de este estudio es modelar y evaluar el efecto que tendrá la construcción y operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo, sobre las áreas cercanas, en términos del espesor de partículas depositadas sobre ellos.

1.2 Localización del Proyecto en Evaluación

La Mina de Caliza Potrerillo, se ubicará en el valle del río Potrerillo, en la Cordillera de Los Andes, Región de Atacama, entre los 3258 y 4123 msnm.

El proyecto contempla la extracción de caliza a cielo abierto a través de actividades de tronaduras, carguío, transporte de mineral, y acopio de lastre en depósito. El mineral extraído será trasladado a la Planta de Cal, ubicada a 7 kilómetros del yacimiento, donde la caliza será sometida a procesos de chancado, molienda y calcinación para producir cal.

La Figura 1.1, muestra la localización y los componentes de la Mina de Caliza Potrerillo.

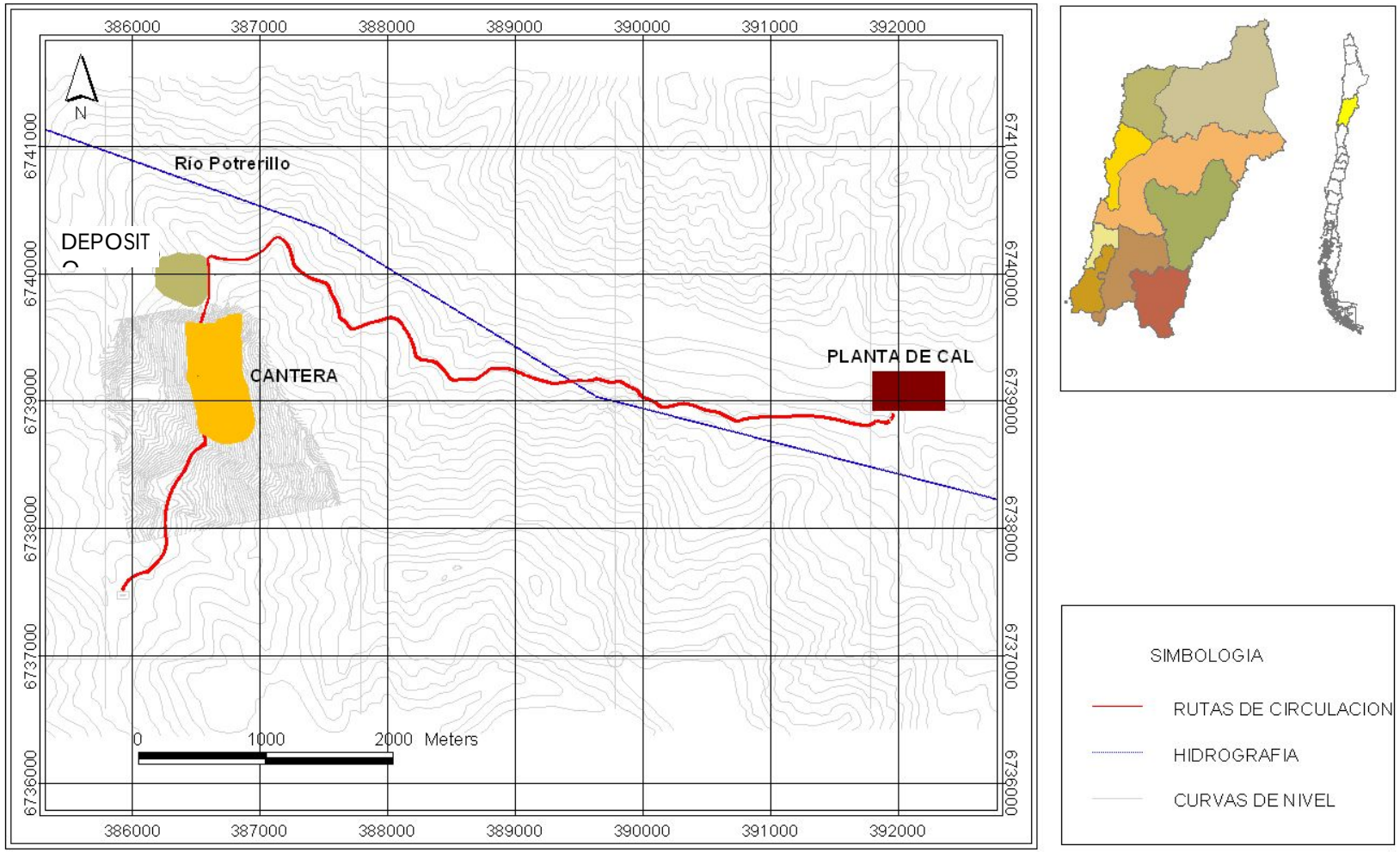

Figura 1.1 Componentes Mina de Caliza Potrerillo

1.3 Definición del Área de Estudio

Para determinar el área de estudio del proyecto, se consideraron todas aquellas zonas donde se localizan fuentes de emisión de partículas, además de aquellos receptores que representan zonas sensibles para la evaluación, como el valle del río Potrerillo.

Con esto se obtuvo un dominio o área de estudio de 46 Km x 46 Km, centrado en las faenas mineras, abarcando además la estación meteorológica Aero Potrerillo y cordillera cercana. La Figura 1.2, muestra el área de estudio de la Mina de Caliza Potrerillo.

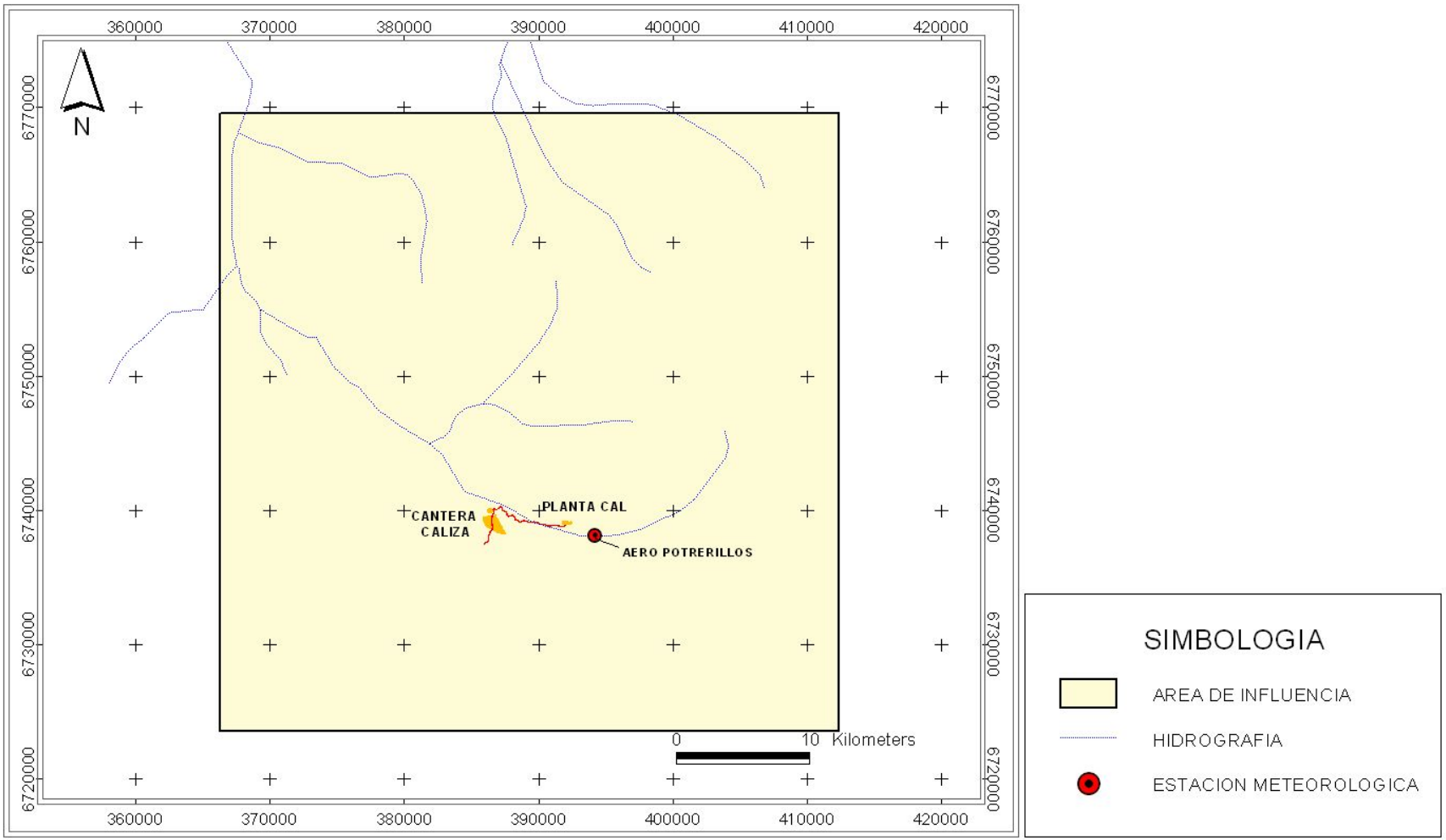

Figura 1.2 Área de Estudio Proyecto Mina de Caliza Potrerillo

2. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

La meteorología utilizada en este estudio, corresponde a los registros obtenidos de la Estación Aero Potrerillo, ubicada a dos kilómetros al sur del sitio del Proyecto. Esta estación se localiza en las coordenadas UTM, Este 394.147 m y Norte 6.738.003 m, según Datum WGS-84, Huso 19 Sur.

2.1 Análisis de las Variables Meteorológicas

- Temperatura

La Tabla II.1 muestra para cada mes del año, la temperatura del aire (ºC) en el área del Proyecto. De ella se observa un patrón caracterizado por meses fríos entre Mayo y Septiembre, y meses más cálidos en primavera-verano. La amplitud térmica (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) es característica de zonas montañosas, con mínimos bajo cero y máximas que exceden los 25 grados.

La variación horaria de la temperatura se muestra en la Figura 2.1. En ella se ha graficado la media, máxima, y mínima para cada hora del día. En general, las temperaturas se mantienen bajas (menores a 5 ºC) hasta las 8:00 AM, para luego ir ascendiendo gradualmente hasta llegar a los 13ºC a las 15:00 horas, cuando comienza a descender nuevamente hasta alcanzar valores de 5ºC. Este patrón de temperaturas incide fuertemente en la formación de atmósferas estables nocturnas que impiden la dispersión de contaminantes.

Tabla II.1 Estadística Mensual de la Temperatura del aire

Mes	Temperatura (ºC)		
	Media	Mínima	Máxima
Enero	13,2	-0,9	26,0
Febrero	12,9	4,9	23,6
Marzo	10,9	0,7	23,6
Abril	7,4	-2,5	20,3
Mayo	3,2	-6,6	18,0
Junio	3,4	-4,1	13,4
Julio	2,5	-13,1	17,9
Agosto	4,2	-9,9	17,2
Septiembre	2,6	-10,4	15,3
Octubre	5,9	-3,8	18,4
Noviembre	9,5	0,7	19,2
Diciembre	12,6	1,2	24,0

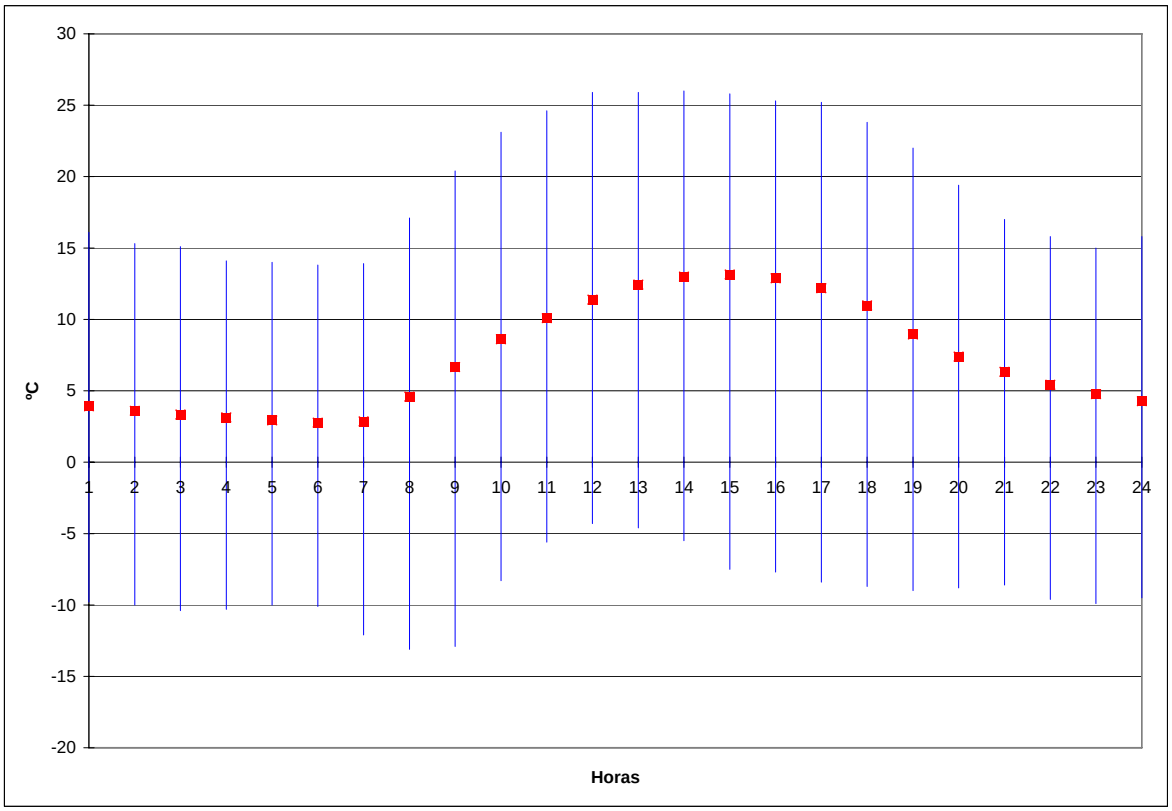

Figura 2.1 Distribución horaria de la Temperatura (ºC)

- Velocidad del viento

La velocidad del viento en el área del Proyecto se caracteriza por tener un comportamiento relativamente homogéneo durante todo el año. La Tabla II.2 muestra para cada mes del año, los valores promedio, mínimos, y máximos de la velocidad del viento. De la tabla II.2 se desprende que en todos los meses existen ráfagas de viento (vientos mayores a 10 m/s) y con mínimas cercanas a 0 m/s. Este patrón es característico de zonas montañosas.

La distribución horaria de la velocidad del viento se muestra gráficamente en la Figura 2.2. En ella se ha graficado la velocidad del viento promedio y los valores máximos y mínimos para cada hora. De ella se observa que en promedio las velocidades del viento tienen a aumentar a partir de las 10:00 de la mañana, hasta llegar a un máximo a las 16:00 horas, para luego descender nuevamente. Sin embargo, las velocidades altas ocurren a cualquier hora del día.

Tabla II.2 Estadística Mensual de la Velocidad del viento

Mes	Velocidad del viento (m/s)		
	Media	Mínima	Máxima
Enero	4,80	0,05	17,92
Febrero	4,14	0,02	12,29
Marzo	4,22	0,07	14,33
Abril	3,65	0,00	13,58
Mayo	4,31	0,54	16,55
Junio	3,08	0,19	11,53
Julio	3,76	0,21	15,00
Agosto	5,19	0,45	19,17
Septiembre	4,96	0,33	16,22
Octubre	5,68	0,08	17,40
Noviembre	4,97	0,01	16,37
Diciembre	4,80	0,05	15,36

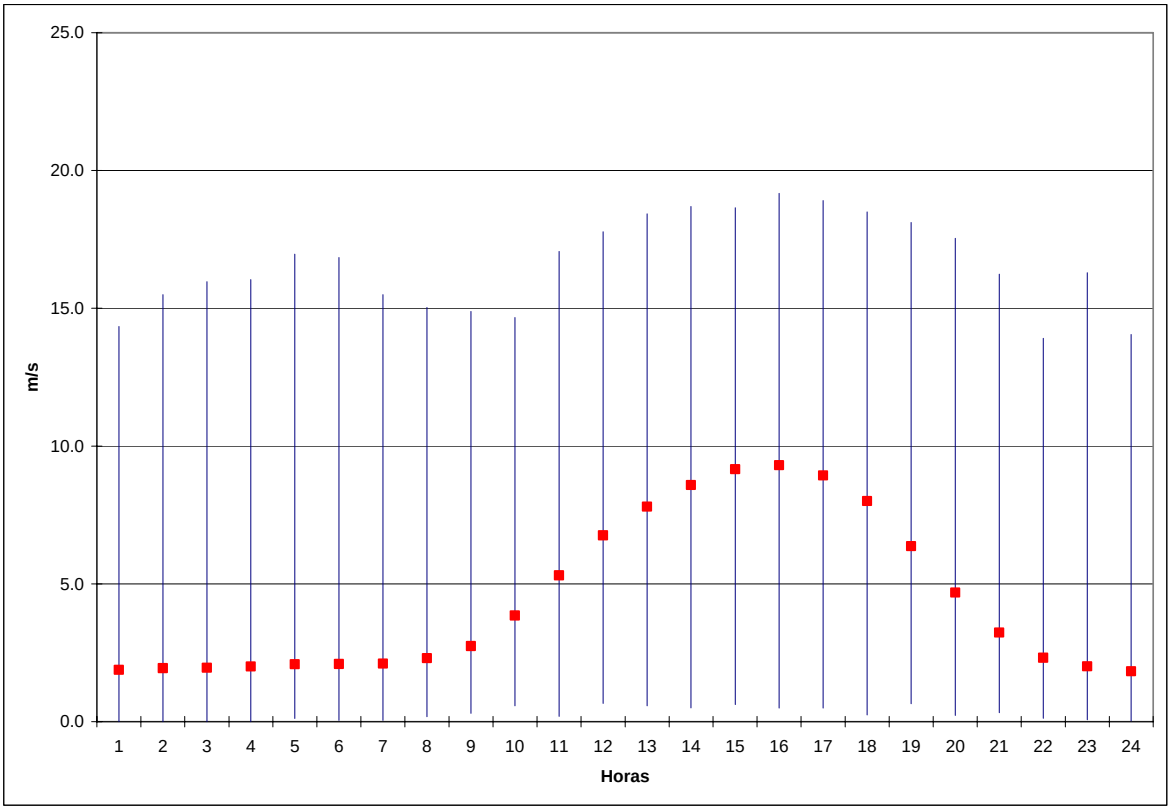

Figura 2.2: Distribución horaria de la velocidad del viento

- Dirección del Viento

La dirección del viento se analiza a través de las rosas de viento compuestas, que entregan la frecuencia de ocurrencia de direcciones de viento asociadas a rangos de velocidad (magnitud del vector viento).

La rosa de viento anual (Figura 2.3), indica que en el área del Proyecto los vientos son predominantemente del Oeste y Sur-Este. Con un vector resultante de 219º. Se presentan condiciones de calma en un 6.3% del tiempo, y la velocidad promedio del viento es de 4,4 m/s.

Durante el día, el viento es predominantemente del Oeste, con pocas calmas (0,6%), y con velocidad promedio bastante alta (6,6 m/s). Estas condiciones son favorables para la dispersión de particulado desde el área del Proyecto.

Durante las noches, los vientos provienen principalmente desde el Sur-Este, con componentes menores desde el Oeste. Son vientos débiles, en promedio con 2,7 m/s, y un alto porcentaje de calmas (11,0%). Estas condiciones nocturnas limitan la dispersión de contaminantes emitidos desde fuentes localizadas en el área del Proyecto.

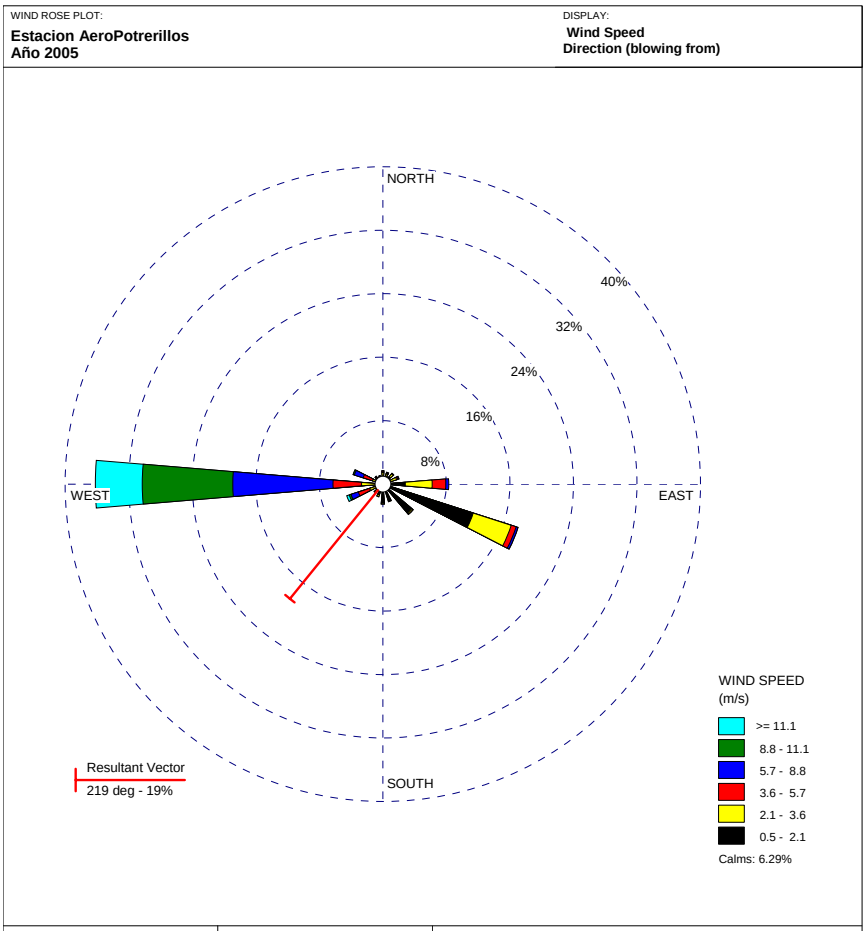

Figura 2.3: Rosa de viento anual en el área del Proyecto

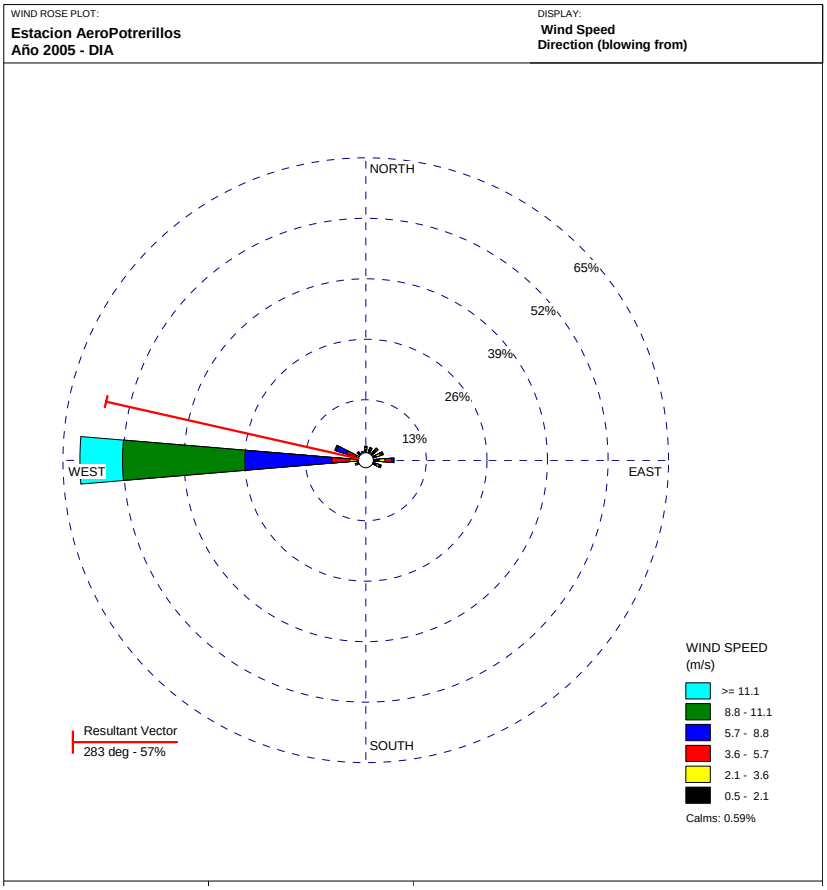

Figura 2.4: Rosa de viento durante el día, en el área del Proyecto

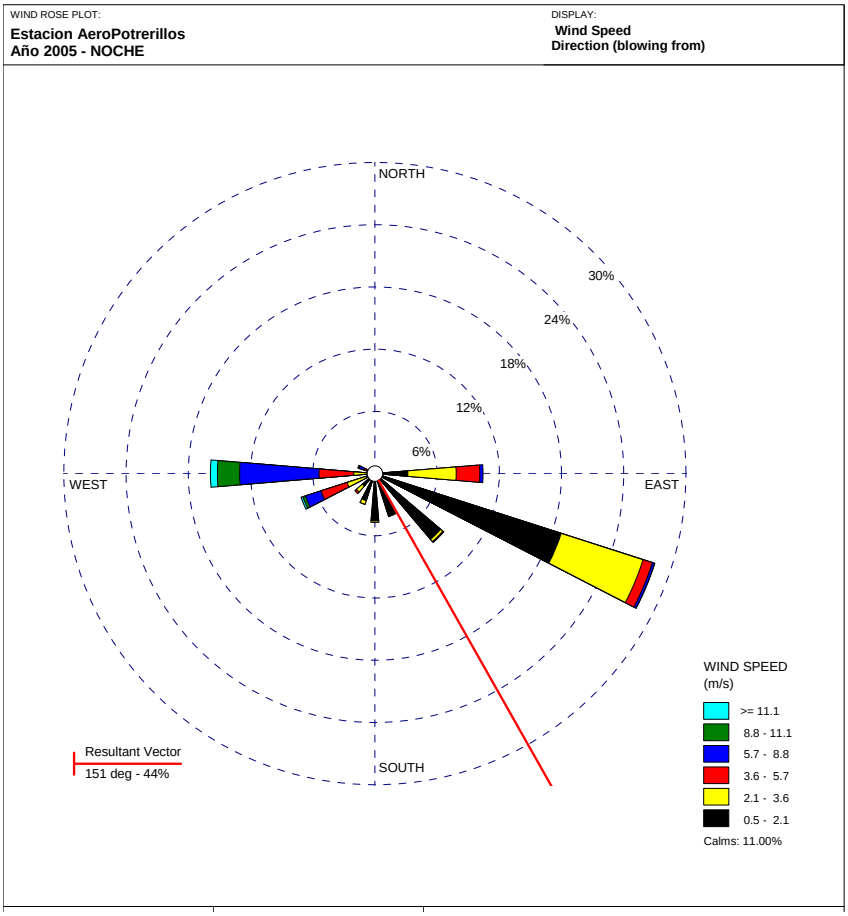

Figura 2.5: Rosa de viento durante la Noche, en el área del Proyecto

3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

En esta sección se detallan todas las actividades realizadas para estimar el Inventario de Emisiones de partículas debido a las fases de construcción y operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo. Para esto, en primera instancia se analizó en forma general el proceso extractivo y productivo de las faenas y luego se recopiló la información necesaria de todas las actividades, fuentes de emisión de material particulado, niveles de actividad y ciclos de operación.

Con los datos recopilados, se procedió a estimar el Inventario de Emisiones, mediante la metodología de Factores de Emisión. Estos factores corresponden a los definidos por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (US-EPA) en el documento AP-42 en su última actualización.

Debido a la dinámica de las operaciones de una mina, el inventario de emisiones varía casi a diario, sin embargo, y para fines de la evaluación del impacto de las operaciones sobre la depositación de partículas, para la fase de operación se estimó un inventario de emisiones que refleje la peor situación de emisión, asociado a los máximos niveles de explotación de la Mina de Caliza. De esta forma, el año considerado para la evaluación fue el año 4, que corresponde al año que se contempla la máxima extracción de mineral que asciende a 1,6 millones de toneladas al año.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE EMISIONES

De acuerdo a las actividades consideradas en el proyecto, la estimación de emisiones se realizó para cada una de las distintas fases, es decir, se estimó la emisión en la fase de construcción y operación.

3.1.1 Procesos en Fase de Construcción

En la fase de construcción del Proyecto, se espera principalmente la generación de material particulado debido a emisiones fugitivas resultantes de excavaciones y movimientos de tierra, circulación de vehículos en caminos no pavimentados, asociadas a la construcción del camino que unirá la Mina de Caliza y la Planta de Procesamiento de Cal.

La fase de construcción del Proyecto queda dividida en dos áreas responsables de las emisiones de material particulado: construcción del Camino y construcción de Planta de Cal. Cabe notar que la mina no contempla una etapa de prestripping, por tanto no se considera en este cálculo. En la Tabla III.1, se detallan las distintas fuentes y tipos de emisión, por área responsable en la fase de construcción del Proyecto. Cabe notar que las emisiones durante esta fase se deben principalmente a los movimientos de tierra, siendo despreciable las emisiones debidas a la construcción de obras civiles y montaje de equipos.

Tabla III.1 Clasificación de Fuentes de Emisión, Fase de Construcción

Área	Fuente de Emisión	Tipo de Emisión
CONSTRUCCIÓN CAMINO	Tronaduras	Fugitiva
	Movimiento de Material	Fugitiva
	Transferencia de Material	Fugitiva
	Combustión Interna de Motores	Móvil
	Tránsito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
	Erosión Eólica de Material	Fugitiva
CONSTRUCCIÓN PLANTA DE CAL	Movimiento de Material	Fugitiva
	Transferencia de Material	Fugitiva
	Combustión Interna de Motores	Móvil
	Tránsito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
	Obras civiles	Fugitiva *
	Montaje de equipos	Fugitiva *

* Emisiones no significativas

3.1.2 Procesos en Fase de Operación

Debido a las actividades asociadas a la explotación de mineral, las emisiones de partículas durante la Fase de operación del Proyecto, serán principalmente del tipo fugitivas, ya que contempla actividades como perforaciones, tronaduras, carguío y transporte de mineral y lastre. El mineral extraído, será trasladado a través de camiones convencionales a la Planta de Cal, donde mediante el proceso de chancado, molienda y calcinación se producirá cal.

Las fuentes de emisión identificadas en esta fase, se agruparon en tres áreas responsables: Mina de Caliza, Servicios a faenas y Planta de Procesamiento. El área de la Mina, involucra a todas las actividades y fuente de emisión asociadas a la extracción, carguío y transporte de mineral. El área de Servicios a Faenas, considera al transito de vehículos y maquinarias que trasladan servicios, personal y materiales desde las Plantas de Procesamiento a la Mina. El área de Planta de Procesamiento, contiene las actividades derivadas de la Planta de Chancado y Calcinación.

La Tabla III.2, resumen las distintas fuentes y tipos de emisión por área responsable durante la fase de operación.

Tabla III.2 Clasificación de Fuentes de Emisión, Fase de Operación

Área	Actividad	Fuente de Emisión	Tipo de Emisión
MINA DE CALIZA	Perforaciones	Perforaciones	Fugitiva
		Combustión Interna Maquinaria	Móvil
		Movimiento de Maquinaria	Fugitiva
	Tronaduras	Tronaduras	Fugitiva
		Combustión Interna Maquinaria	Móvil
		Movimiento de Maquinaria	Fugitiva
	Carguío	Movimiento de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Transferencia de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Combustión Interna Cargadores Frontales	Móvil
	Transporte de Mineral	Transferencia de Mineral Camiones Mineros	Fugitiva
		Combustión Interna Camiones Mineros	Móvil
		Tránsito de Camiones Mineros	Fugitiva
	Depósito de Lastre	Movimiento de Mineral Cargadores Frontales	Fugitiva
		Combustión Interna Cargadores Frontales	Móvil
		Movimiento de Cargadores Frontales	Fugitiva
		Erosión Eólica	Fugitiva
SERVICIOS A FAENAS	Servicios a Faenas	Combustión Interna de Motores	Móvil
		Transito en rutas no pavimentadas	Fugitiva
PLANTA DE PROCESAMIENTO	Planta de Chancado	Chancado Primario	Fugitiva
		Chancado Secundario	Fugitiva
		Harneros	Fugitiva
		Transferencia de Mineral entre correas transportadoras	Fugitiva
		Erosión eólica en acopio de Mineral	Fugitiva
	Planta de Calcinación	Hornos de Calcinación	Puntual
		Transferencia de Mineral entre correas transportadoras	Fugitiva

3.2 CICLOS DE OPERACIÓN Y NIVELES DE ACTIVIDAD

En esta sección se detallan los ciclos de operación, niveles de actividad y parámetros necesarios para la estimación de emisiones para la fase de construcción y operación del Proyecto. Estas variables están relacionadas con las horas de operación, toneladas procesadas, consumo de combustible y maquinaria utilizada, entre otras variables identificadas para cada una de fuentes de emisión identificadas en el Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

3.2.1 Niveles de actividad en Fase de Construcción

De acuerdo al organigrama del Proyecto, la fase de construcción durará 26 meses. Sin embargo, las actividades emisoras principales se concentrarán en los seis primeros meses, donde se realizarán los movimientos de tierra. El resto del tiempo corresponde a actividades de construcción de obras civiles y emplazamiento de equipos y maquinaria. Por tal motivo, para efectos de evaluar el impacto durante esta fase, se han considerado los seis meses de mayor actividad emisora. Durante esta fase, se trabajará con una jornada de 12 horas al día, los siete días de la semana.

La Tabla III.3, presenta los ciclos de operación y niveles de actividad, para la fase de construcción el Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

Tabla III.3 Niveles de actividad Fase de Construcción

Área	Actividad	Cantidad	Unidad
CONSTRUCCIÓN PLANTA DE CAL	Actividades Constructivas	9	Superficie en Construcción (ha)
CONSTRUCCIÓN CAMINO	Movimiento y transferencia de Material	30.952	t/d
	Tronaduras	1	tronadura/d
		5.100	Superficie tronada (m^2)

3.2.2 Niveles de actividad en Fase de Operación

Debido a la dinámica y tipos de fuentes de emisión asociadas a la extracción de mineral, el inventario de emisiones varía y depende de la cantidad de mineral explotado. El Proyecto en su fase de operación, contempla la explotación durante 30 años, y para la estimación de emisiones de partículas, se considero aquel que refleje una situación de máximos niveles de explotación, para así obtener el caso más desfavorable en la estimación de dichas emisiones.

De esta forma, para la evaluación se ha considerado el año 4º, que corresponde al período de máxima extracción de mineral, totalizando 1,5 millones de toneladas de mineral y 0,1 millones de toneladas de extracción lastre. La Tabla III.4 muestra el Plan Minero para el año 4º y el lugar de disposición del mineral extraído.

Tabla III.4 Extracción de Mineral año 4º

Tipo de Mineral	Mineral	Cantidad (t/año)	Lugar de Destino
Mineral	Caliza	1.527.191	Chancador Primario
Lastre	Conglomerado	96.259	Depósito de Lastre
	Volcánico	12.958	Depósito de Lastre

Los niveles de actividad y ciclos de funcionamiento considerados para cada de las fuentes de emisión por área responsable, se presenta en la Tabla III.5.

Tabla III.5 Niveles de Actividad y Ciclos de Operación, Fase de Operación

Actividad		Cantidad	Unidad	Funcionamiento	Unidad
MINA DE CALIZA					
Perforaciones		210	perforaciones/tronadura	350	(d/año)
		24.500	perforaciones/año		
Tronaduras		1	tronadura/d	Cada 3 días	(d/año)
		117	Tronadura/año		
		5.250	Superficie tronada (m^2)		
Carguío de Mineral		1	Cargador Fontal	350	(d/año)
		4.675	Capacidad carguío (t/d)		
Transporte de Mineral		7	Camiones	350	(d/año)
		4.675	Capacidad transporte (t/d)		
		1	Camino		
		7	Kilómetros		
Depósito de Lastre		1	Cargador Fontal	350	(d/año)
SERVICIOS A FAENAS					
Mantención		1	Camión	350	(d/año)
Transporte de Pasajeros		1	Bus		
Vehículos de Livianos		3	Camionetas		
PLANTAS DE PROCESAMIENTO					
PLANTA DE CHANCADO	**Chancado Primario**	1	Chancador	340	(d/año)
		4.500	t/d		
	Chancado Secundario	1	Chancador	340	(d/año)
		4.500	t/d		
	Harnero	1	Harnero	340	(d/año)
		4.500	t/d		
	Correas Transportadoras	3	Correas	340	(d/año)
		1.500	t/d		
	Acopio de Mineral	0,016	Superficie erosionable (ha)	340	(d/año)
PLANTA DE CALCINACIÓN	**Correas Transportadoras**	3	Correas		
		2.880	t/d		

Tabla III.5 Niveles de Actividad y Ciclos de Operación, Fase de Operación

Actividad		Cantidad	Unidad	Funcionamiento	Unidad
	Hornos de Calcinación	2	Hornos	350	(d/año)
		1.440	t/d alimentación		

3.3 ACCIONES RESPECTO DE EMISIONES

En esta sección, se detallan las acciones a desarrollar en relación a material particulado, tanto en la fase de construcción como de operación del Proyecto.

3.3.1 Procesos en Fase de Construcción

- **Humectación de caminos no pavimentados**: Se humectaran las rutas sin pavimento y por donde circula la maquinaria y vehículos que intervienen en las actividades constructivas. La eficiencia de humectación con agua como medida de abatimiento es de un 50%.

- **Humectación de material**: Los traspasos y transferencias de material se impregnaran con agua, cuya eficiencia como medida de reducción de emisiones es de un 50%.

3.3.2 Procesos en Fase de Operación

- **Humectación de ruta Mina-Planta de Cal**: Se humectara la ruta que une la Mina de Caliza Potrerillo, con una eficiencia del 50% en la mitigación de emisiones de material particulado.

- **Humectación de lastre**: El material descargado en el depósito se humectará con agua con un eficiencia del 50%.

- **Equipos de Filtro Mangas**: En los equipos de chancado, harneros y las transferencias de material particulado en la Planta de Chancado, se implementarán filtros mangas para la captura de material particulado con un eficiencia de 99%.

- **Equipos de Filtro Mangas**: Los hornos de calcinación contarán con filtros mangas para la captura de material particulado con una eficiencia del 99%.

3.4 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

La metodología adoptada para la estimación de emisiones de partículas, se basa en el uso de factores emisivos y niveles de actividad.

Los factores de emisión pueden definirse como valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con la actividad asociada a la generación de ese contaminante. Estos factores se expresan generalmente como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia, o duración de la actividad emisora (Ejemplo: ton PM_{10} emitidos / ton Material Removido).

Estos factores permiten la estimación de emisiones de diversas fuentes contaminantes. En la mayoría de los casos, estos factores son simplemente promedios de toda la información disponible de calidad aceptable, y se asumen generalmente como representativos de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de la fuente emisora.

La ecuación general para la estimación de emisiones de una fuente dada es la siguiente:

$$E = A * FE * \left(1 - \frac{RE}{100}\right)$$

Donde:

E : Emisión
A : Nivel de actividad
FE : Factor de emisión
RE : Eficiencia global de reducción de emisiones, en %

La Tabla III.6, entrega un detalle de los factores de emisión utilizados en este estudio, indicando parámetros necesarios para el cálculo, así como también referencias bibliográficas.

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Movimiento de Tierra por Uso de Maquinaria Pesada	$FE = \frac{f * 0.45 * s^{1.5}}{M^{1.4}}$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/hr	Horas de trabajo de la maquinaria en un día	hr/día
		s	Contenido de finos del material	%		
		M	Contenido de humedad del material	%		
		f	Factor de ajuste para PTS= 1,00	Ad		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42, 5ª Edición, Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-2 (Pág.11.9.-7)						
Perforación Minera	$FE = f * 0.59$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/ perforación	Número de perforaciones realizadas en un día	perforación/día
		f	Factor de ajuste para PTS= 1,00	Ad		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-4 (Pág.11.9-10)						
Tronadura	$FE = f * 0.00022 * A^{1..5}$	*FE*	Factor de emisión PM	kg/ tronadura	Número de tronaduras realizadas en un día	tronaduras /día
		f	Factor de ajuste para PTS= 1,00	Ad		
		A	Área de tronadura, con sondajes de profundidad mayor que 21 metros	m^2		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1998, Capítulo 11, Sección 11.9, Tabla 11.9-2 (Pág.11.9-7)						
Transferencia de Material (Carga y Descarga)	$FE = \frac{k * 0.0016 * \left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$	*FE*	Factor de emisión en kilógramos de PM	kg/ton material transferido	Toneladas de material transferido en un día	ton/día
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida, para : PTS k = 0,74	Ad		
		U	Velocidad del viento al momento de la transferencia	m/s		
		M	Contenido de humedad del material	%		
Fuente: Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización Noviembre 2006, Capítulo 13, Sección 13.2.4.1 (Pág.13.2.4-4)						
Tránsito por Caminos No Pavimentados	**Vehículos Pesados:** $FE = 281.9 * k * \left(\frac{s}{12}\right)^{a} * \left(\frac{W}{3}\right)^{b}$	*FE*	Factor de emisión de PM	gr/veh-km	Número de Vehículos	veh
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida PTS, para: Para Vehículos Pesados, k= 4,90 Para Vehículos Livianos, k= 6,00	Ad		
		s	Contenido de finos del camino	%	Kilómetros recorridos en un día	km/día
		S	Velocidad de los vehículos	km/hr		
		W	Peso medio de los vehículos	Ton cortas		

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
	Vehículos Livianos: $FE = 281.9 * k * \frac{\left(\frac{s}{12}\right) * \left(\frac{S}{48}\right)^{a}}{\left(\frac{M}{0.5}\right)^{b}}$	*M*	Contenido de humedad del camino	%		
		a,b	PTS Para Vehículos Pesados, a= 0,70 y b=0,45 Para Vehículos Livianos, a= 0,30 y b=0,30			
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización 2003, Capítulo 13, Sección 13.2.2, Ec. 1 (Pág. 13.2.2-4)						
Erosión Eólica	$FE = 1{,}9 * k * \left(\frac{s}{1{,}5}\right) * \left(\frac{f}{15}\right) * \left(\frac{365 - p}{365}\right)$	*FE*	Factor de emisión de PM_{10}	kg/día-has	Hectáreas erosionadas	has
		f	Porcentaje del tiempo en que el viento excede los 5,4 m	%		
		s	Contenido de finos del suelo o material apilado	%		
		p	Número de días al año con precipitación igual o mayor que 0,254 mm	días		
		k	Coeficiente de tamaño de partícula emitida PTS=1	Ad		
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 1983, Capítulo 11, Sección 11.2.3, Ec. 3 (Pág. 11.2.3-5)						
Chancador de Mineral	**Primario** $FE = 0.2$ **Secundario** $FE = 0.6$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/ton de mineral procesado	Toneladas de material chancado en un día	ton/día
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1995, Capítulo 11, Sección 11.24, Tabla 11.24-1, (Pág. 11.24-3)						
Harneros	$FE = 0.15$	*FE*	Factor de emisión de PM	kg/ton de mineral procesado	Toneladas de material chancado en un día	ton/día
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 Actualización de 1995, Capítulo 11, Sección 11.19, Tabla 11.19.2-1, (Pág. 11.19.2-6)						
Combustión Interna de Motores de Maquinaria Pesada	$FE = 0.4$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/HP*hr	Potencia de la maquinaria	HP
					Horas de operación en el día	hr
Environmental Protección Agency USA (EPA), Reporte AP-42 1983, Capítulo 11, Sección 11.2.3						

Tabla III.6 Factores de Emisión

FUENTE DE EMISIÓN	FACTOR DE EMISIÓN	PARÁMETROS			NIVEL DE ACTIVIDAD	
		DESCRIPCIÓN		UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Combustión Interna de Motores de Camiones Diesel	**Camiones Pesados Convencional (peso > 16 ton):** $FE = 10.933 * V^{-0.7054}$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						
Combustión Interna de Buses Interurbanos Diesel	**Buses Interurbanos Diesel Tipo 2** $FE = 2.32335 * V^{-0.7373}$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						
Combustión Interna de Motores Vehículos Livianos	**Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2:** $FE = 0.00003015 * V^2 - 0.00327295 * V + 0.129444$	*FE*	Factor de emisión de PM	g/vrh-Km	Número de Vehículos	veh
		V	Velocidad del vehículo	Km/hr	Kilómetros recorridos en un día	Km/día
COPERT II						

Para estimar los factores de emisión aplicables a las fuentes de material particulado identificadas en la fase de construcción y operación de la Mina de Caliza Potrerillo, es necesario definir una serie de parámetros que integran la formulación matemática de estos factores. Estos parámetros corresponden a valores locales en faena y se indican en la Tabla III.7.

Tabla III.7: Parámetros de los Factores de Emisión

Parámetro	Unidad	Valor
FASE DE CONSTRUCCIÓN		
Contenido de Finos Material a Remover	%	3
Contenido de Humedad Material a Remover	%	3
Densidad Material a Remover	t/m^3	2,6
Contenido de Finos del Camino	%	10
FASE DE OPERACIÓN		
Contenido de Finos Caliza	%	3
Contenido de Humedad Caliza	%	3
Contenido de Finos Lastre	%	3
Contenido de Humedad Lastre	%	3
Contenido Fino del Camino	%	5
Contenido de Humedad	%	3
PARÁMETROS GENERALES		
Velocidad del Viento Promedio	m/s	4,5
Número de días con precipitación mayor a 0.254 mm	Días	7
Porcentaje del Tiempo que el Viento excede los 5.4 m/s	%	35

3.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

3.5.1 Fase de Construcción

La Tabla III.8, muestra el resultado del inventario de emisiones de material particulado para la fase de construcción en la Mina de Caliza Potrerillo, por área responsable.

De acuerdo al Inventario de Emisiones, en esta fase se emitirán 237 k/d de partículas, lo que equivale a 27 t/año. El área de construcción Camino es responsable del 89% de las emisiones (212 k/d) y la construcción de la Planta de Cal representa un 11% del total de emisiones de material particulado.

Tabla III.8 Resultados Inventario de Emisiones, Fase de Construcción

Área	Actividad	Emisión		
		(kg/d)	(t/año)	%
Construcción Camino	Tronaduras	80	1	33,8%
	Movimiento de Material	6	1	2,5%
	Transferencia de Material	13	2	5,5%
	Transporte de Materiales	108	18	45,5%
	Transporte de Personal	4	1	1,9%
	Erosión Eólica	0	0	0,2%
	Sub-Total	**212**	**23**	**89,4%**
Construcción Planta de Cal	Actividades Constructivas	25	4	10,6%
	Sub-Total	**25**	**4**	**10,6%**
Total Fase de Construcción		**237**	**27**	**100%**

La Figura 3.1, muestra el porcentaje de participación de las distintas actividades emisoras de particulado en la fase de construcción. De la Figura se observa, que los principales aportes a las emisiones, corresponden al Transporte de Materiales, Transferencias de Materiales, Tronaduras y Actividades Constructivas en la Planta de Cal, que representan un 45,5%, 33,8% y 10,6% del total de las emisiones de particulado, respectivamente.

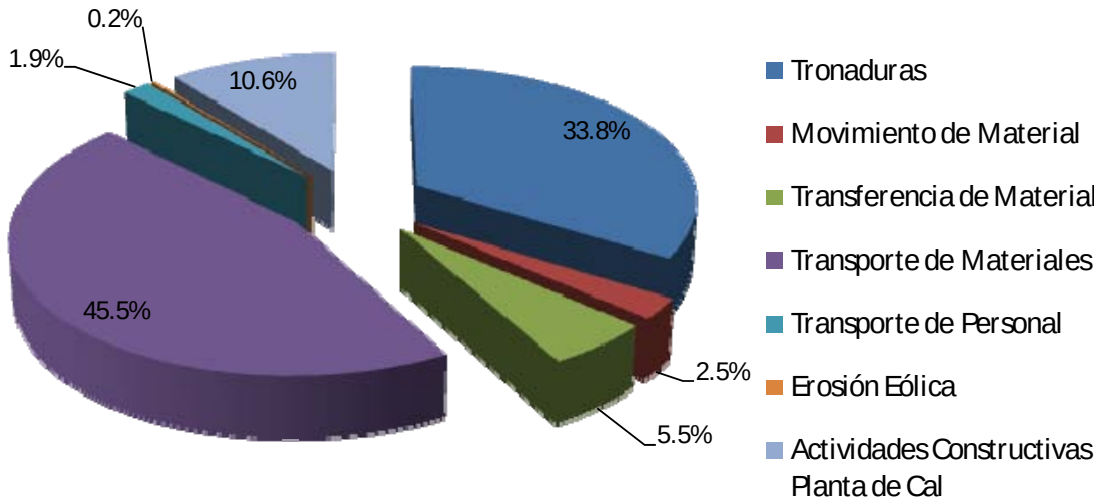

Figura 3.1 Aportes por fuentes a la emisión de polvo, Fase de Construcción

3.5.2 Fase de Operación

La Tabla III.9, muestra el resultado del inventario de emisiones de partículas para la fase de operación en la Mina de Caliza Potrerillo, por área responsable.

De acuerdo al Inventario de Emisiones, en esta fase se emitirán 2.799 k/d de material particulado, lo que equivale a 952 t/año. El área Mina de Caliza es responsable del 92,5% de las emisiones (2.590 k/d), los Servicios Faenas aportan un 3,9% y las Plantas de Procesamiento representan un 3,5% de participación en las emisiones de particulado, respectivamente

Tabla III.9 Resultados Inventario de Emisiones, Fase de Operación

Área	Actividad	Emisión		
		(kg/d)	(t/año)	%
MINA DE CALIZA	Perforaciones	43	15	1.6%
	Tronaduras	84	10	3.0%
	Carguío	18	6	0.7%
	Transporte	2.421	848	86.5%
	Depósito de Lastre	23	1	0.8%
	Sub-total	**2.590**	**880**	**92.5%**
SERVICIOS FAENAS	Servicios Faenas	110	38	3.9%
	Sub-total	**110**	**38**	**3.9%**
PLANTAS DE PROCESAMIENTO	Planta de Chancado	43	15	1.5%
	Planta de Calcinación	55	19.4	2.0%
	Sub-total	**99**	**34**	3.5%
TOTAL FASE DE OPERACIÓN		**2.799**	**952**	**100.0%**

La Figura 3.2, muestra el porcentaje de participación de las distintas actividades emisoras de particulado en la fase de operación. De la Figura se observa, que las principales fuentes de emisión de particulado corresponden al Transporte de Mineral y los Servicios a Faenas, que representan un 86,5% y 3,9% del total de las emisiones de material particulado, respectivamente.

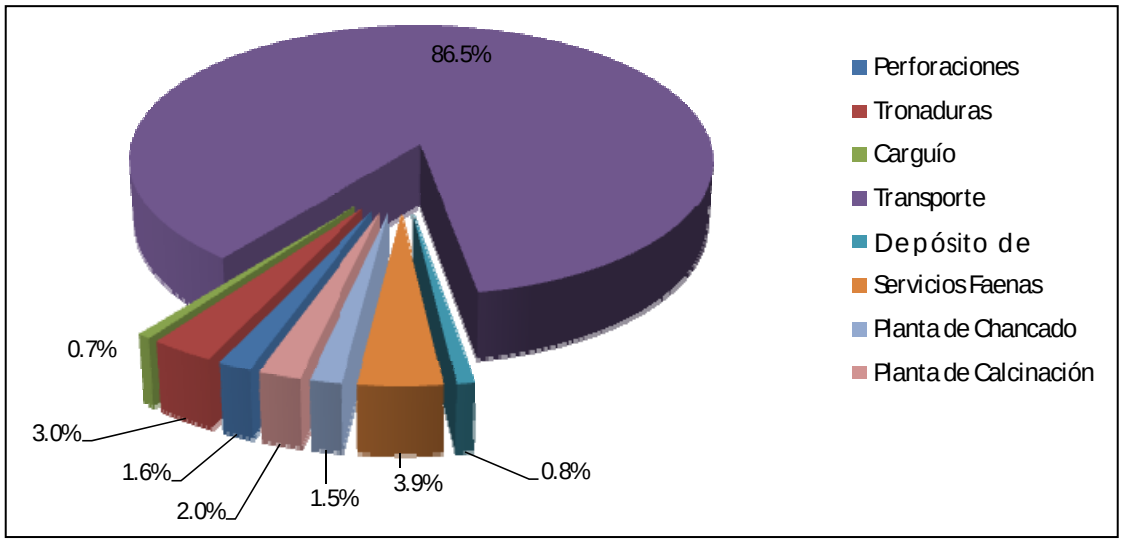

Figura 3.2 Aportes por fuentes a la emisión de polvo, Fase de Operación

La Tabla III.10, muestra el detalle por fuente, de las emisiones de material particulado durante la fase de operación del Proyecto Mina de Caliza Potrerillo.

Tabla III.10 Detalle del Inventario de Emisiones PTS, Fase de Operación

Área	Actividad	Fuente de Emisión	Emisión		
			(kg/d)	(t/año)	%
MINA DE CALIZA	Perforaciones	Perforaciones	41	14	1,5%
		Maquinaria de Perforación	2	1	0,1%
		Sub-Total	**43**	**15**	**1,6%**
	Tronaduras	Tronaduras	84	10	3,0%
		Maquinaria de Tronadura	0,04	0,005	0,0%
		Sub-Total	**84**	**10**	**3,0%**
	Carguío	Movimiento de Material	9	3	0,3%
		Transferencia de Mineral	8	3	0,3%
		Combustión Interna	2	1	0,1%
		Sub-Total	**18**	**6**	**0,7%**
	Transporte	Transferencia de Mineral a Chancador	7	3	0,3%
		Transferencia a Depósito de Lastre	0,3	0,1	0,01%
		Polvo Resuspendido	2412	844	86,2%
		Combustión Interna	2	1	0,1%
		Sub-Total	**2.421**	**848**	**86,5%**
	Depósito de Lastre	Movimiento de Maquinaria	5	0,2	0,2%
		Polvo Resuspendido	1	0,0	0,04%
		Combustión Interna	1	0,1	0,04%
		Erosión Eólica	16	1	0,6%
		Sub-Total	**23**	**1**	0,8%
	TOTAL MINA DE CALIZA		**2.590**	**880**	**92,5%**
Servicios a Faenas	Servicios Faenas	Camión Mantención	68	24	2,4%
		Buses de Transporte de Pasajeros	9	3	0,3%
		Camionetas 4x4	33	12	1,2%
		Sub-Total	**110**	**38**	**3,9%**
	TOTAL SERVICIOS FAENAS		**110**	**38**	**3,9%**
Planta de Procesamiento	Planta de Chancado	Chancado Primario	9	3	0,3%
		Chancado Secundario	27	9	1,0%
		Harneros	7	2	0,2%
		Transferencias	0,3	0,1	0,0%
		Acopio de Mineral	0,1	0,05	0,0%
		Sub-Total	**43**	**15**	**1,5%**
	Planta de Calcinación	Transferencias	0,1	0,03	0,0%
		Horno 1	28	10	1,0%
		Horno 2	28	10	1,0%
		Sub-Total	**55**	**19**	**2,0%**
	TOTAL PLANTAS		**99**	**34**	**3,5%**
TOTAL FASE DE OPERACIÓN			**2.799**	**952**	**100%**

4. MODELACIÓN DE DEPOSITACION DE PARTÍCULAS

4.1 Descripción del Modelo Utilizado

Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un conjunto de ecuaciones matemáticas que representan el transporte, dispersión, depositación, advección y difusión de contaminantes emitidos a la atmósfera. Estos modelos sirven para interpretar y predecir las concentraciones y depositación de contaminantes causadas por la dispersión y por el impacto de fuentes de distinto tipo. Estos modelos contienen los parámetros de dispersión y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica y la topografía.

Se aplicó el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), denominado AERMOD, ampliamente utilizado en simulación del transporte y dispersión de contaminantes en complejos industriales.

El modelo AERMOD, utiliza información meteorológica local y contiene ecuaciones para ajustar las velocidades del viento a distintas alturas. Es un modelo de estado estacionario (es decir, sus concentraciones varían en escalas de tiempo de 1 hora) el cual considera opciones para incluir la topografía y las fuentes de emisión.

La ecuación de distribución gaussiana emplea cálculos que requieren dos parámetros de dispersión (σ_y y σ_z) para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran viento abajo de la emisión. Esta ecuación determina las concentraciones de contaminantes en cualquier punto del espacio. Es aplicable a operaciones mineras, debido a que permite manejar distintos tipos de fuentes (puntuales, areales, fugitivas, open-pit ó tajos).

La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

$$c = \frac{Q}{u 2\pi\sigma_y\sigma_z} exp-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\left[exp-0.5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

Donde:

c	:	Concentración (g/m^3)
u	:	Velocidad del viento a la altura efectiva de la fuente (m/s)
Q	:	Emisión del contaminante (g/s)
σy	:	Coeficiente de dispersión horizontal (m)
σz	:	Coeficiente de dispersión vertical (m)
H	:	Altura efectiva de la emisión (m)
y	:	Coordenada horizontal, en la dirección del viento, tomando como origen el punto de emisión (m)
z	:	Coordenada vertical, tomando como origen el punto de emisión (m)

La ecuación se corrige por reflexión en el suelo y en la altura de mezcla, quedando de la forma:

$$c = \frac{Q}{u 2\pi \sigma_y \sigma_z} \left[\begin{array}{l} exp-0.5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2 + \\ \sum_{N=1}^{k} \left(exp-0.5\left(\frac{z-H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H-2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + \right. \\ \left. exp-0.5\left(\frac{z-H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 + exp-0.5\left(\frac{z+H+2Nz_i}{\sigma_z}\right)^2 \right) \end{array} \right]$$

El modelo AERMOD entrega como resultados la concentración y la depositación de material particulado. La depositación, expresada en masa de material particulado por unidad de superficie y tiempo (g/m^2-año), se utiliza para estimar la profundidad del material depositado a través de la siguiente expresión.

$$Pm = Td/\rho$$

Donde:

Pm = Profundidad del material particulado (mm/año)
Td = Tasa de depositación de material particulado (g/m^2-año)
ρ = Densidad del particulado 1700 (g/m^2-mm)

4.2 Dominio de Modelación

Se ha definido un área de modelación que incluye las operaciones de la Mina de Caliza Potrerillo, y que abarca además las zonas sensibles de interés (valle del río Potrerillo). Lo anterior se logra al considerar una superficie de 46x46 kilómetros. La Figura 4.1 muestra el dominio de modelación utilizado. El origen del dominio se encuentra en las coordenadas UTM- Huso 19 Sur, E: 366.260 m y N: 6.723.595 m, que corresponden a la esquina SW. En la Figura 4.1 se indican además los puntos receptores representados por una cruz.

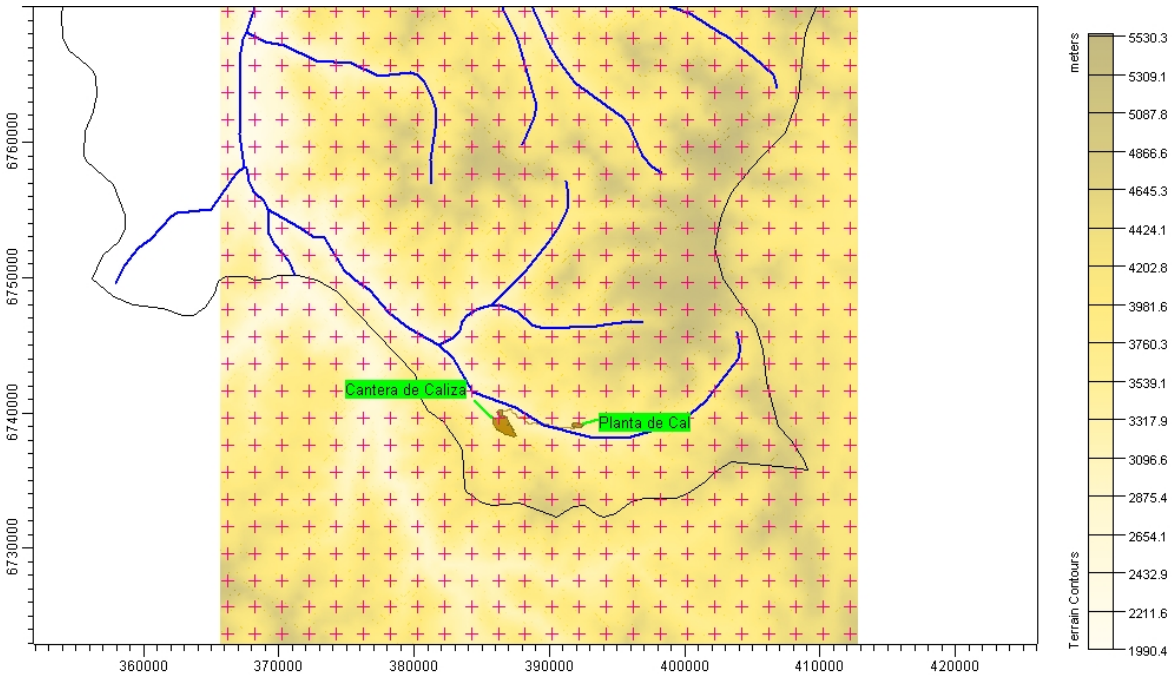

Figura 4.1: Dominio de Modelación

Los resultados de modelación se obtuvieron para una grilla general de 576 receptores, espaciados uniformemente cada 2 kilómetros, lo que permite estimar la distribución espacial de la depositación de particulado en el área de modelación. Además, se definieron grillas finas de receptores discretos con un espaciado de 50 m en zonas cordilleranas de interés, quedando un total de 6.069 receptores en el área de estudio.

La topografía del lugar se obtuvo de los archivos digitales de terreno generada por el USGS y la información meteorológica se obtuvo de los registros de la Estación Aero Potrerillo del año 2005.

4.3 Resultados de la Modelación

Los resultados se entregan para las dos fases del Proyecto (construcción y operación), indicando la tasa de depositación de material particulado y la profundidad de partículas esperada sobre la superficie del terreno.

4.3.1 Fase de Construcción

Esta fase durará seis meses, y consistirá básicamente en la construcción del camino entre la Mina y la Planta de Cal, así como las obras para la preparación de la mina y la construcción de la Planta de Cal. De acuerdo al inventario de emisiones, en esta fase se emitirán 237 kg/d de material particulado.

La Figura 4.2 muestra las depositación de material particulado esperada en los seis meses que dura la construcción del Proyecto, expresada en mm. De ella se observa que la máxima depositación de polvo sería de 6,3E-04 mm (tasa de depositación = 1,07 g/m^2), y se obtendría a una a una distancia de 125 metros desde las obras del camino.

A 2 km desde las obras del Proyecto, ya no sería detectable el polvo depositado.

Se estimaron las tasas de depositación media aritmética mensual de material particulado, determinándose de ellas la máxima diaria, la cual resultó ser de 8,0 mg/m^2-d y la tasa de depositación diaria promedio anual, la cual fue de 2,9 mg/m^2-d. Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran las tasas de depositación de material particulado en sus métricas máxima diaria y media diaria, respectivamente.

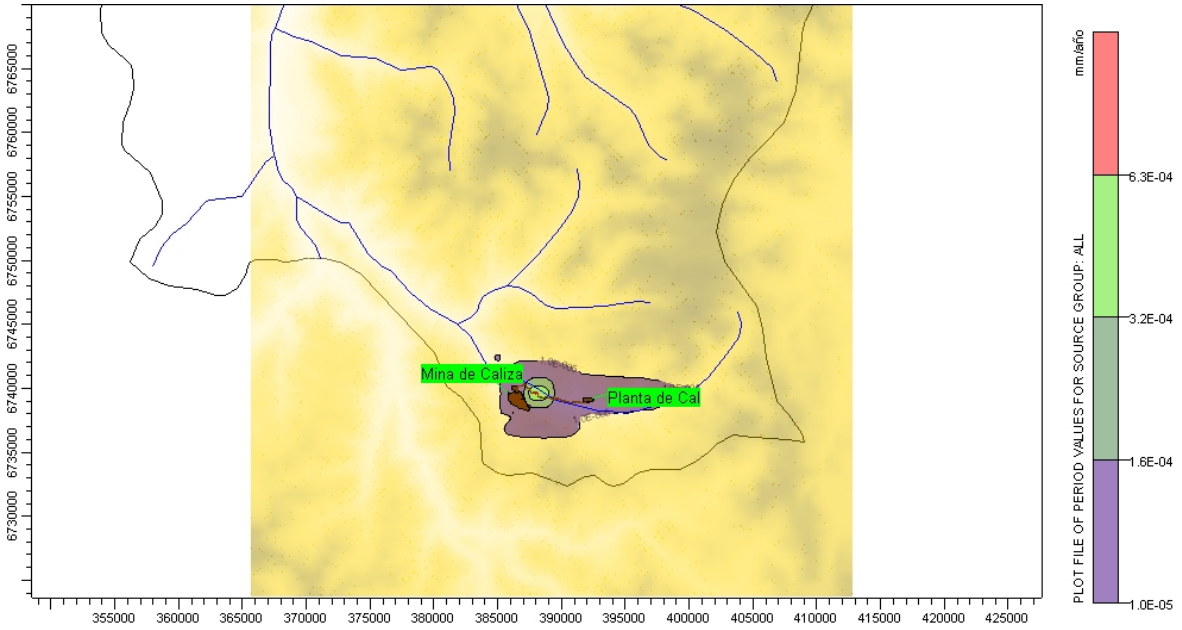

Figura 4.2: Depositación de polvo (mm) - Fase de Construcción del Proyecto

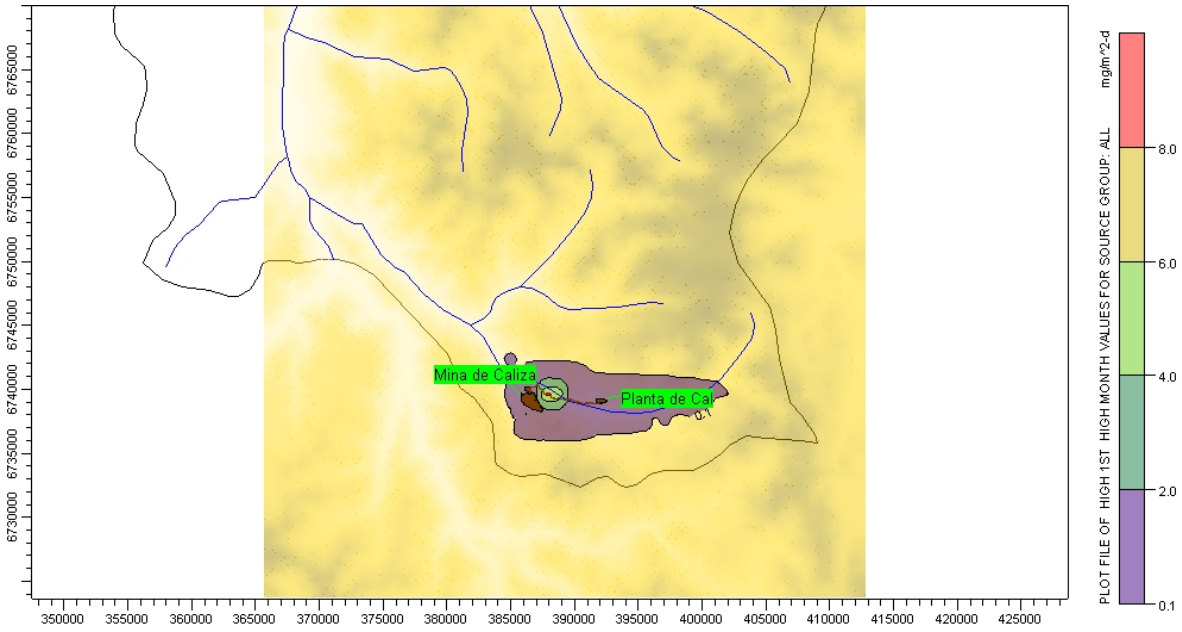

Figura 4.3: Tasa de Depositación de polvo (mg/m^2-d) máxima diaria Fase de Construcción del Proyecto

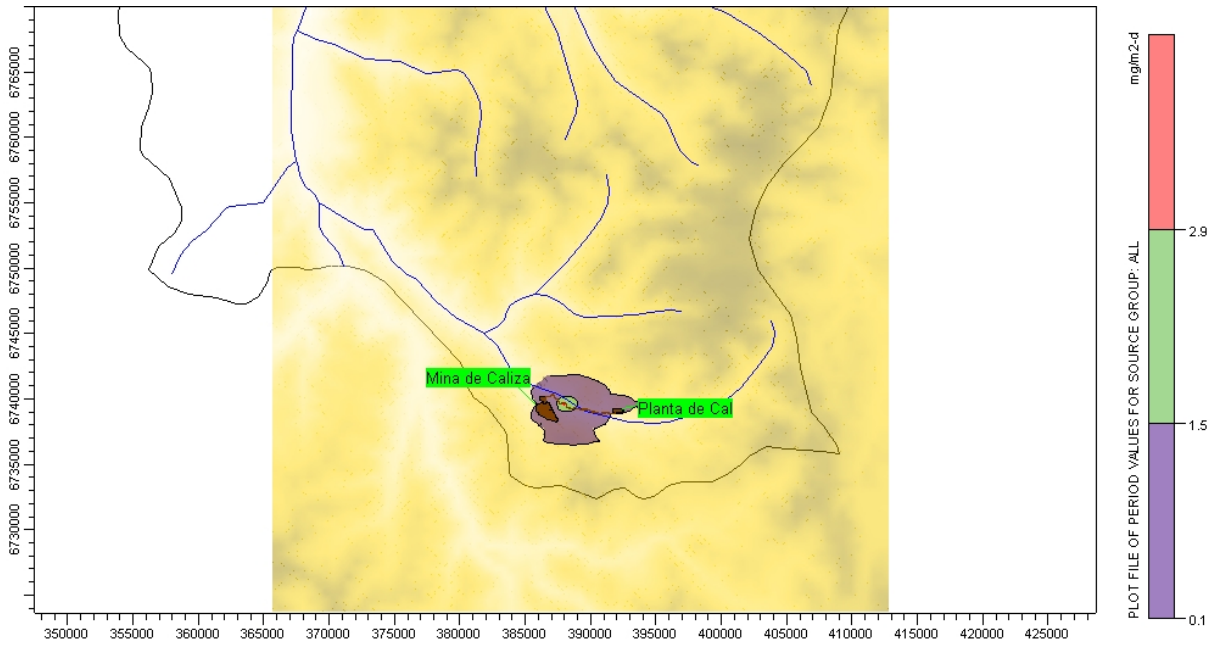

Figura 4.4: Tasa de Depositación de polvo (mg/m^2-d) media diaria Fase de Construcción del Proyecto

4.3.2 Fase de Operación

Esta fase durará 30 años, y consistirá básicamente en las operaciones de perforación, tronadura, y extracción de caliza en la mina, transporte de mineral a planta, y procesamiento del mineral para obtener la cal. De acuerdo al Plan minero, se escogió el año de mayor actividad, a fin de ser conservador en relación a la estimación de las emisiones. Para el año de mayor actividad (4^{to}) se obtiene un total de 2.799 kg/d de material particulado.

La Figura 4.5 muestra la depositación de material particulado en un año. De ella se observa que la máxima depositación de polvo sería de 9,8E-03 mm (16,8 g/m^2), y se obtendría a una a una distancia de 120 metros desde las obras del camino.

Al igual que en la fase de construcción, a 2 km desde el Proyecto, ya no sería detectable el polvo depositado.

Se estimaron las tasas de depositación media aritmética mensual de material particulado, determinándose de ellas la máxima diaria, la cual resultó ser de 55 mg/m^2-d y la tasa de depositación diaria promedio anual, la cual fue de 46 mg/m^2-d. Las Figuras 4.6 y 4.7 muestran las tasas de depositación de material particulado en sus métricas máxima diaria y media diaria, respectivamente.

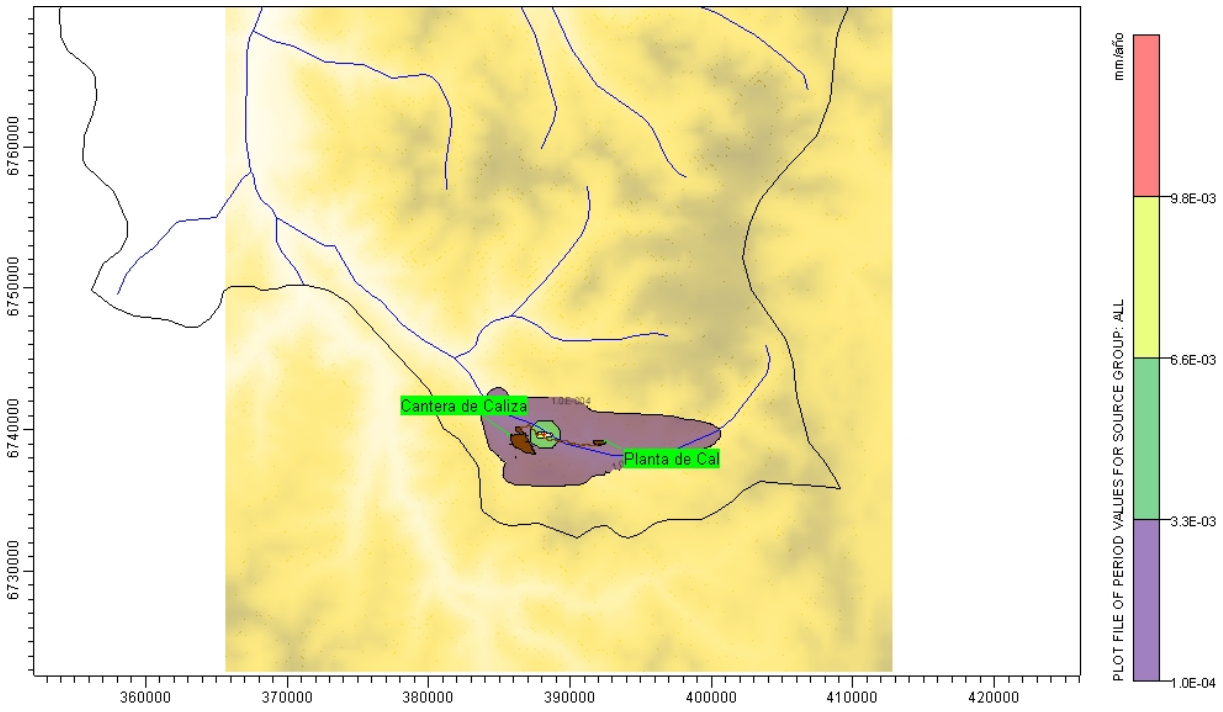

Figura 4.5: Depositación de polvo (mm) - Fase de Operación del Proyecto

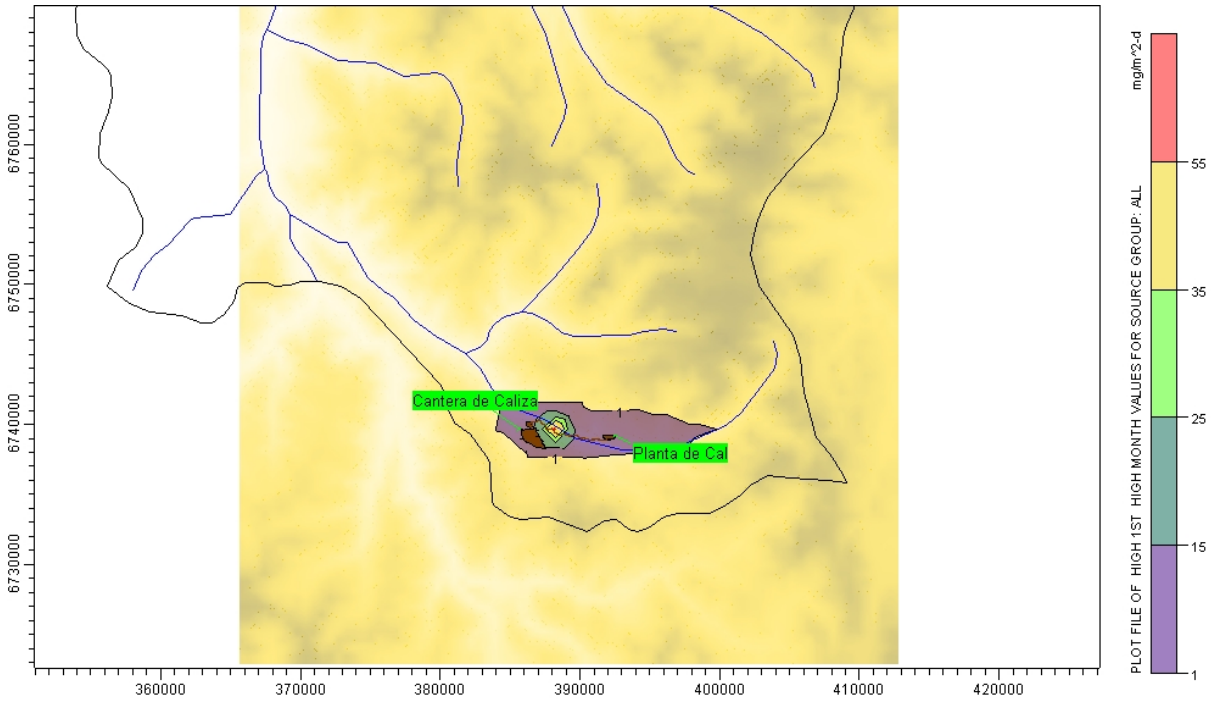

Figura 4.6: Tasa de Depositación de polvo (mg/m^2-d) máxima diaria Fase de Operación del Proyecto

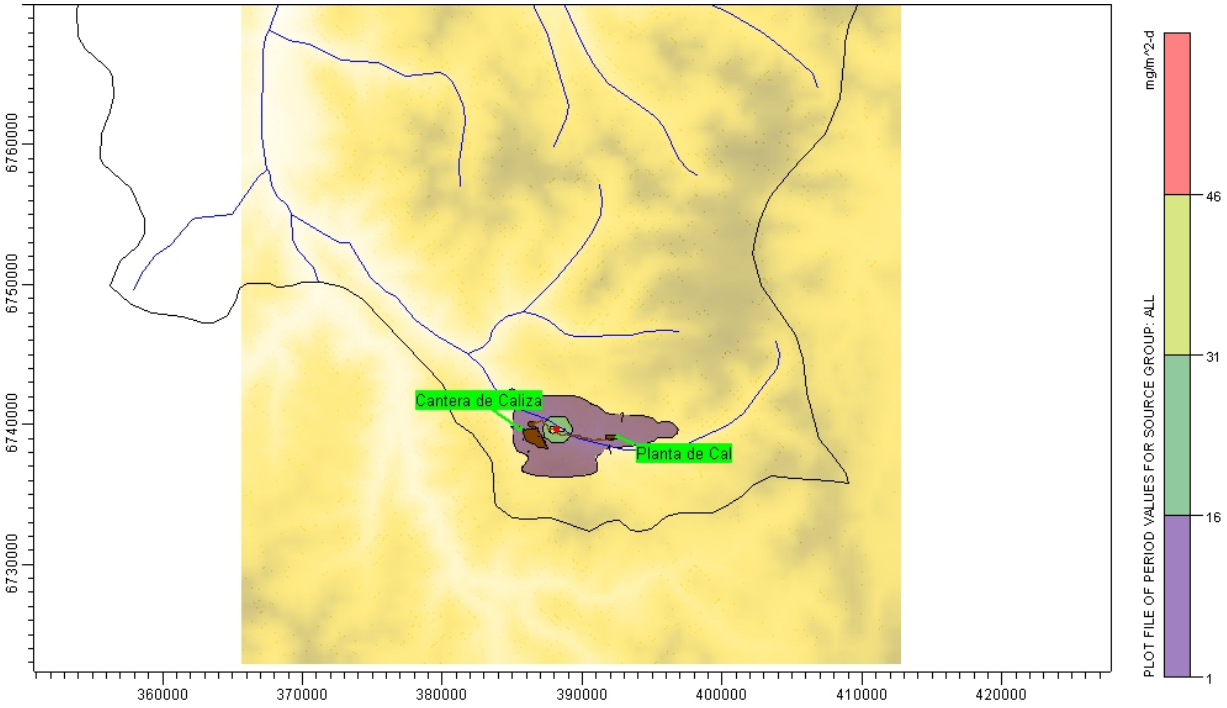

Figura 4.7: Tasa de Depositación de polvo (mg/m^2-d) media diaria Fase de Operación del proyecto

5. EVALUACION

Los resultados obtenidos de la modelación del particulado sedimentable en el área del Proyecto, se comparan, a modo referencial, con el DS Nº 4/1992 del Ministerio de Agricultura, el cual norma la calidad del aire para material particulado sedimentable en la Cuenca del Huasco.

Esta norma secundaria establece los valores máximos permisibles de material particulado sedimentable, expresados como mg/m^2-día. La Tabla V.1 muestra los valores y tiempos normados.

Tabla V.1 Norma secundaria Material Particulado Sedimentable

Valor	Unidad	Período
150	mg/m^2-día	Media aritmética mensual
100	mg/m^2-día	Media aritmética anual

Los valores estimados para cada fase del Proyecto, junto a su aporte relativo respecto a los valores normados, se muestran en la Tabla V.2. De la Tabla V.2 se desprende que el Proyecto, en cualquiera de sus fases cumple esta norma secundaria de referencia.

Tabla V.2 Evaluación Norma secundaria Material Particulado Sedimentable

Fase	Media aritmética (mg/m^2-día)	
	Mensual	Anual
Construcción	8	3
Norma	150	100
%	5,3	3,0
Operación	55	46
Norma	150	100
%	36,7	46,0

6. CONCLUSIONES

Este estudio ha evaluado la generación de material particulado y posterior depositación del polvo en el entorno al Proyecto de explotación de caliza y planta de cal, en sus fases de construcción y operación.

Para esto se ha utilizado el modelo de la USEPA denominado AERMOD, el cual entrega la tasa de depositación de material particulado, dada las fuentes de emisión, parámetros meteorológicos, y la topografía del terreno. Esta tasa se utiliza para estimar finalmente la profundidad de polvo depositado en el entorno a las operaciones mineras.

Los resultados indican que el efecto del Proyecto sería poco significativo, en cualquiera de sus fases, debido a que la máxima depositación esperada en la fase de construcción se estima en 6,3E-04 mm en seis meses, y en la fase de operación sería de 9,8E-03 mm/año. Estos valores máximos ocurrirían a una distancia de 120 m desde el camino, a 1.200 m de la Mina, y a 3.566 m desde la Planta de Cal.

Se estima que a 2 km desde las obras del Proyecto, ya no sería detectable el polvo depositado.

Al comparar, a modo de referencia, los resultados obtenidos de la modelación del particulado sedimentable en el área del proyecto, con el DS Nº 4/1992 del Ministerio de Agricultura, el cual norma la calidad del aire para material particulado sedimentable en la Cuenca del Huasco, se obtiene que el proyecto, en cualquiera de sus fases cumple esta norma secundaria, siendo los valores máximos esperados de 55 mg/m^2-día, respecto de 150 mg/m^2-d, como valor de referencia.

Por lo anterior, se desprende que el Proyecto no genera efectos adversos sobre los sectores aledaños ni sobre el entorno en general, toda vez que los aportes de sus emisiones están bajo la norma de referencia de material sedimentable, y su efecto es perceptible sólo en el entorno inmediato a las obras y faenas.