



ANEXO 3 MODELACION CALIDAD DEL AIRE

DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CALIZA Y CAL

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ÁREA DE ESTUDIO	1
3.	LÍNEA BASE	3
3.1	NORMATIVA AMBIENTAL	3
3.2	CALIDAD DEL AIRE.....	5
3.2.1	Monitoreo	5
3.2.2	Aporte de Otros Proyectos.....	5
3.3	METEOROLOGÍA	6
3.3.1	Temperatura.....	7
3.3.2	Humedad Relativa	8
3.3.3	Radiación Solar	9
3.3.4	Velocidad del viento.....	10
3.3.5	Dirección del Viento	11
4.	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN.....	15
4.1	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	15
4.1.1	Excavación y movimiento de tierra	15
4.1.2	Transferencia de material	16
4.1.3	Tronaduras.....	16
4.1.4	Tránsito de maquinaria y camiones por caminos no pavimentados	17
4.1.5	Grupos Eléctrogenos	18
4.2	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	19
4.3	ETAPA DE OPERACIÓN	20
4.4	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES ETAPA DE OPERACIÓN.....	20

5.	MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE	21
5.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO	21
5.2	DOMINIO DE MODELACIÓN	22
5.3	RESULTADO DE LA MODELACIÓN.....	24
5.3.1	Depositación de materia particulada.....	24
5.3.2	Material Particulado Respirable (MP10)	32
5.3.3	Gases (SO ₂ , NO ₂ , y CO).....	38
6.	EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE	47
6.1	NORMA SECUNDARIA	47
6.1.1	Material Particulado Sedimentable.....	47
6.1.2	Dióxido de Azufre (SO ₂)	48
6.2	EVALUACIÓN DE NORMA PRIMARIA DE MP10.....	49
6.3	EVALUACIÓN DE NORMA PRIMARIA DE GASES (SO ₂ , NO ₂ , y CO)	50
7.	CONCLUSIONES	51

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido desarrollado por *Asesorías en Ingeniería Ambiental Pedro Alex Sanhueza Herrera* durante el mes de septiembre – diciembre 2009 y enero 2010 y corresponde a la evaluación sobre la calidad del aire del proyecto Sistema de Transporte de Caliza y Cal –de aquí en adelante el Proyecto–, que involucra la construcción y operación de un camino, localizado en la Cordillera de Los Andes, en la región de Atacama.

Este informe entrega la estimación de emisiones de partículas y gases para la etapa de construcción y operación del camino, así como también un análisis de la calidad del aire en términos de la depositación de partículas y las concentraciones de gases y material particulado respirable.

Dado que las emisiones esperadas debido a la construcción de las obras, y posterior operación del camino, son en su mayoría fugitivas, se utilizaron las ecuaciones y factores de emisión de la USEPA ¹ (AP-42), en su última versión. La modelación de calidad del aire fue realizada mediante el modelo de la US EPA denominado AERMOD.

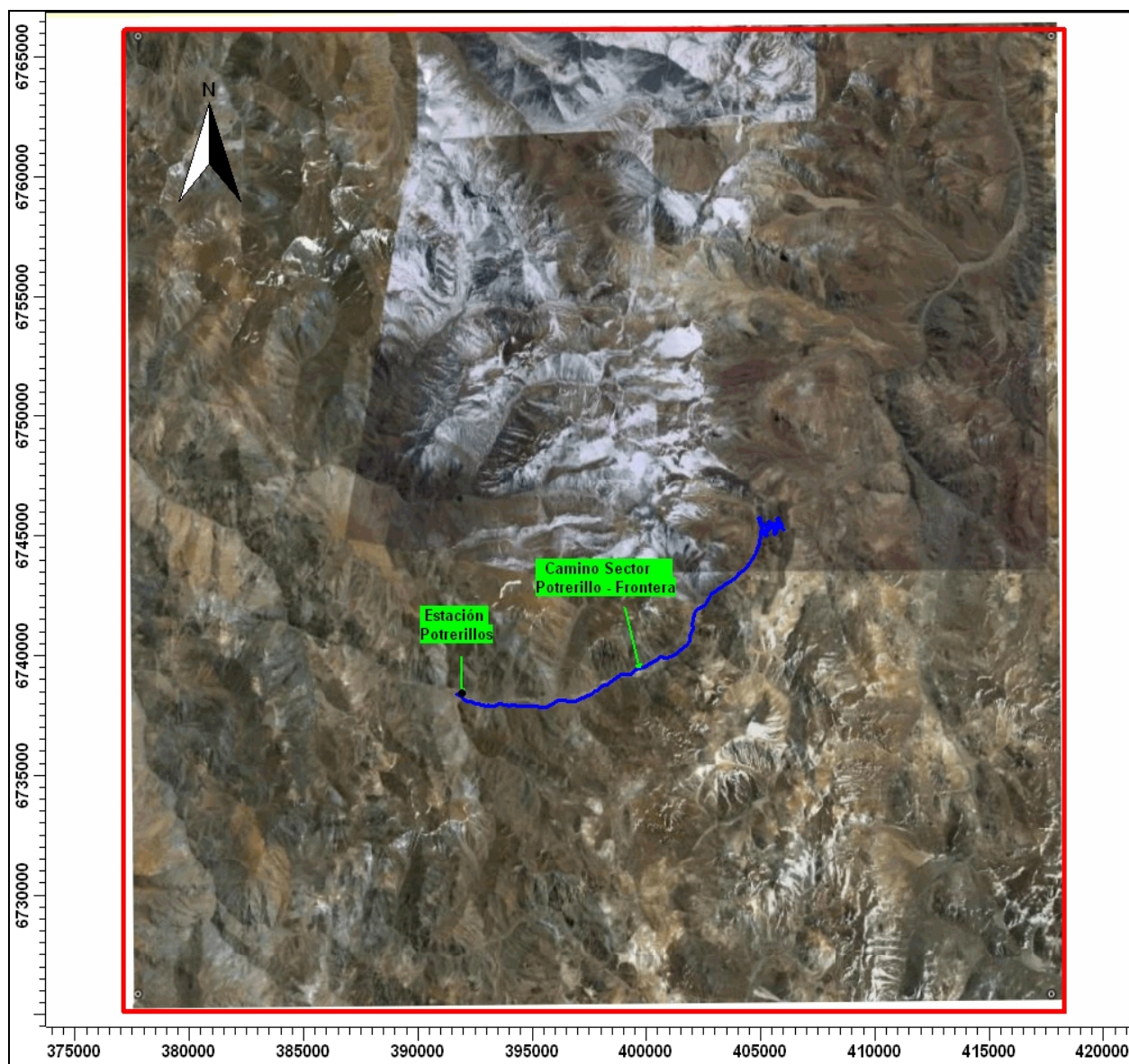
2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del proyecto considera aquella superficie que incluye a todas las fuentes de emisión de partículas y gases, además de las zonas donde se ubican receptores de interés (recursos naturales).

Con esto se obtuvo un dominio o área de estudio de 40 Km x 40 Km. La Figura 2.1, muestra la localización del proyecto, así como el área de modelación.

¹ United States Environmental Protection Agency

Figura N° 1: Área del proyecto y de modelación.



3. LÍNEA BASE

3.1 NORMATIVA AMBIENTAL

El sector donde se desarrollará el proyecto es una zona montañosa, sin asentamientos humanos cercanos. Por lo anterior, se utilizará a modo de referencia, las normas primarias de calidad del aire, las cuales están destinadas a proteger la salud humana, asociadas a los contaminantes que emitirá el proyecto, al igual que la norma secundaria de dióxido de azufre.

Tabla N° 1 muestra los valores de las normas de referencia para los distintos contaminantes emitidos durante la etapa de construcción y operación del proyecto.

Tabla N° 1: Normas primarias de calidad del aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	MP10		SO ₂		NO ₂		CO	
	24 hr	Anual	24 hr	Anual	1 hr	Anual	1 hr	8 hr
Valor	150	50	250	80	400	100	30.000	10.000
DS N°	59/98	45/01	113/02	113/02	114/02	114/02	115/02	115/02

Fuente: Elaboración Propia

Los criterios de excedencia para normas de calidad del aire primarias establecen que se supera la norma de MP10 en 24 horas cuando el percentil 98 de los datos medidos en un año calendario, en cualquier estación monitorea con representatividad poblacional (EMRP), es mayor o igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (D.S. N° 59/1998 MinSegPres). Para el caso de la norma anual del MP10, la excedencia se logra cuando el promedio en tres años consecutivos es mayor o igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (D.S. N°45/2001 MinSegPres).

Para el SO₂ en 24 horas, la excedencia de norma primaria se verifica cuando el percentil 99 de las concentraciones diarias promediados en tres años sucesivos en una estación EMRP supera el valor de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la norma anual, la excedencia se verifica si el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendario sucesivos fuere mayor o igual a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 113/2002 MinSegPres).

Para el NO₂ en una hora, la excedencia se verifica cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora es mayor o igual a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la norma anual, la excedencia del NO₂ se verifica si el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendario sucesivos fuere mayor o igual a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 114/2002 MINSEGPRES).

Para el CO en una hora, la excedencia se verifica cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora es mayor o igual a $30.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la norma de 8 horas, la excedencia del CO se verifica si el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos móviles diarios de 8 horas fuere mayor o igual a $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 115/2002 MinSegPres).

La norma secundaria de SO₂, contenida en el D.S. N°185/91 del Ministerio de Minería, divide al país en dos zonas. Para efectos del Proyecto que se evalúa es aplicable la zona norte, cuyos valores se indicaron en la Tabla N° 2. El D.S. N° 185/91, en su artículo 9° establece que “se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire cuando la concentración ambiental de SO₂, detectada en cualquier estación de muestreo localizada en la zona correspondiente, en la cual sea pertinente la aplicación de las normas de calidad del aire, excede en una de las concentraciones ya referidas”. Lo anterior tiene la interpretación de que basta que se sobrepase una vez alguna de las concentraciones normadas para decretar zona saturada por SO₂.

Tabla N° 2: Normas secundarias de calidad del aire (µg/m³)

	SO ₂		
	1-hora	24 horas	Anual
Valor	1.000	365	80
DS N°	185/91	185/91	185/91

Para analizar el particulado sedimentable en el área del proyecto, se utilizó, a modo referencial, el D.S. N° 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/m²-día. La Tabla N° 3 muestra los valores y tiempos normados.

Tabla N° 3: Norma secundaria Material Particulado Sedimentable

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

3.2 CALIDAD DEL AIRE

3.2.1 Monitoreo

Para la determinación de los niveles basales de calidad del aire, se utilizó la información del monitoreo realizado en la Estación Potrerillo (PSAD-56 Este 392.148 Norte 6.738.732) entre el 10 de Septiembre del 2008 al 6 de Noviembre del mismo año, el cual arrojó concentraciones de MP10 promedio, máxima y mínima de 5, 16, 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Considerando un criterio conservador, se escogió el mayor valor como representativo de las concentraciones basales en el área de estudio para la norma diaria y el promedio para la norma anual. Estos bajos valores de MP10 se deben a contribución natural de área, debido a que no existen asentamientos humanos y tampoco instalaciones industriales en la zona.

En el caso de los gases (CO , NO_2 , y SO_2) no existe en la zona del proyecto mediciones de dichos contaminantes, así como tampoco de material particulado total.

3.2.2 Aporte de Otros Proyectos

Dado que en la zona donde se localizará el Proyecto existe otro proyecto denominado “Mina de Caliza Potrerillo”, encontrándose aprobado ambientalmente por la Resolución Exenta N° 090/2009 de la COREMA III Región de Atacama, se considerará su aporte estimado en concentraciones para evaluar el efecto sobre la calidad del aire que tendrán junto a la etapa de construcción y operación del camino.

La Tabla N° 4 muestra el aporte a las concentraciones de los distintos contaminantes normados producto de la operación de la Mina de Caliza.

**Tabla N° 4: Aporte a las concentraciones de MP10 y Gases
Etapa de Operación Mina de Caliza en $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Contaminante	Tiempo de exposición	Aporte
MP10	Percentil 98 en 24 horas	6
	Media Anual	3
SO ₂	Máximo en 1-hora	607
	Máxima en 24 horas	58
	Percentil 99 en 24 horas	50
	Media anual	10
NO ₂	Percentil 99 en 1 hora	81
	Media anual	1,7
CO	El proyecto no genera aporte	

En el caso de material particulado total el aporte es presentado en la Tabla N° 5.

**Tabla N° 5: Aporte al Material Particulado Sedimentable
Etapas de Operación Mina de Caliza**

Tasa de Deposición	Total
Media aritmética anual (mg/m ² -d)	46
Media aritmética mensual (mg/m ² -d)	55

3.3 METEOROLOGÍA

Se han utilizado los registros meteorológicos del año 2007 de la estación Aeropotrerrillos, que es la más próxima al sitio del proyecto. La Tabla N° 6 muestra las coordenadas y variables registradas en dicha estación.

Tabla N° 6: Estación meteorológica utilizada (UTM, Datum PSAD-56)

Estación	Este (m)	Norte (m)	Variable Meteorológicas
Aeropotrerrillos	394.351	6.738.163	Temperatura Humedad Relativa Velocidad del Viento Dirección del Viento Radiación Solar

Fuente: MWH Chile

3.3.1 Temperatura

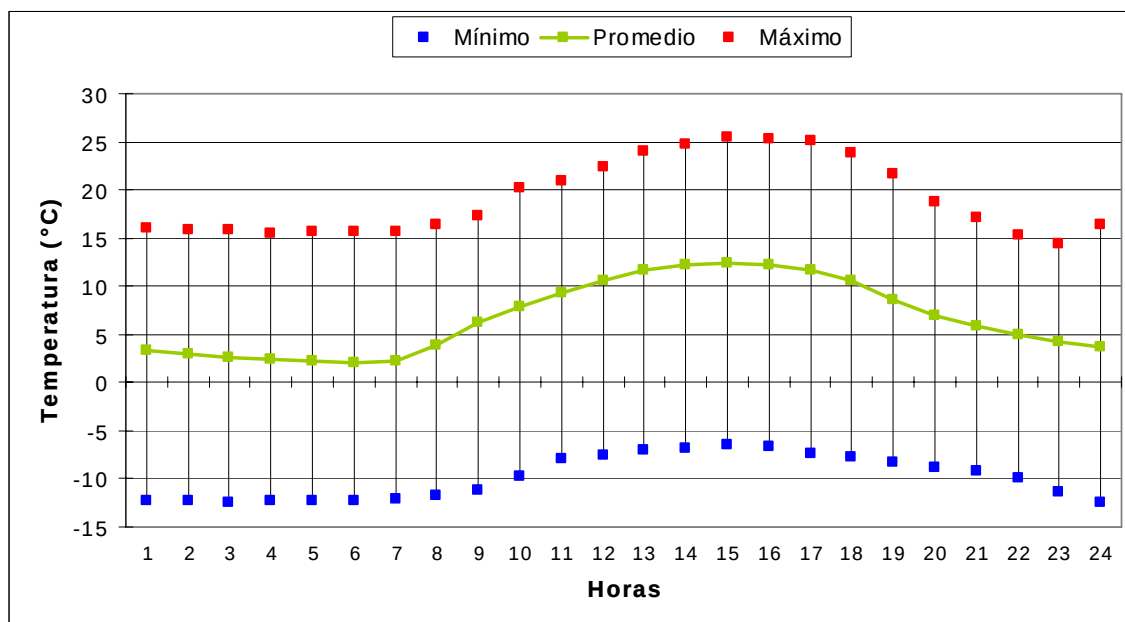
La Tabla N° 7 muestra para cada mes del año, la temperatura del aire en el área del proyecto. De ella se observa un patrón caracterizado por una gran amplitud térmica con temperaturas promedios bajas entre los meses de Abril y Octubre, cuyos valores son cercanos a los 0°C.

Tabla N° 7: Estadística Mensual de la Temperatura del Aire (°C)

Mes	Mínimo	Promedio	Máximo
Enero	2,6	12,5	23,5
Febrero	1,6	11,5	25,5
Marzo	3,5	11,3	23,7
Abril	-3,2	8,3	20,2
Mayo	-6,7	3,4	15,1
Junio	-10,4	0,9	12,4
Julio	-12,0	0,5	14,2
Agosto	-12,5	-0,1	12,7
Septiembre	-7,6	4,7	17,4
Octubre	-5,5	7,7	19,9
Noviembre	-4,5	9,2	21,7
Diciembre	0,8	10,6	21,4
Promedio	-4,5	6,7	19,0

La Figura 3.1, muestra el comportamiento de la Temperatura durante las horas del día. Se observa que la temperatura presenta sus máximas entre las 12:00 y las 18:00 horas, disminuyendo durante las horas de la noche. En general, las temperaturas se mantienen bajas (menores a 5 °C) hasta las 8:00 AM, para luego ir ascendiendo gradualmente hasta llegar a los 14°C a las 15:00 horas, cuando comienza a descender nuevamente hasta alcanzar valores de 5°C.

**Figura 3.1: Temperatura (°C), Estación Aeropotrerrillo, Año 2007
(Comportamiento Horario)**



3.3.2 Humedad Relativa

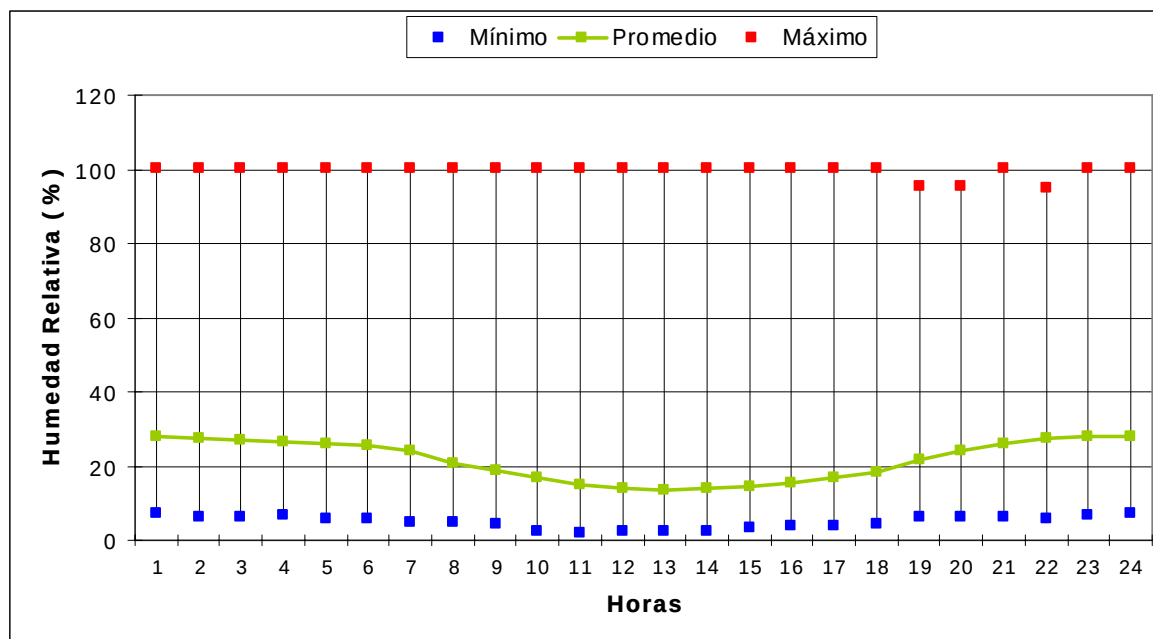
La Tabla N° 8 muestra el comportamiento mensual de la humedad relativa para el año 2007 en la estación Aeropotrerrillos. De ella se observa que el promedio permanece en torno a un 22% de humedad relativa durante prácticamente todos los meses del año. Al analizar las extremas se puede notar que los valores máximos de humedad relativa ocurren durante los meses de invierno.

Tabla N° 8: Estadística Mensual de la Humedad Relativa (%)

Mes	Mínimo	Promedio	Máximo
Enero	4,0	28,9	92,1
Febrero	2,4	22,2	66,1
Marzo	3,4	20,8	50,5
Abril	4,4	19,0	100,0
Mayo	3,1	22,5	100,0
Junio	5,2	30,2	100,0
Julio	7,5	29,2	100,0
Agosto	4,8	20,2	98,2
Septiembre	3,2	14,2	100,0
Octubre	3,5	13,7	42,0
Noviembre	2,0	16,5	60,7
Diciembre	4,0	20,6	65,9
Promedio	4,0	21,5	81,3

La Figura 3.2, muestra el comportamiento de la Humedad Relativa durante las horas del día. Se observa una disminución de esta variable entre las 11:00 y las 16:00 horas para luego ir ascendiendo hasta llegar a un 30% de humedad relativa como valor promedio.

**Figura 3.2: Humedad Relativa (%), Estación Aeropotrerrillo, Año 2007
(Comportamiento Horario)**



3.3.3 Radiación Solar

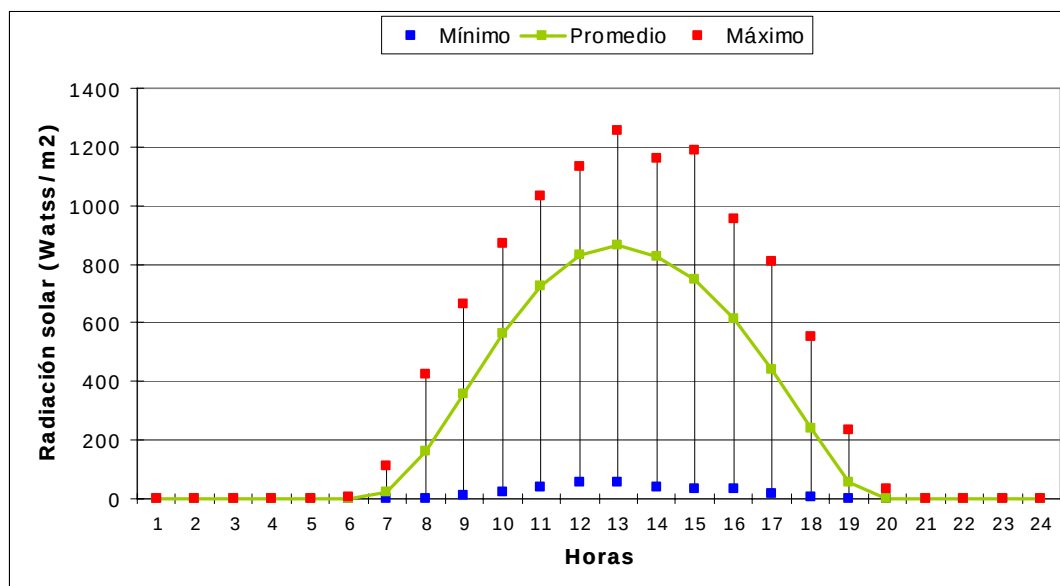
La Tabla N° 9 muestra el comportamiento mensual de la radiación solar para el año 2007 en la estación Aeropotrerrillos. De ella se observa que el promedio anual es de 269 (Watts/m²) y los valores mínimos ocurren durante los meses de invierno.

Tabla N° 9: Estadística Mensual de Radiación Solar (Watts/m²)

Mes	Mínimo	Promedio	Máximo
Enero	0,0	371,7	1189,0
Febrero	0,0	352,4	1126,0
Marzo	0,0	305,6	1057,0
Abril	0,0	207,8	923,0
Mayo	0,0	153,2	829,0
Junio	0,0	111,1	752,0
Julio	0,0	157,5	727,0
Agosto	0,0	205,7	939,0
Septiembre	0,0	263,3	1119,0
Octubre	0,0	332,6	1134,0
Noviembre	0,0	371,7	1153,0
Diciembre	0,0	393,2	1253,0
Promedio	0,0	268,8	1016,8

La Figura 3.3, muestra el comportamiento de la Radiación Solar durante las horas del día. Se observa una disminución de esta variable durante las horas de la noche (20:00 y 07:00 horas), mientras que entre las 08:00 y las 18:00 horas los valores son mayores a los 100 Watts/m² presentando el máximo en torno a las 13:00 horas.

Figura 3.3: Radiación Solar (Watts/m²), Estación Aeropotrerrillo, Año 2007 (Comportamiento Horario)



3.3.4 Velocidad del viento

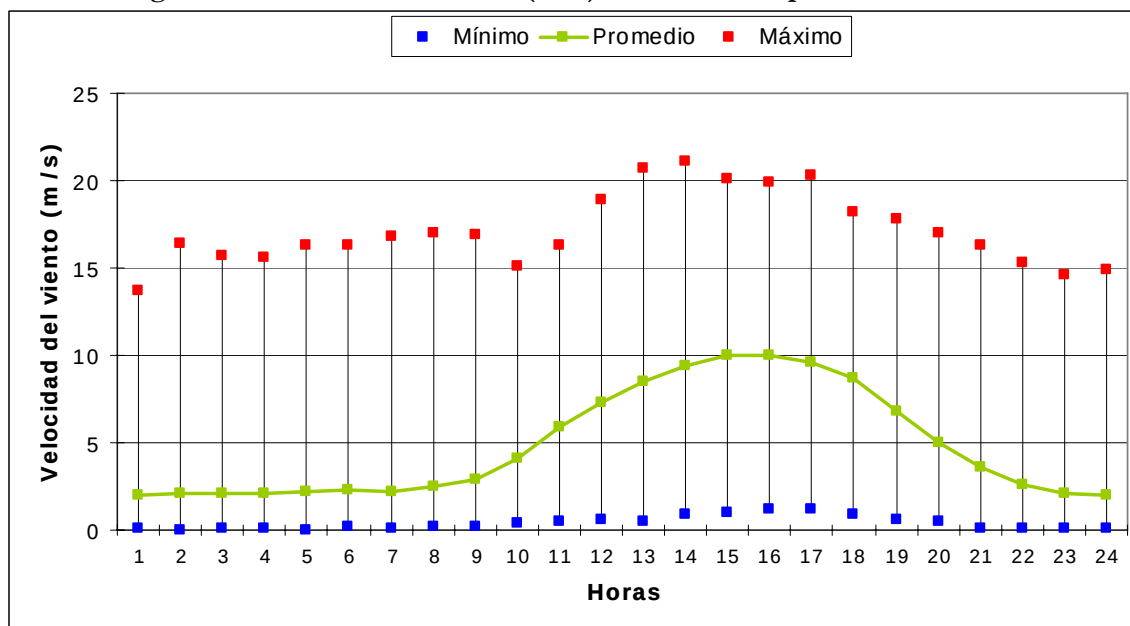
La velocidad del viento en el área del proyecto se caracteriza por tener un comportamiento relativamente homogéneo durante todo el año. De la Tabla N° 10 se desprende que en todos los meses existen ráfagas de viento (vientos mayores a 10 m/s) y con mínimas cercanas a 0 m/s.

Tabla N° 10: Estadística Mensual de la Velocidad del viento (m/s)

Mes	Mínimo	Promedio	Máximo
Enero	0,0	4,8	13,6
Febrero	0,2	5,1	15,6
Marzo	0,1	4,8	15,6
Abril	0,2	4,3	13,7
Mayo	0,3	4,5	14,8
Junio	0,2	5,0	21,2
Julio	0,3	4,2	13,9
Agosto	0,3	4,9	17,2
Septiembre	0,5	4,7	17,7
Octubre	0,3	5,5	16,3
Noviembre	0,1	5,0	14,7
Diciembre	0,1	5,2	16,4
Promedio	0,2	4,8	15,9

La distribución horaria de la velocidad del viento se muestra gráficamente en la Figura 3.4. De ella se observa que en promedio las velocidades del viento tienden a aumentar a partir de las 10:00 de la mañana, hasta llegar a un máximo a las 15:00 horas en torno a los 10 (m/s), para luego descender nuevamente.

Figura 3.4: Velocidad del viento (m/s), Estación Aeropotrillo, Año 2007



3.3.5 Dirección del Viento

La Figura 3.5 muestra la rosa de vientos para el año 2007. De ella se observa que en el área del proyecto los vientos son predominantemente del Sur-Oeste. Con un vector resultante de 228°. Se presentan condiciones de calma en un 4,9% del tiempo, y la velocidad promedio del viento es de 4,8 m/s.

La Figura 3.6 muestra la rosa de vientos para el año 2007 durante el día (08:00 a 20:00 hrs), el viento es predominantemente del Sur-Oeste, con 3,1% de calmas, y con velocidad promedio de 5,34 m/s.

La Figura 3.7 muestra la rosa de vientos para el año 2007 durante la noche (21:00 a 07:00 horas), los vientos provienen principalmente desde el Sur-Este, son vientos débiles, en promedio con 2,5 m/s, y un alto porcentaje de calmas (9,6%).

Figura 3.5: Rosa de viento anual en el área del proyecto

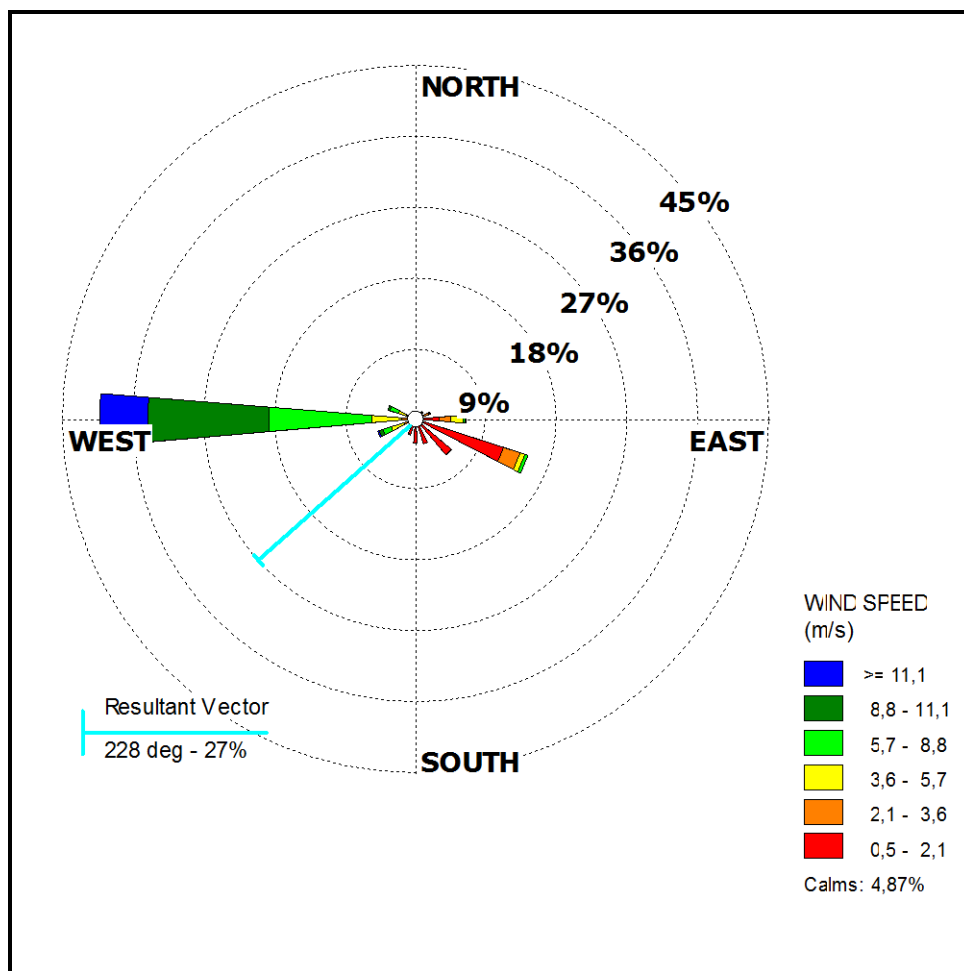


Figura 3.6: Rosa de viento durante el Día, en el área del proyecto

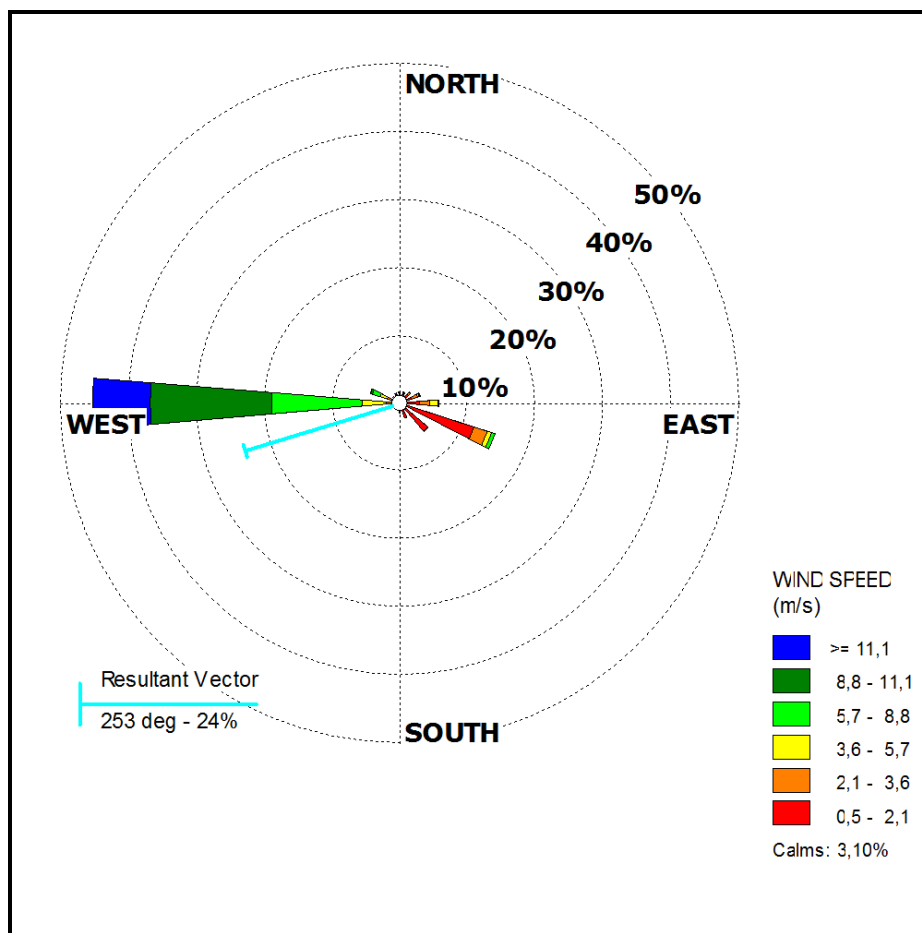
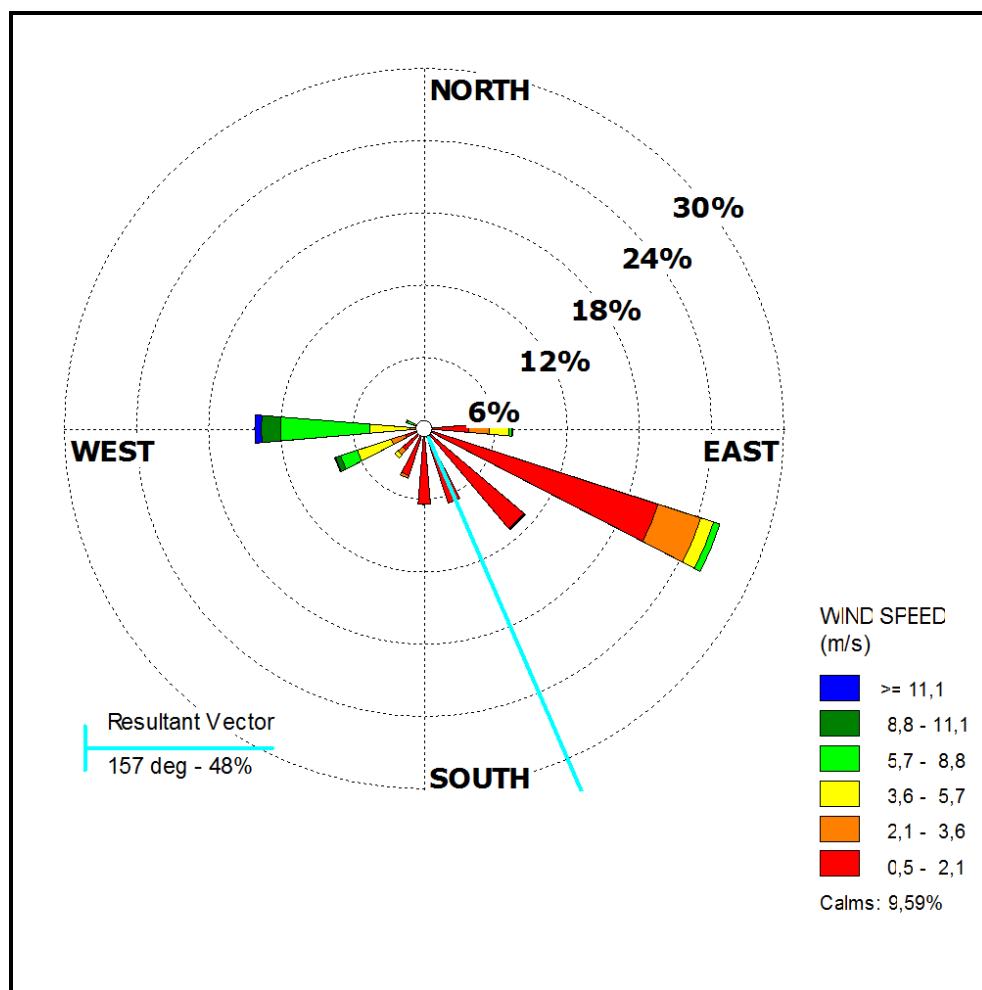


Figura 3.7: Rosa de viento durante la Noche, en el área del proyecto



4. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

En este capítulo se presenta la estimación de emisiones para la etapa de construcción y operación del Proyecto, debido a todas las actividades que generan particulado y/o gases.

4.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo a la descripción del proyecto, la etapa de construcción del camino tendrá una duración total de un año, y las actividades que generarán emisiones de partículas son las siguientes:

- Excavación y movimiento de tierra
- Transferencias
- Tronaduras
- Tránsito de maquinaria y camiones por caminos no pavimentados
- Generadores eléctricos

Estas actividades generan principalmente emisiones fugitivas de material particulado, las cuales se estiman en base a Factores de Emisión de la USEPA, en su compendio AP-42, en su última versión, y con los niveles de actividad del proyecto.

4.1.1 Excavación y movimiento de tierra

La excavación y movimiento de tierra consiste en la remoción de material dentro de los límites del área a intervenir, esta actividad genera emisiones de partículas (totales, y fracción respirable MP10). Para el cálculo de la emisión asociada a esta actividad se han utilizado las ecuaciones de la USEPA contenida en la Tabla 11.9-2 que entrega el factor emisor en kg/h. Las ecuaciones utilizadas para determinar las emisiones de PTS y PM10 se muestran a continuación:

$$FE_{PTS} = 2,6 * s^{1.2} / M^{1.3} \text{ (kg/h)} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

$$FE_{MP10} = K * 0,45 * s^{1.5} / M^{1.4} \text{ (kg/h)} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Donde:

- FE : Factor emisor (Kg/h);
s : Contenido de silt (< malla 200) del material (%);
M : Contenido de humedad del material (%);
K : 0,75, factor de escalamiento para MP10.

Considerando las características del material de un 3% de silt y una humedad de 3%, se obtiene un factor de emisión para esta actividad de 2,329 kg/h para PTS y de 0,377 Kg/h para MP10. De acuerdo a la descripción del proyecto las maquinarias que desarrollan cada una de las actividades presentes en la Tabla N° 11 trabajan 12 horas al día los siete (7) días de la semana, con lo que se obtiene una emisión de 195,7 Kg/día de PTS y de 31,6 Kg/día para MP10.

4.1.2 Transferencia de material

Se generará emisión de partículas totales (PTS) y material particulado respirable (MP10) al transferir el material producto del movimiento de tierra. Para estimar las emisiones debida a la transferencia de materiales, se utilizó la ecuación contenida en el AP42 Ch13.2.4.

La ecuación es:

$$FE = \frac{k * 0.0016 * \left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Donde:

- FE : Factor emisor, en kilos emitidos del contaminante por cada tonelada de material transferido;
 k : coeficiente de tamaño de partícula emitida, 0,74 para PTS, y 0,35 para MP10 (adimensional);
 U : velocidad del viento promedio en (m/s); y
 M : contenido de humedad del material, en (%).

La velocidad promedio del viento en la zona es de 4,8m/s (ver Tabla N°8), y la humedad del material de un 3%, con lo cual se obtiene un factor de emisión de 1,85E-03 kg de PTS por tonelada transferida, y de 8,75E-04 Kg de MP10 por tonelada transferida.

El volumen de material a remover para la construcción del camino, de acuerdo a los datos proporcionados por la ingeniería del Proyecto al momento de realizar la modelación fue de 246.000 m³. Al utilizar una densidad de 2,6 ton/m³, se obtiene una emisión de PTS de 3,24 Kg/día y para MP10 de 1,53 Kg/día.

4.1.3 Tronaduras

La construcción del camino implicará realizar tronaduras para despejar las áreas rocosas. Para estimar las emisiones de partículas debido a esta actividad, se utilizará la ecuación (4.4) de la US EPA, que considera como variable la superficie a tronar.

$$FE_i = K * 0,00022 * A^{1,5} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Donde:

- FE : Factor emisor, en kilos emitidos del contaminante i por cada tronadura;

- K : coeficiente de tamaño de partícula emitida, 1 para PTS, y 0,52 para MP10 (adimensional); y
- A : superficie a tronar (m²).

Al aplicar la ecuación 4.4, considerando una superficie de 7 m² se obtiene un factor de 4,07 E-03 Kg PTS por tronadura, y de 2,12 E-03 Kg MP10 por tronadura. Se estiman dieciséis tronaduras en total, con una frecuencia de dos tronaduras al mes. Considerando la información anterior se obtiene una emisión de 0,004 Kg de PTS al día, y de 0,002 Kg de MP10 al día.

4.1.4 Tránsito de maquinaria y camiones por caminos no pavimentados

Durante la etapa de construcción del camino se generarán emisiones de PTS y MP10 por levantamiento de polvo debido al tránsito de maquinaria y camiones que circularan en la obra, además del tránsito de camiones que transportarán los insumos y materias primas. Para estimar las emisiones debido al tránsito por caminos no-pavimentados.

$$FE = 281,9 * k * (s/12)^a * (W/3)^b \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Donde:

- FE : Factor emisor (gr/VKT);
- k : Factor de escalamiento para PTS de 4,9, y para MP10=1,5;
- s : Porcentaje de silt (< malla 200) (%) igual a 10%;
- W : Peso promedio del vehículo (ton);
- a : Constante empírica 0,7 para PTS, y 0,9 para MP10;
- b : Constante empírica 0,45 para PTS y MP10

Utilizando la información aportada por el proyecto, en relación al número de viajes (114/día), y con la ecuación 4.5, se obtiene una emisión de 112,1 Kg de PTS/día asociado a la maquinaria y de 42,7 Kg de PTS/día asociado a camiones producto de 54 viajes al día que transportan insumos, mientras que para material particulado respirable se obtiene una emisión total de 45,7 Kg de MP10/día debido al tránsito de equipos de trabajo.

4.1.5 Grupos Eléctrogenos

Durante la etapa de construcción se utilizarán generadores a diesel para proveer la energía necesaria a los equipos. La utilización de dichos generadores implicará la emisión de gases y partículas. Para ello se utilizaron los factores emisivos del AP-42 (ver Tabla N° 12).

Tabla N° 11: Factores Emisivos asociados a Grupos Electrógenos

Contaminante	Factor Emisivo (Kg/KW-hr)
MP10	0,00134
NO ₂	0,01880
SO ₂	0,00125
CO	0,00406

De acuerdo al proyecto de ingeniería se utilizaran dos generadores eléctricos de 250 KW con motores de 400 HP, las emisiones se muestran en la Tabla N° 13.

Tabla N° 12: Emisión (Kg/día) asociada a Grupos Electrógenos

Contaminante	Emisión (Kg/día)
MP10	8,0
NO ₂	112,8
SO ₂	7,5
CO	24,4

4.2 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La Tabla N° 14, muestra un resumen de las emisiones de PTS estimadas durante la etapa de construcción. De ella se observa que la etapa de Construcción generará 361,7 Kg/d de PTS, de los cuales un 96,9% corresponde a la emisión producto del movimiento de material y al tránsito de maquinaria y camiones por caminos no pavimentados.

Tabla N° 13: Resumen de las Emisiones de PTS Etapa de Construcción

Etapa	Fuente de Emisión	Emisión (Kg/día)	%
Construcción	Movimiento de material	195,7	54,1
	Transferencias producto del Movimiento de Tierra	3,2	0,9
	Tronadura	0,004	0,0
	Tránsito de maquinaria por caminos no pavimentados	112,1	31,0
	Tránsito de camiones por caminos no pavimentados	42,7	11,8
	Generadores eléctricos	8,0	2,2
Total Construcción PTS		361,7	100

La Tabla N° 15, muestra un resumen de las emisiones de MP10 estimadas durante la etapa de construcción. De ella se observa que la etapa de Construcción generará 86,8 Kg/d de MP10, de los cuales un 89% corresponde a la emisión producto del movimiento de material y del tránsito de maquinaria y camiones por caminos no pavimentados.

Tabla N° 14: Resumen de las Emisiones de MP10 Etapa de Construcción

Etapa	Fuente de Emisión	Emisión (Kg/día)	%
Construcción	Movimiento de material	31,6	36,4
	Transferencias producto del Movimiento de Tierra	1,5	1,8
	Tronadura	0,002	0,0
	Tránsito de maquinaria por caminos no pavimentados	33,1	38,1
	Tránsito de camiones por caminos no pavimentados	12,6	14,5
	Generadores eléctricos	8,0	9,3
Total Construcción MP10		86,8	100

La Tabla N°16, muestra un resumen de los gases emitidos producto de la operación de los grupos electrógenos durante la etapa de construcción.

Tabla N° 15: Resumen de las Emisiones de Gases Etapa de Construcción

Contaminante	Emisión (Kg/día)
NO ₂	112,8
SO ₂	7,5
CO	24,4

4.3 ETAPA DE OPERACIÓN

Durante esta etapa, las emisiones se generarán debido al tránsito de camiones. El trazado del camino se encuentra sobre la cota 3.000 msnm, y todo el tramo se encontrará con bischofita, y por lo tanto para estimar la emisión en la etapa de operación, se ha utilizado la ecuación del AP-42 para determinar la emisión de material particulado debida al tránsito de camiones por caminos no pavimentados (ver ecuación 4.6).

$$FE = 281,9 * k * (s/12)^a * (W/3)^b \quad \text{Ecuación (4.6)}$$

Donde:

- FE : Factor emisor (gr/VKT);
 k : Factor de escalamiento para PTS de 4,9, y para MP10=1,5;
 s : Porcentaje de silt (< malla 200) (%) igual a 10%;
 W : Peso promedio del vehículo (ton) igual a 50 ton;
 a : Constante empírica 0,7 para PTS, y 0,9 para MP10;
 b : Constante empírica 0,45 para PTS y MP10

La estimación de emisiones se ha realizado considerando un escenario conservador de 144 camiones al día circulando en el área del Proyecto. En base a lo anterior la emisión esperada de PTS será de 1084 Kg/día, y de material particulado respirable de 320 Kg/día.

4.4 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES ETAPA DE OPERACIÓN

Las Tablas N° 17 y 18, muestran un resumen de las emisiones de PTS y MP10 estimadas durante la etapa operación del camino respectivamente.

Tabla N° 16: Resumen de las Emisiones de PTS Etapa de Operación

Etapa	Fuente de Emisión	Emisión (Kg/día)
Operación	Tránsito vehicular	1084

Tabla N° 17: Resumen de las Emisiones de MP10 Etapa de Operación

Etapa	Fuente de Emisión	Emisión (Kg/día)
Operación	Tránsito vehicular	320

5. MODELACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE

5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO

Los modelos 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) y reconocido por la autoridad ambiental chilena, denominado AERMOD, ampliamente utilizado en simulación del transporte, dispersión, y depositación de contaminantes debido a distintos proyectos, entre ellos la construcción y operación de caminos.

El modelo AERMOD, utiliza información meteorológica local y contiene ecuaciones para ajustar las velocidades del viento a distintas alturas. Para esto utiliza un pre-procesador denominado AERMET. 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 topografía se procesa con el módulo AERMAP.

La ecuación de distribución gaussiana emplea cálculos que requiere de parámetros de dispersión (σ_y y σ_z), altura de la fuente, y tasa de emisión para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran viento abajo de la emisión.

La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

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

Donde:

c	:	Concentración (g/m³)
u	:	Velocidad del viento a la altura efectiva de la fuente (m/s)
Q	:	Emisión del contaminante (g/s)
σ_y	:	Coefficiente de dispersión horizontal (m)
σ_z	:	Coefficiente 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:

$$c = \frac{Q}{u2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[\exp - 0.5 \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - 0.5 \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 + \sum_{N=1}^k \left(\exp - 0.5 \left(\frac{z-H-2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - 0.5 \left(\frac{z+H-2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - 0.5 \left(\frac{z-H+2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - 0.5 \left(\frac{z+H+2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2 \right) \right]$$

El modelo AERMOD entrega como resultados la concentración y la depositación de contaminantes. La depositación, expresada en masa de materia particulada por unidad de superficie y tiempo (g/m²-año) se utiliza para estimar la profundidad del material depositado sobre los recursos naturales existentes en el área del Proyecto a través de la siguiente expresión.

$$P_m = T_d / \rho$$

Donde:

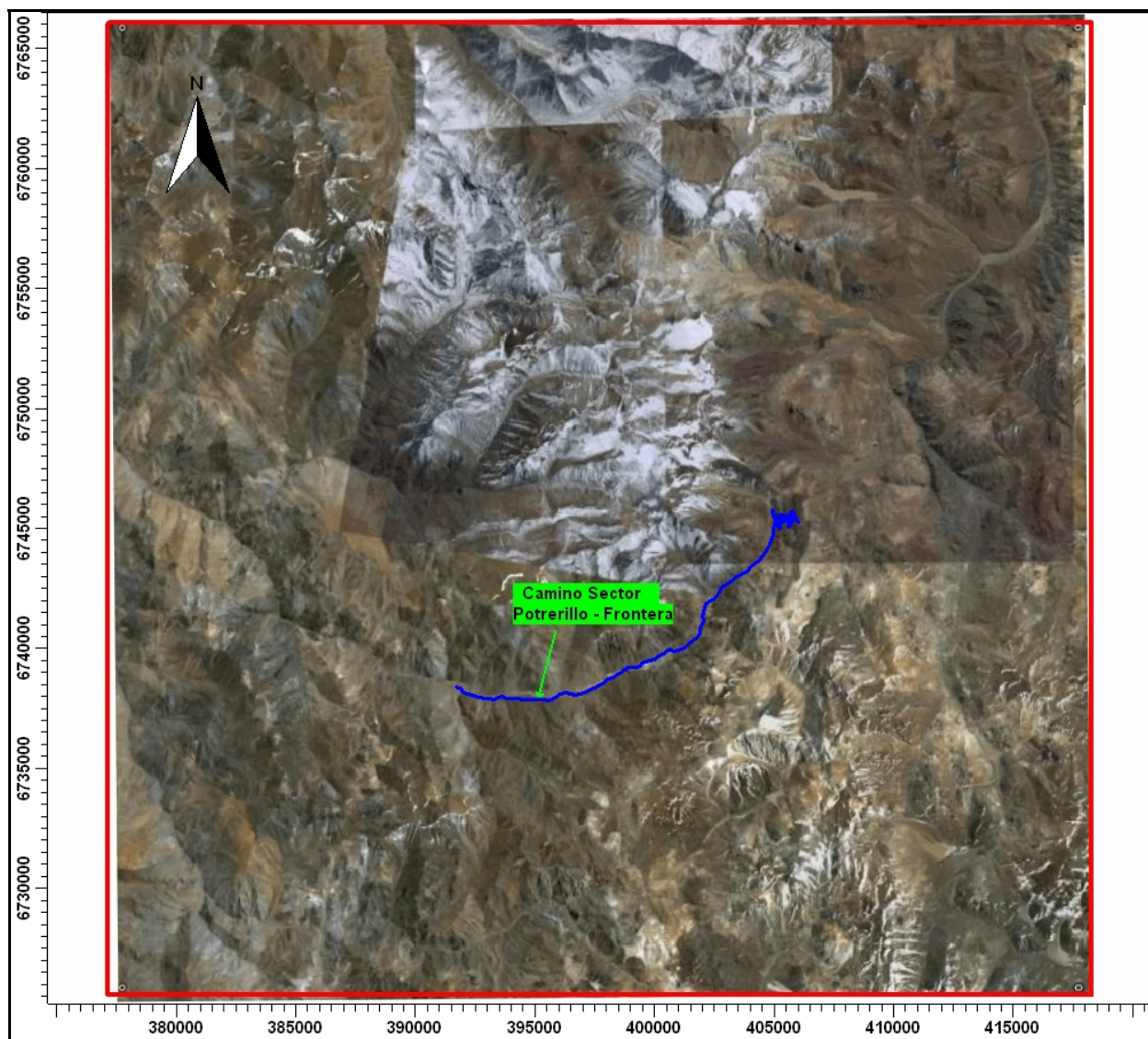
- P_m : Profundidad del material particulado (mm/año)
- T_d : Tasa de depositación de materia particulada (g/m²-año)
- ρ : Densidad del particulado 1700 (g/m³-mm)

5.2 DOMINIO DE MODELACIÓN

Se ha definido un área de modelación que incluye el camino proyectado en el valle del río Potrerillo desde la quebrada Las Talas hasta el límite con la República de Argentina. Lo anterior se logra al considerar una superficie de 40x40 kilómetros. La Figura 5.1 muestra el dominio de modelación utilizado. El origen del dominio se encuentra en las coordenadas UTM- Huso 19 Sur, E: 377.704 m y N: 6.725.913 m, que corresponden a la esquina SW.

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 AeroPotrerillo del año 2007.

Figura 5.1: Dominio de Modelación



5.3 RESULTADO DE LA MODELACIÓN

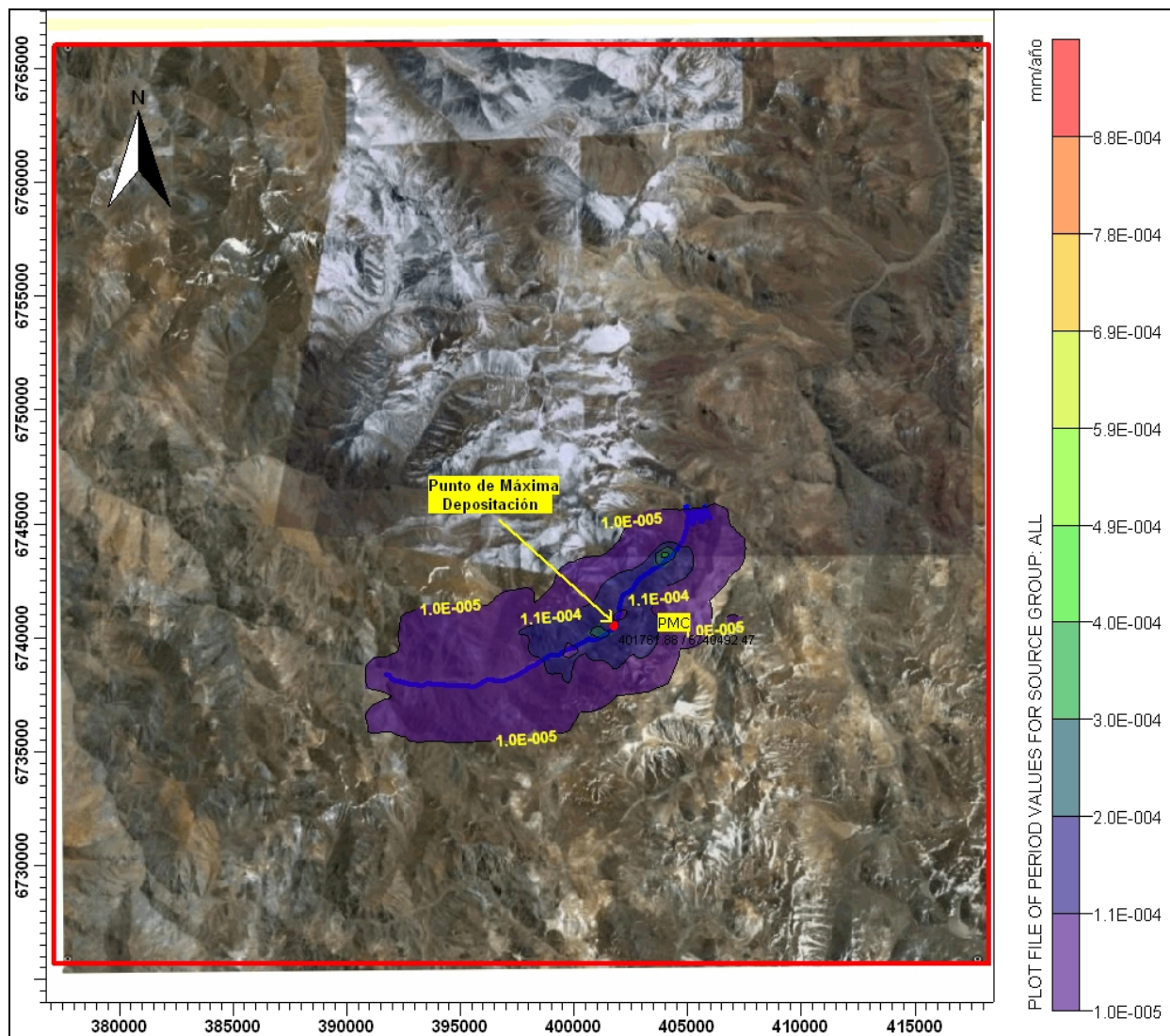
5.3.1 Depositación de materia particulada

Etapas de Construcción

La Figura 5.2 muestra la depositación de materia particulada en un año para la etapa de construcción. De ella se observa que la máxima depositación de polvo sería de $8,8E-04$ mm al año, y se obtendría a una distancia de 75 metros al norte del camino.

Se estimaron además, las tasas de depositación media aritmética mensual de materia particulada, determinándose de ellas la máxima diaria, la cual resultó ser de $6,9 \text{ mg/m}^2\text{-d}$ y la tasa de depositación diaria promedio anual, la cual fue de $4,1 \text{ mg/m}^2\text{-d}$. Las Figuras 5.3 y 5.4 muestran las tasas de depositación de materia particulada en sus métricas media aritmética mensual y anual, respectivamente.

Figura 5.2: Deposición de polvo sedimentable (mm/año)
Etapa de Construcción



**Figura 5.3: Tasa de Depositación de polvo ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) media mensual
Etapas de Construcción**

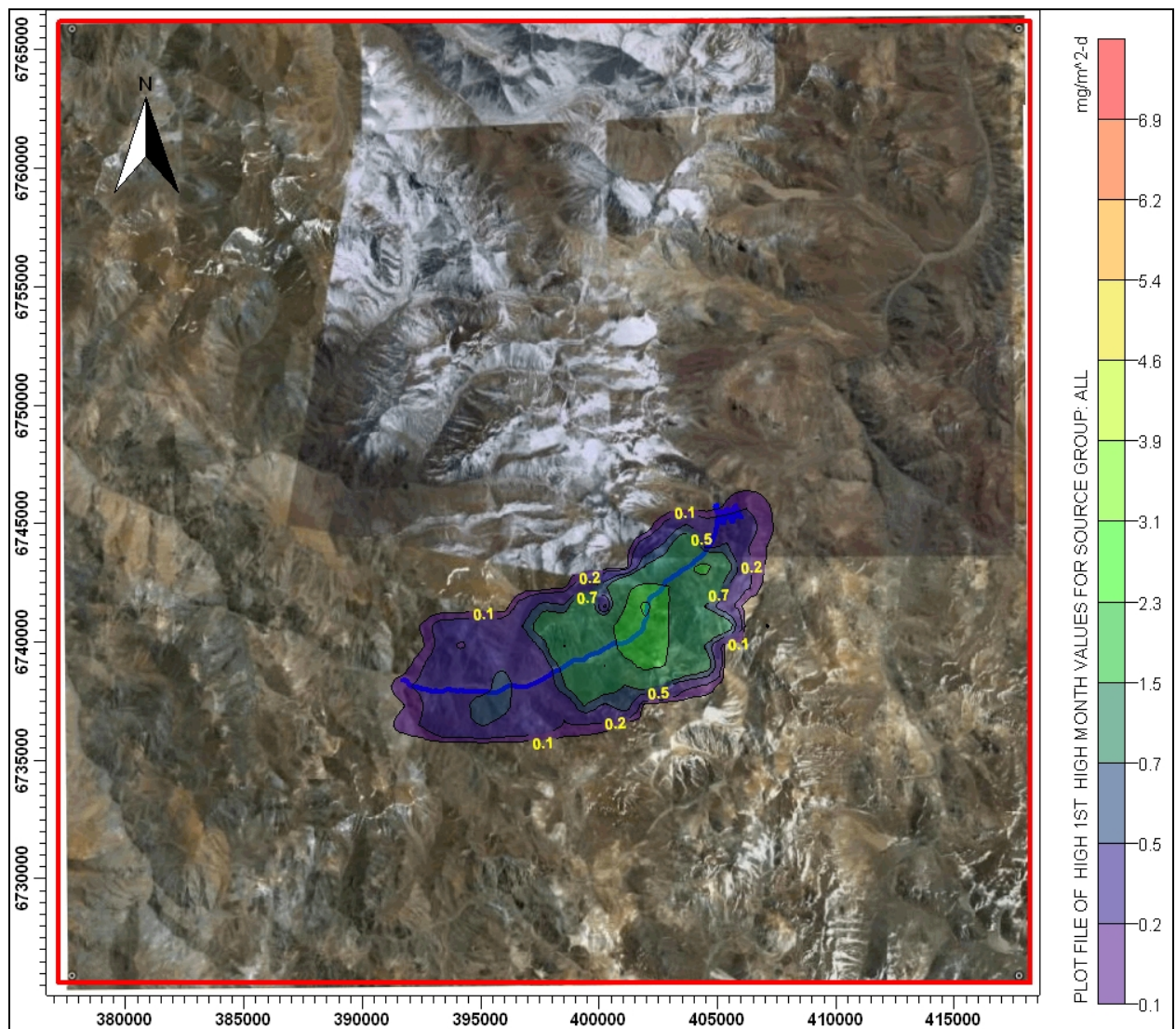
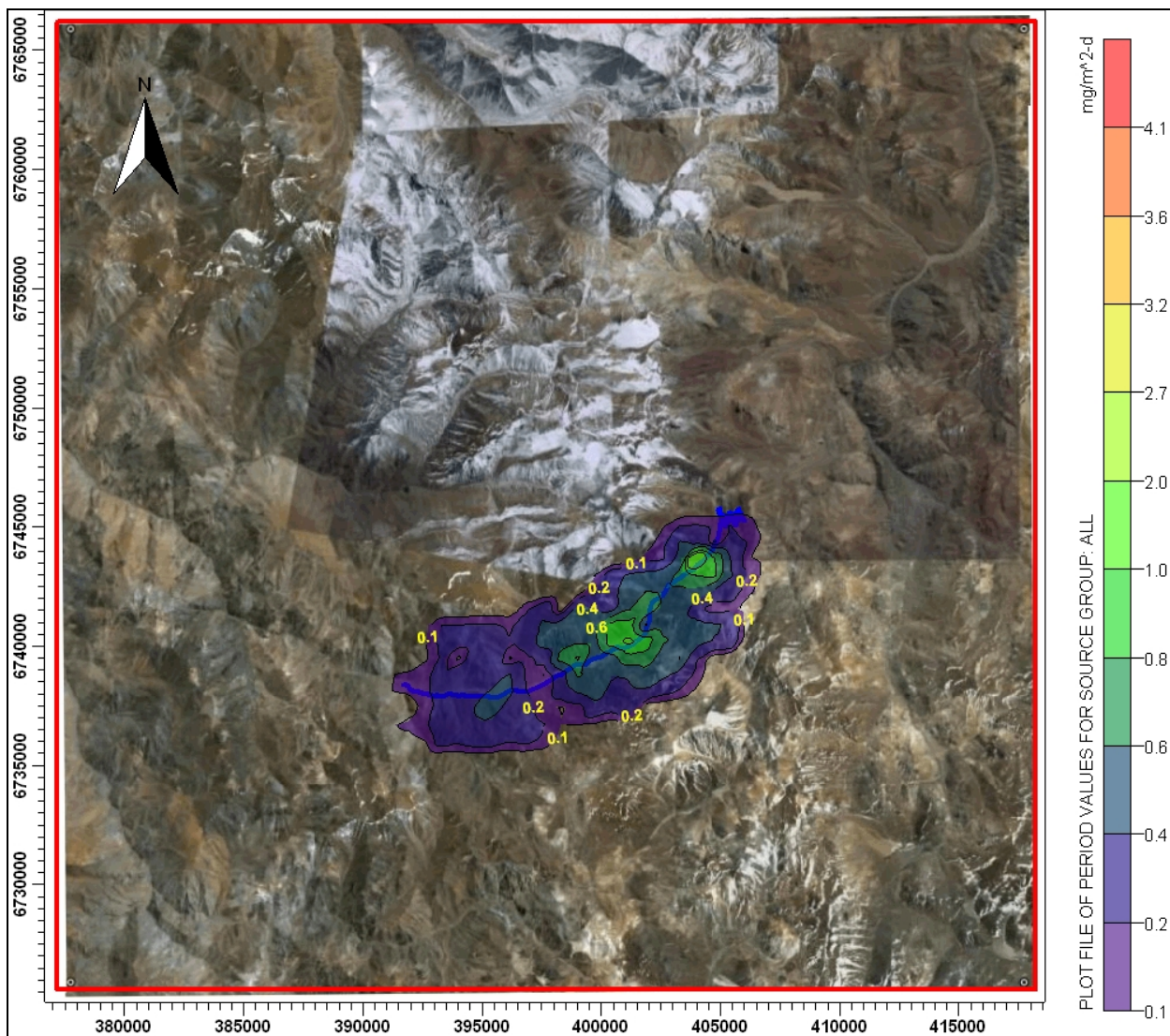


Figura 5.4: Tasa de Depositación de polvo ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) media anual
Etapas de Construcción



Etapas de Operación

La Figura 5.5 muestra la depositación de materia particulada en un año, producto de la operación del camino. De ella se observa que la máxima depositación de polvo sería de $4,8\text{E}-03$ mm, y se obtendría a una distancia de 70 metros al norte del camino.

Se estimaron además, las tasas de depositación media aritmética mensual de materia particulada, determinándose de ellas la máxima diaria, la cual resultó ser de $24,8 \text{ mg/m}^2\text{-d}$ y la tasa de depositación diaria promedio anual, la cual fue de $22,3 \text{ mg/m}^2\text{-d}$. Las Figuras 5.6 y 5.7 muestran las tasas de depositación de materia particulada en sus métricas media aritmética mensual y anual, respectivamente.

Figura 5.5: Deposición de polvo sedimentable (mm/año)
Etapa de Operación

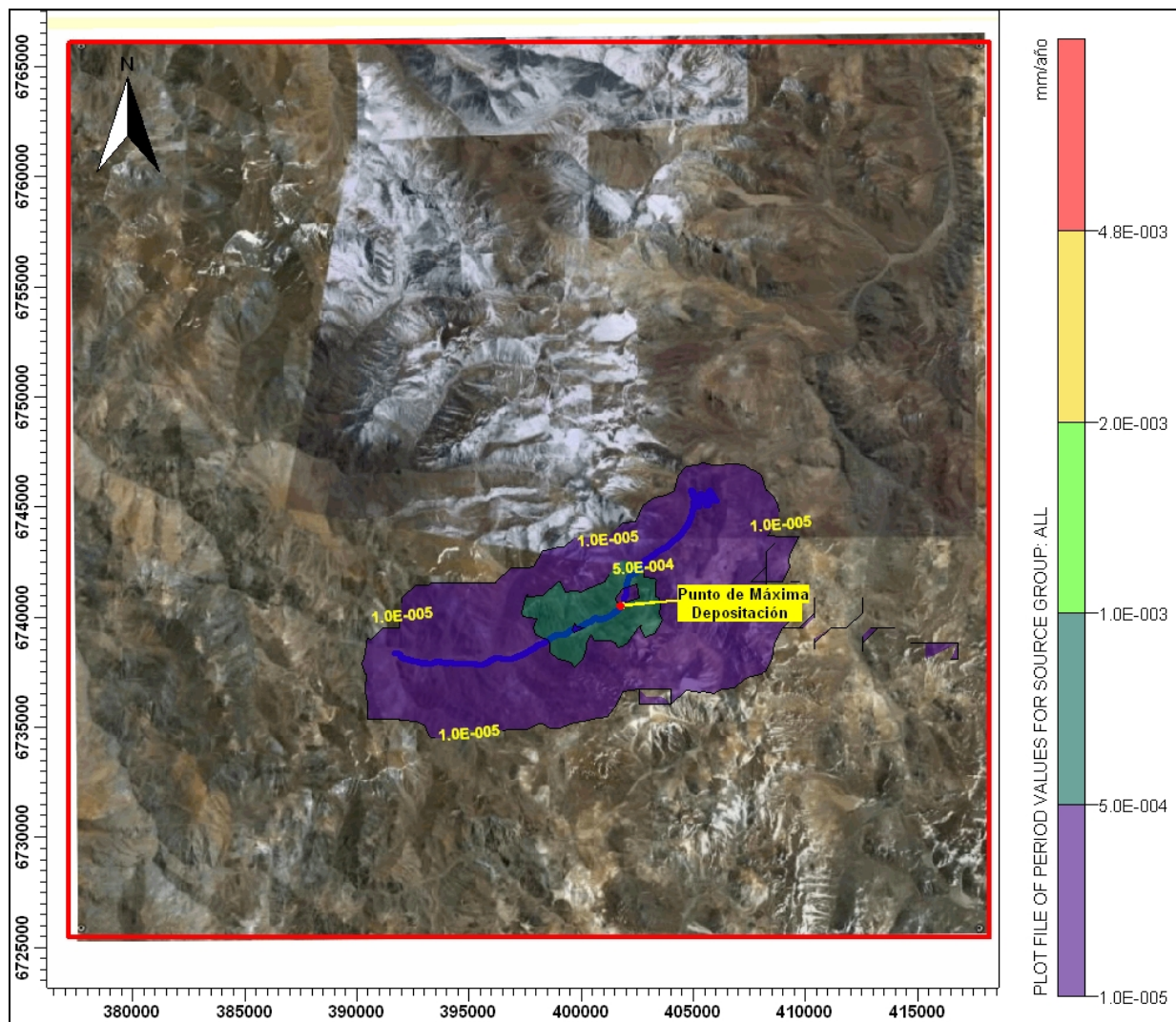


Figura 5.6: Tasa de Depositación de polvo ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) media mensual
Etapas de Operación

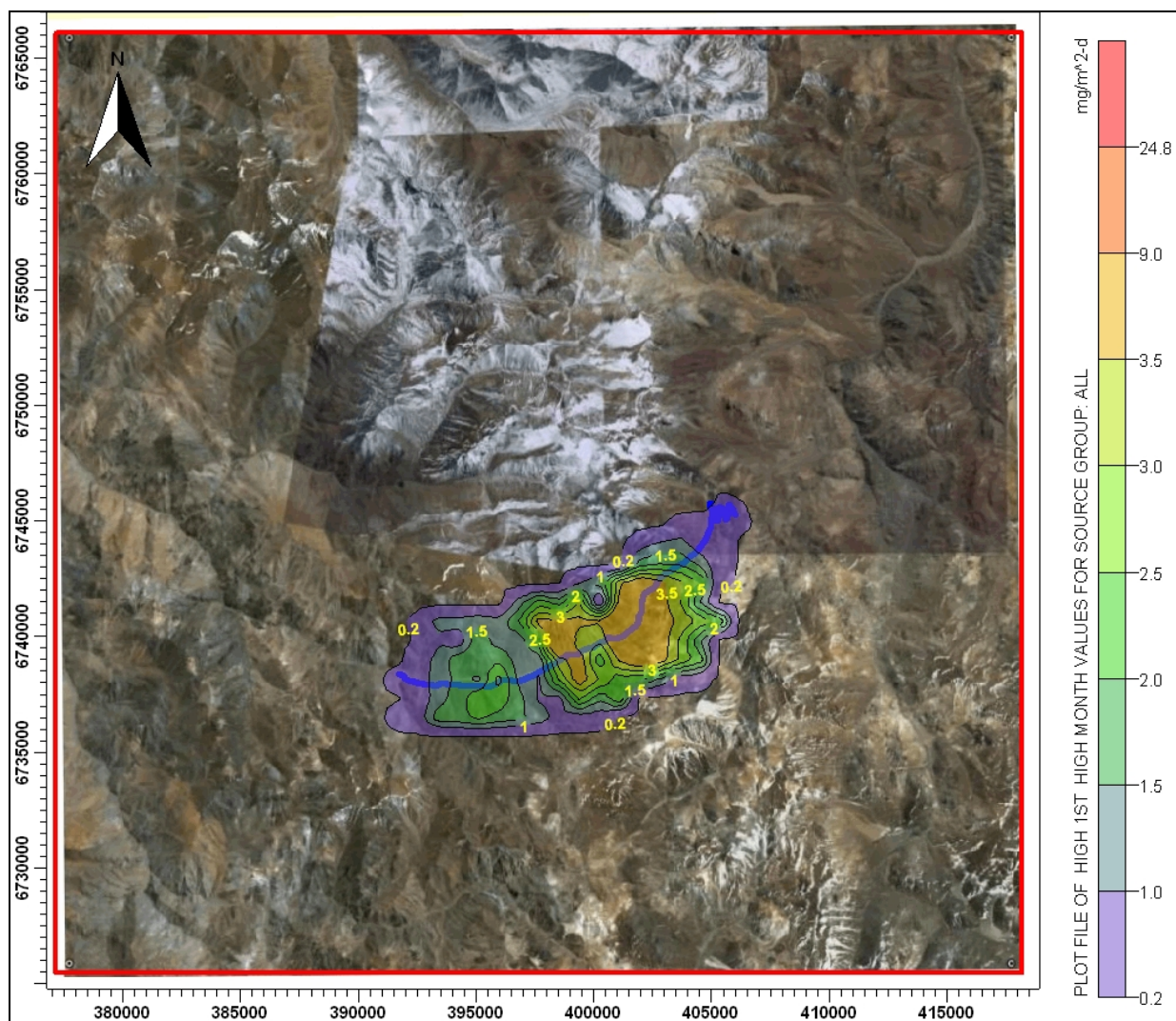
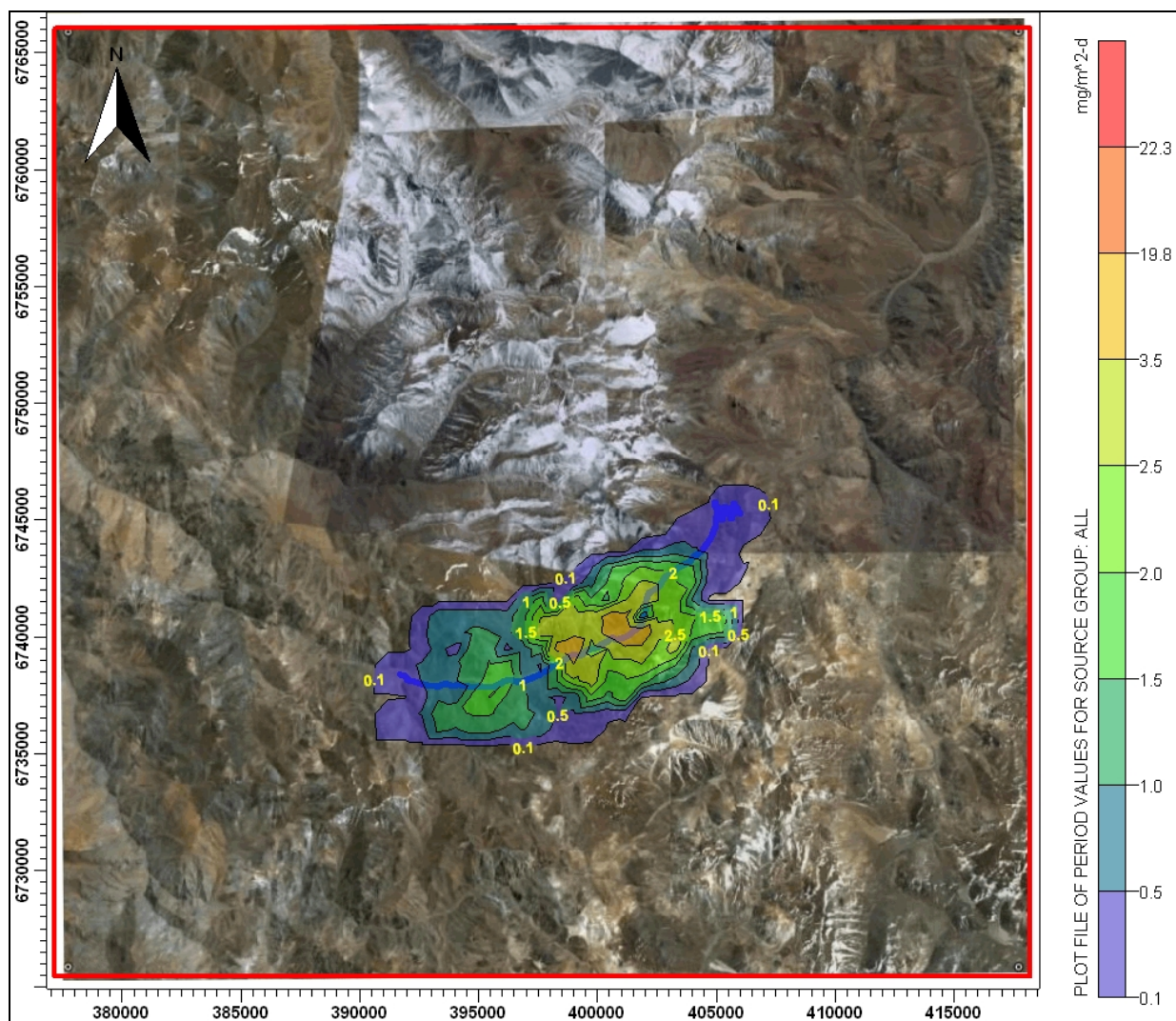


Figura 5.7: Tasa de Depositación de polvo ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) media anual
Etapa de Operación



5.3.2 Material Particulado Respirable (MP10)

Etapas de Construcción

Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran la concentración de material particulado respirable (MP10), debido a la etapa de construcción, en sus métricas diarias y anual, respectivamente. De ellas se observa que en la estación de monitoreo de Potrerillos la etapa de construcción no produce un efecto significativo sobre la calidad del aire, ya que sus concentraciones en ambas métricas son de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La máxima concentración de MP10 es de 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en su métrica diaria y de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en su métrica anual.

**Figura 5.8: Concentración de MP10- Percentil 98 en 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Etapas de Construcción**

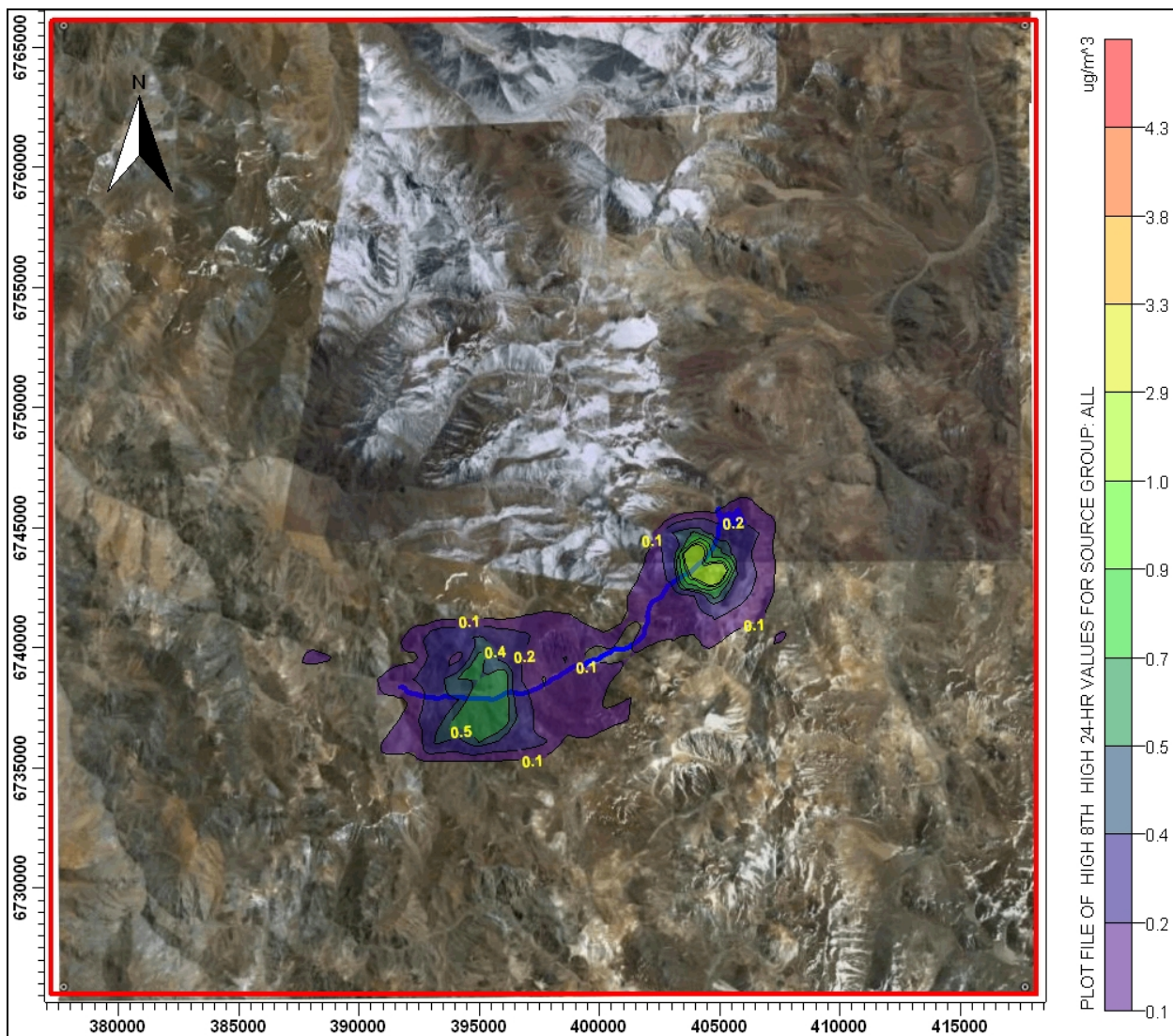
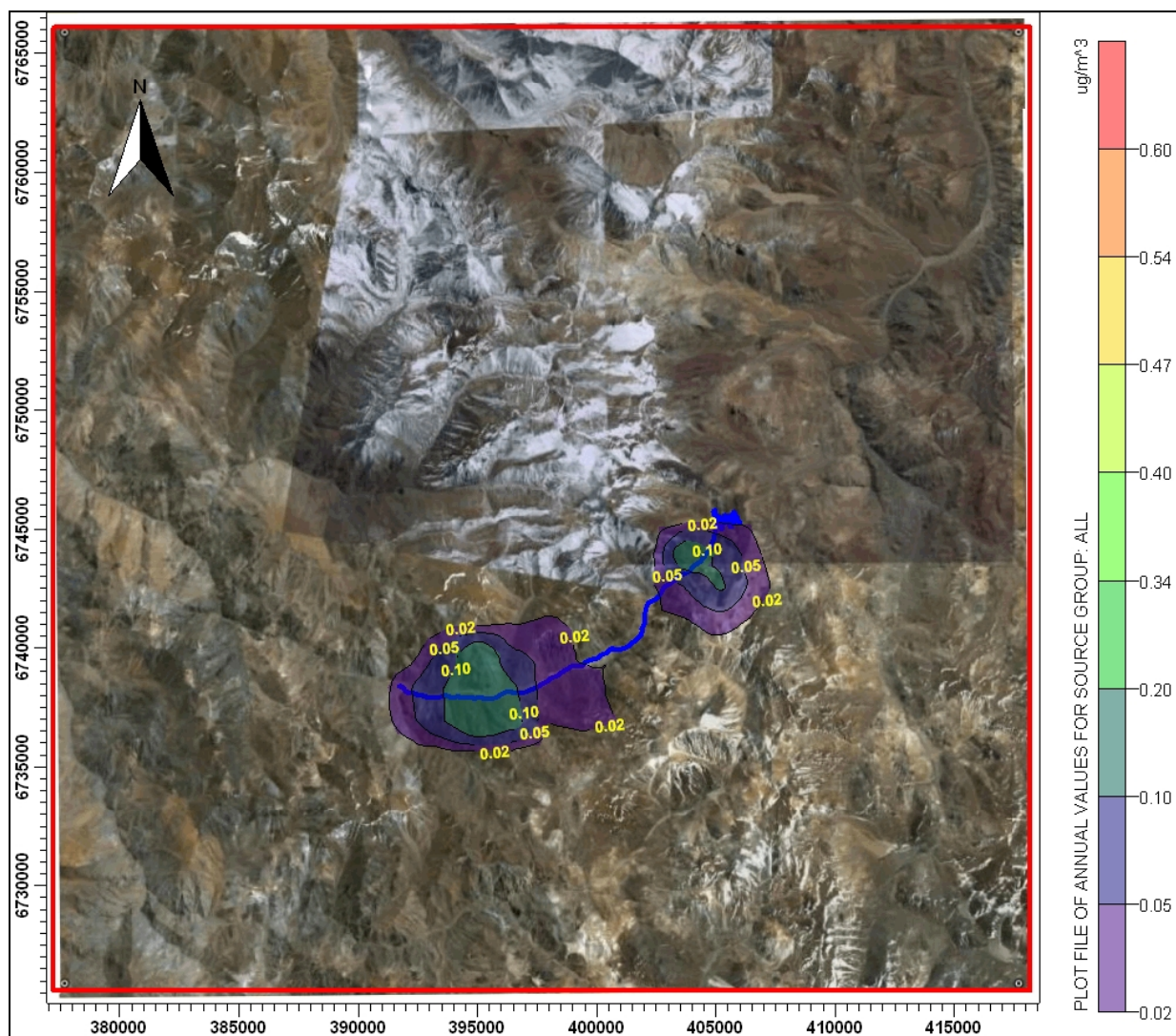


Figura 5.9: Concentración de MP10- Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Etapa de construcción



Etapas de Operación

Las Figuras 5.10 y 5.11 muestran la concentración de material particulado respirable (MP10), debido a la etapa de operación, en sus métricas diarias y anual, respectivamente. De ellas se observa que en la estación de monitoreo Potrerillos la etapa de operación no produce un impacto significativo sobre la calidad del aire, ya que sus concentraciones para el percentil 98 en 24 horas es de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y para la media anual de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La máxima concentración de MP10 es de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en su métrica diaria y de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en su métrica anual y esto ocurre a 89 metros y 87 metros al norte del camino, respectivamente.

Figura 5.10: Concentración de MP10- Percentil 98 en 24 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Etapa Operación

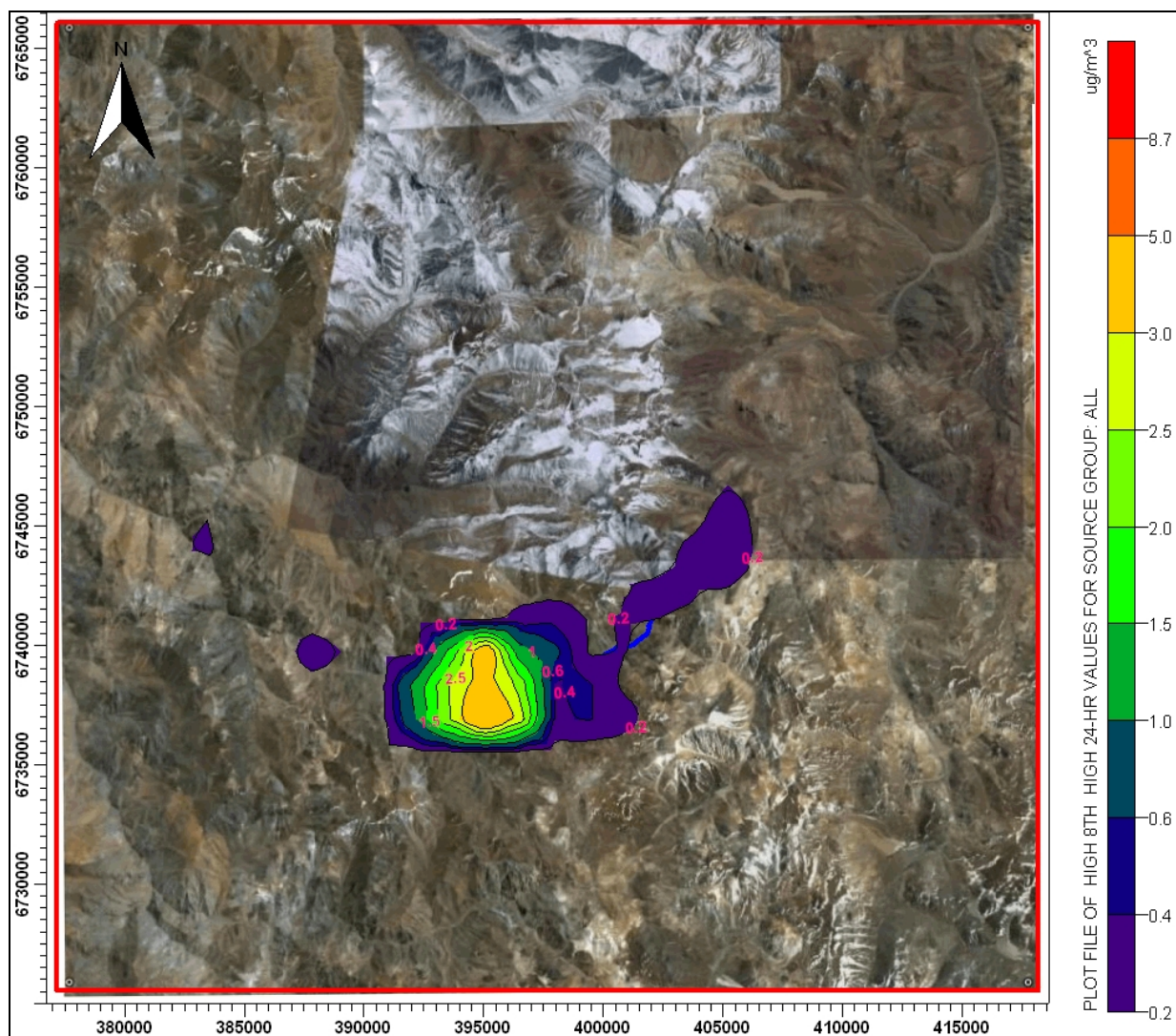
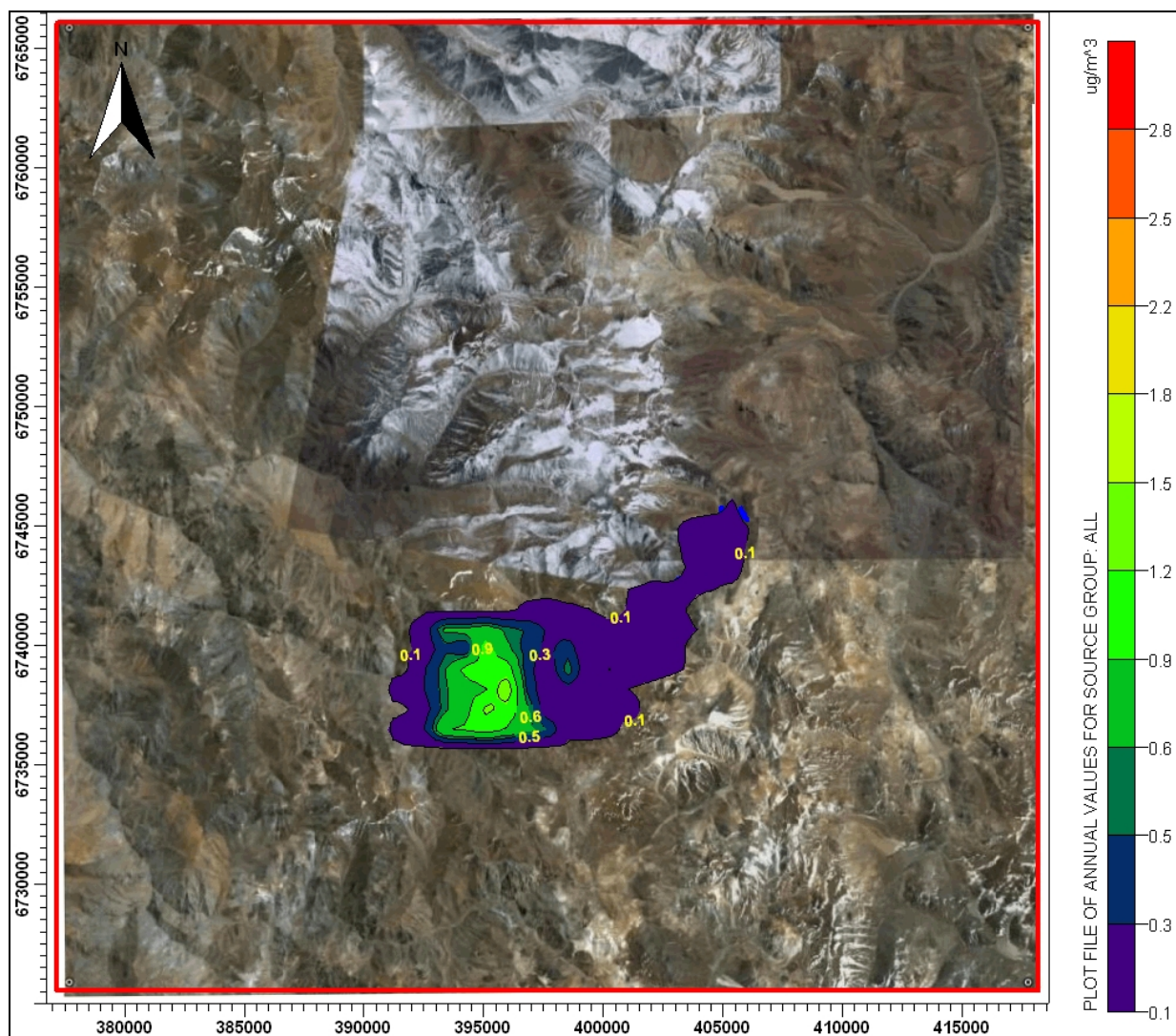


Figura 5.11: Concentración de MP10- Media Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Etapa Operación



5.3.3 Gases (SO₂, NO₂, y CO)**Etapas de Construcción**

La Tabla N° 18 muestra las concentraciones máximas de gases aportados por el proyecto durante la construcción del camino, producto de la utilización de los grupos electrógenos para la generación de energía. De ella se observa que los aportes son bajos, siendo a lo más 14 µg/m³ como aporte al NO₂.

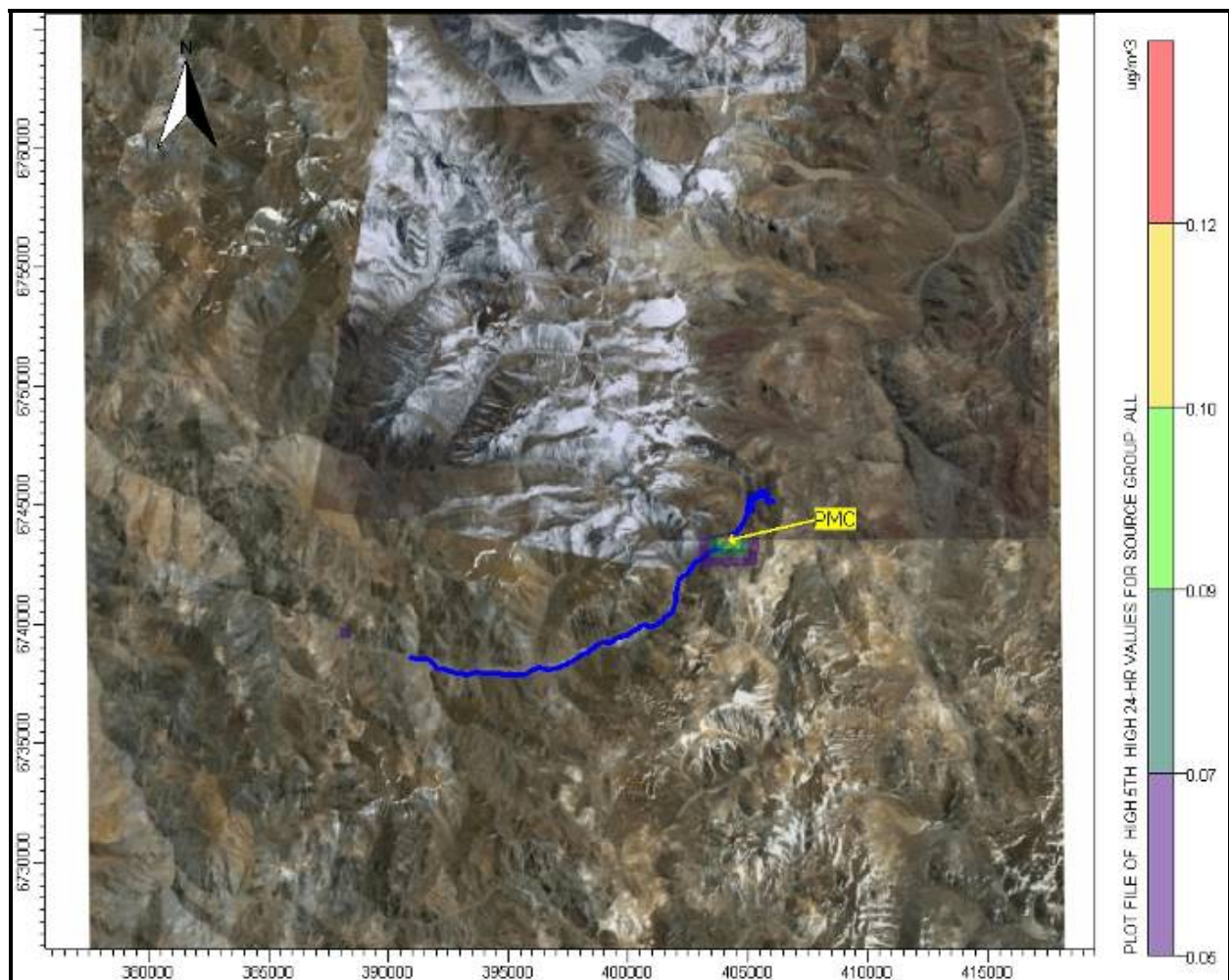
Tabla N° 18: Máximo Aporte en (µg/m³) de la Etapa de Construcción del Camino

	SO ₂				NO ₂		CO	
	Máximo 1 hora	Máximo 24 horas	Media Anual	Máximo P99 en 24 horas	Máximo P99 en 1 hora	Media Anual	Máximo P99 en 1 hora	Máximo P99 en 8 horas
Modelado	5,9	0,27	0,02	0,12	13,6	0,22	3	1

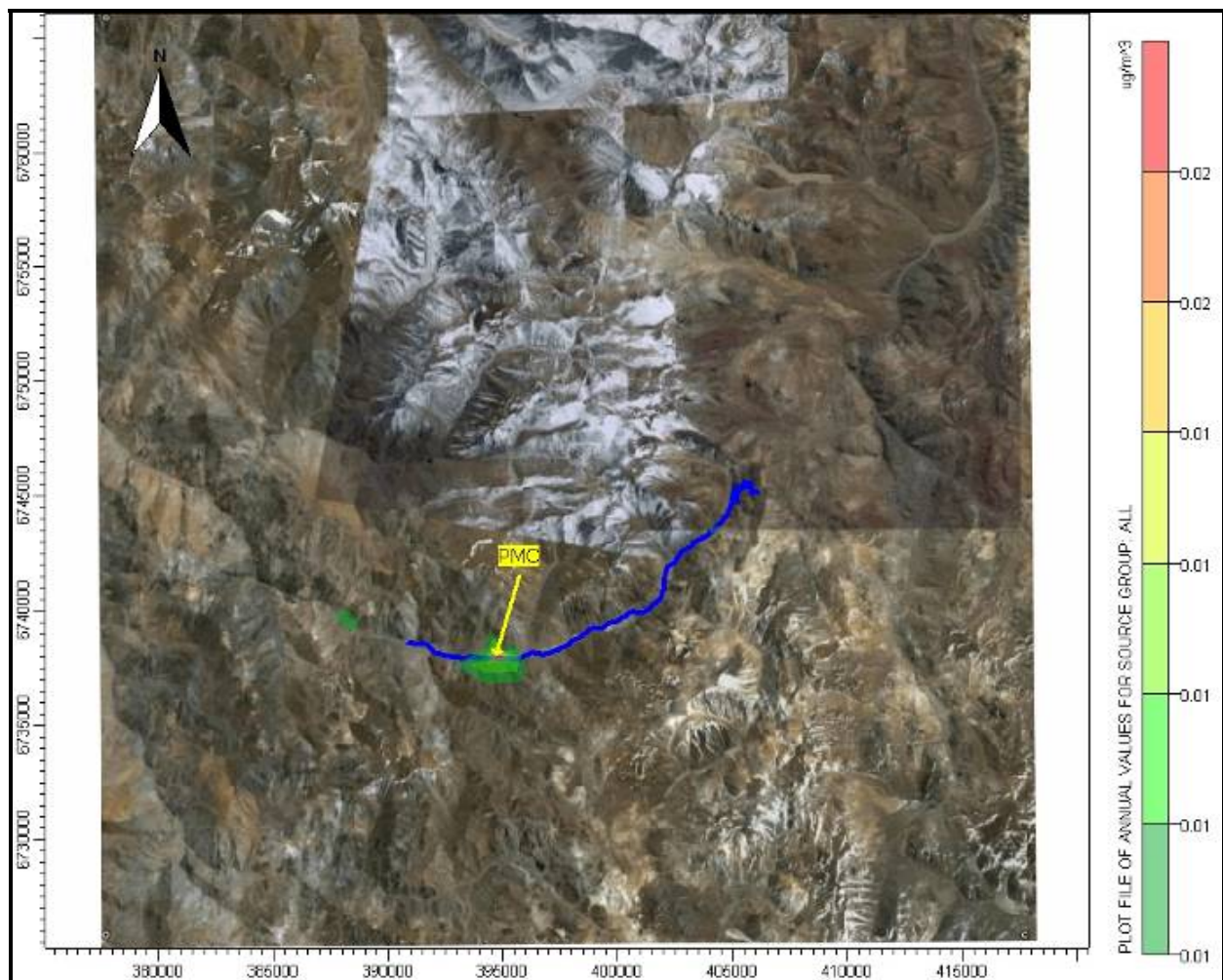
Fuente: Elaboración Propia

Las Figuras 5.12 a 5.19 muestran gráficamente la distribución espacial de las concentraciones de SO₂, NO₂, y CO en sus distintas métricas normadas, producto de la construcción del camino.

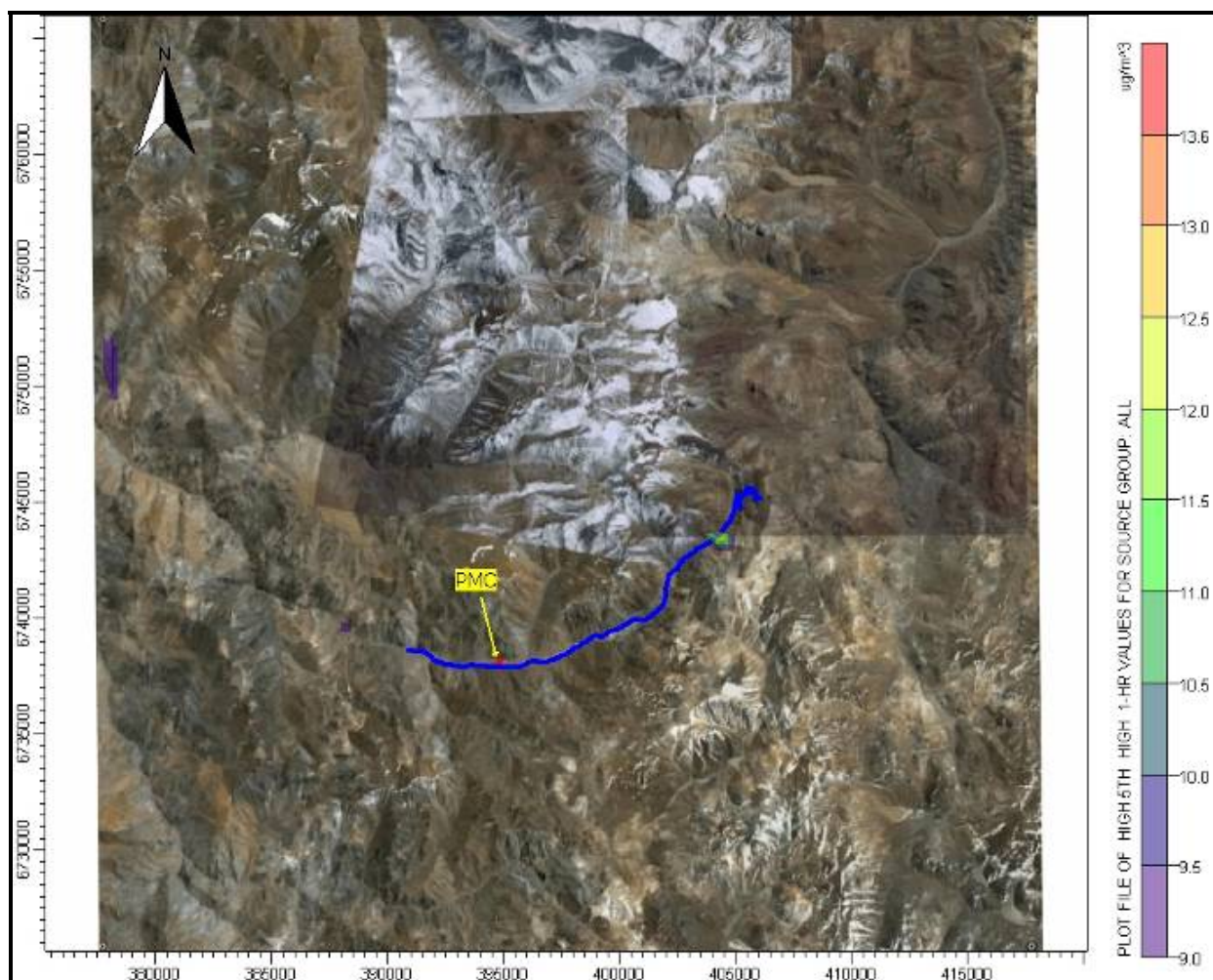
Figura 5.12: Concentraciones P99 en 24 horas de SO_2
Etapa Construcción



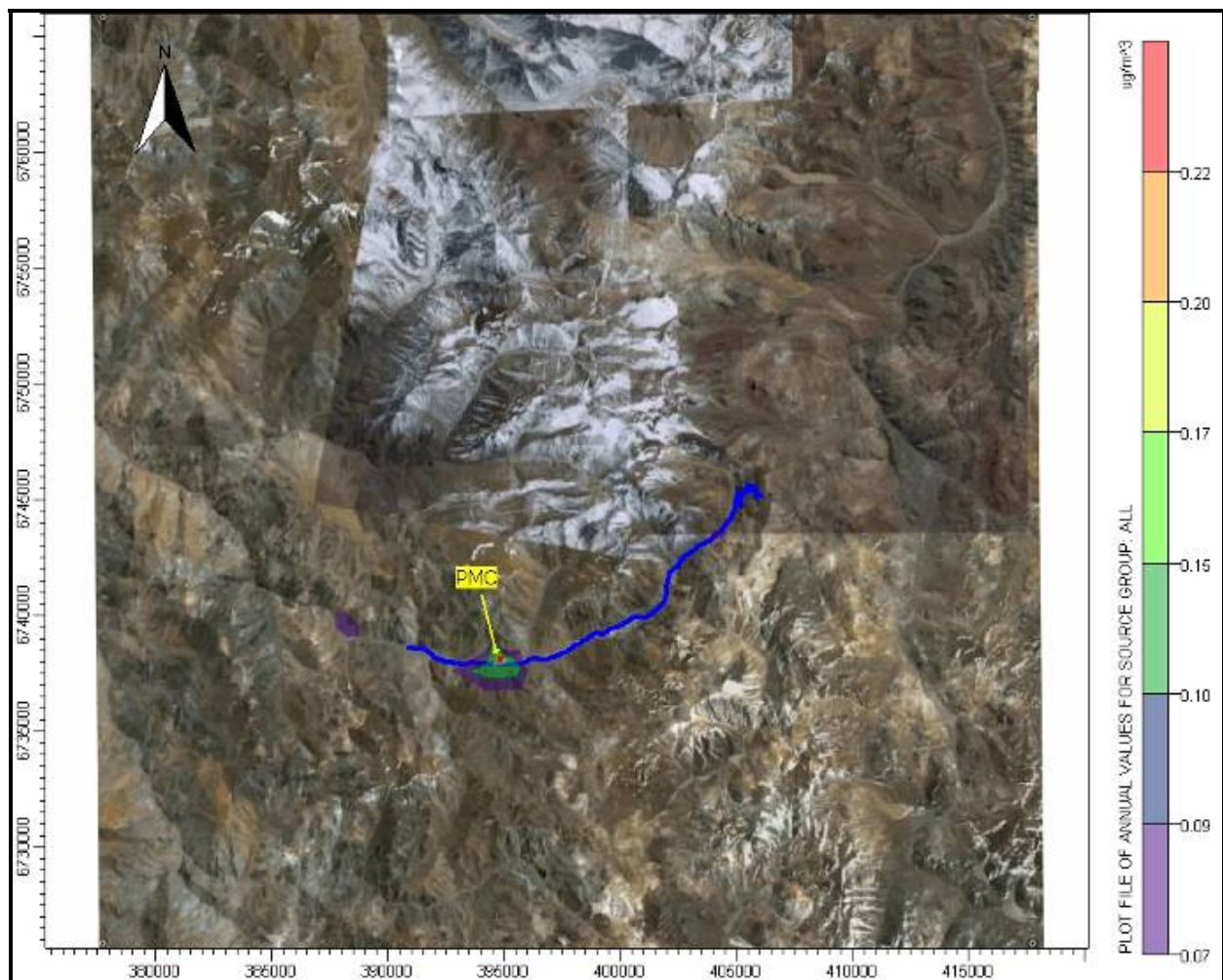
**Figura 5.13: Concentraciones media anual de SO₂
Etapa Construcción**



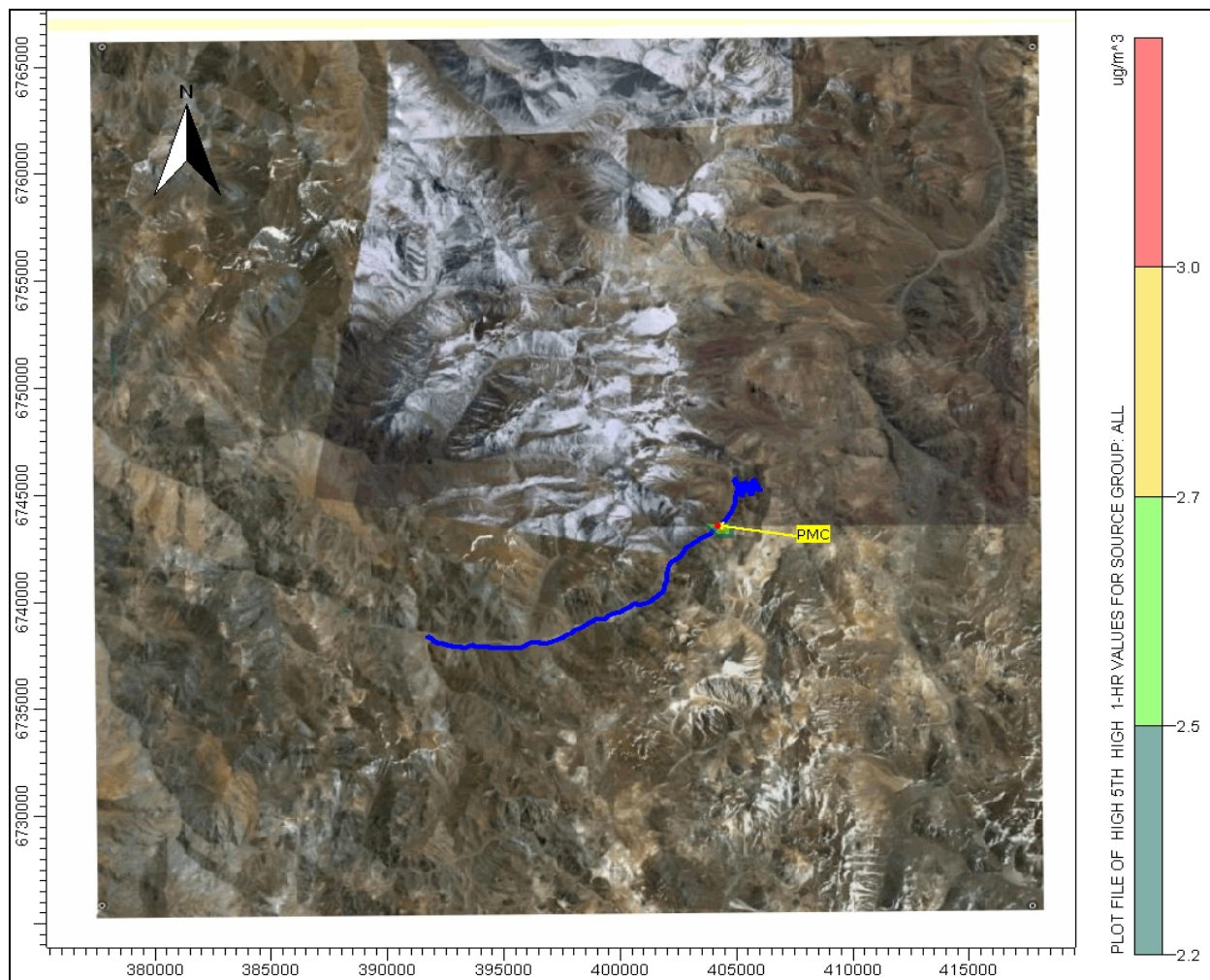
**Figura 5.14: Percentil 99 de las concentraciones máximas en 1 hora de NO₂
Etapa Construcción**



**Figura 5.15: Concentraciones anuales de NO_2
Etapa Construcción**



**Figura 5.16 Percentil 99 de las concentraciones máximas en 1 hora de CO
Etapa Construcción**



**Figura 5.17: Percentil 99 de las concentraciones máximas en 8 horas de CO
Etapa Construcción**

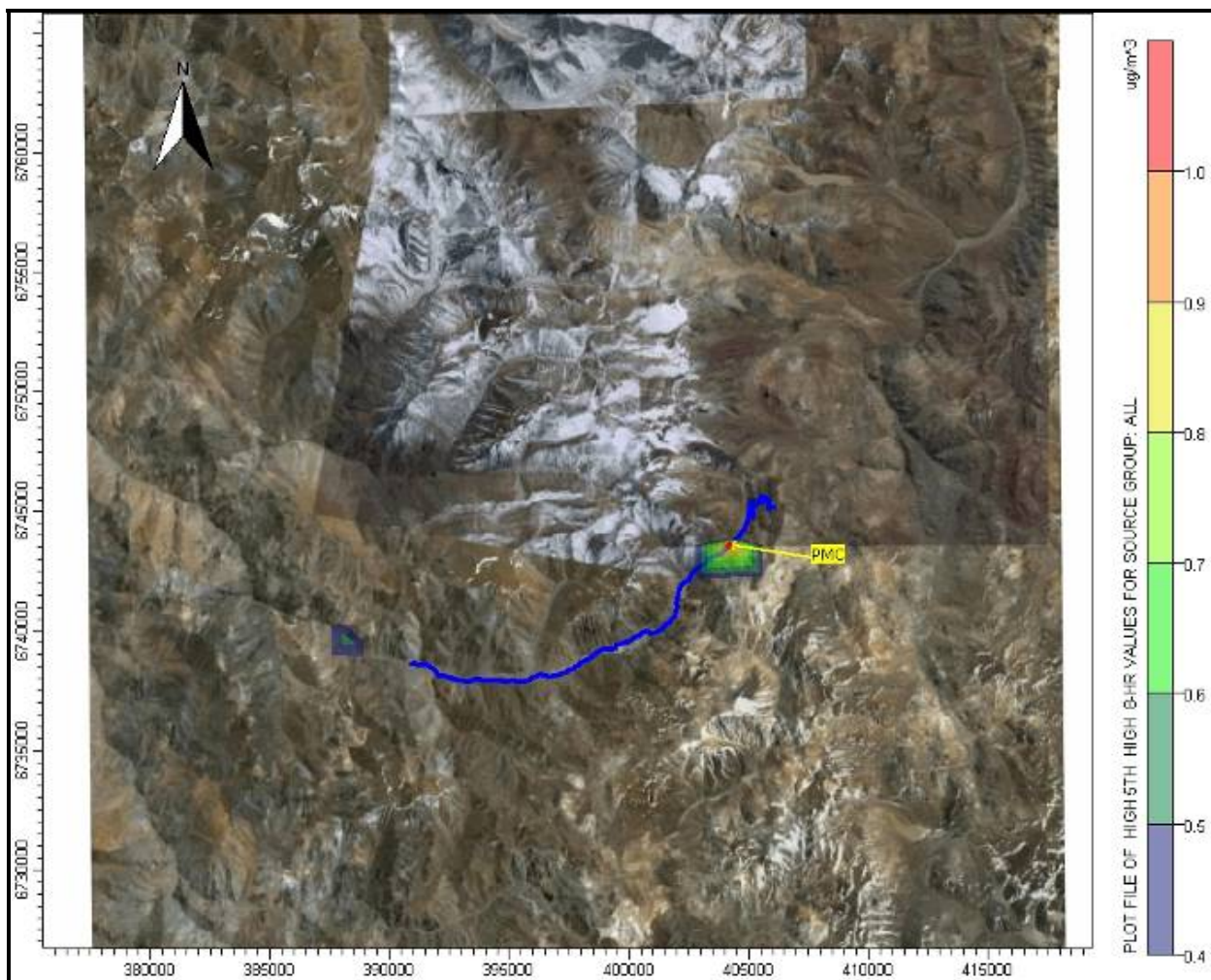


Figura 5.18: Máximo en 1 hora de SO₂
Etapa Construcción

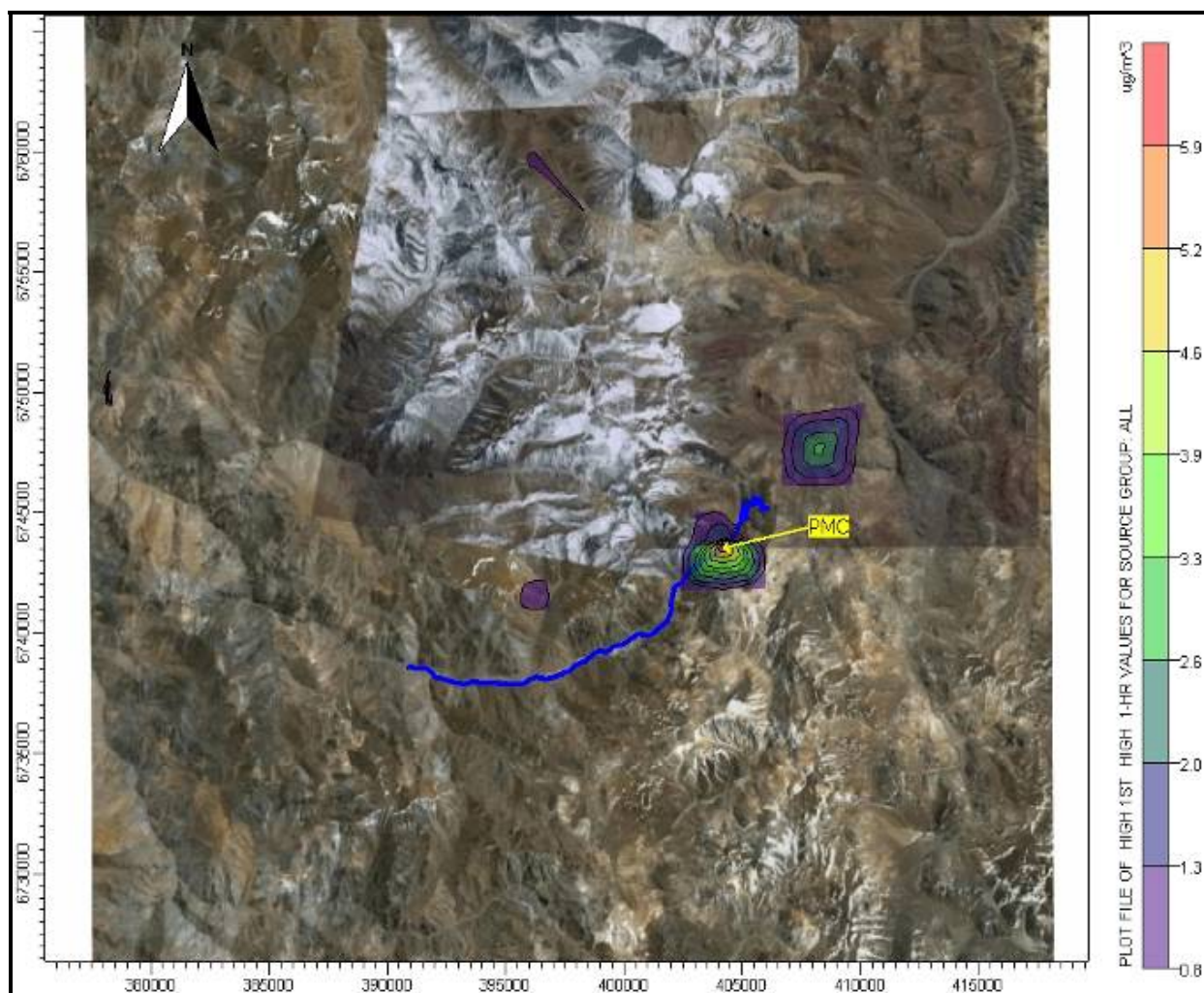
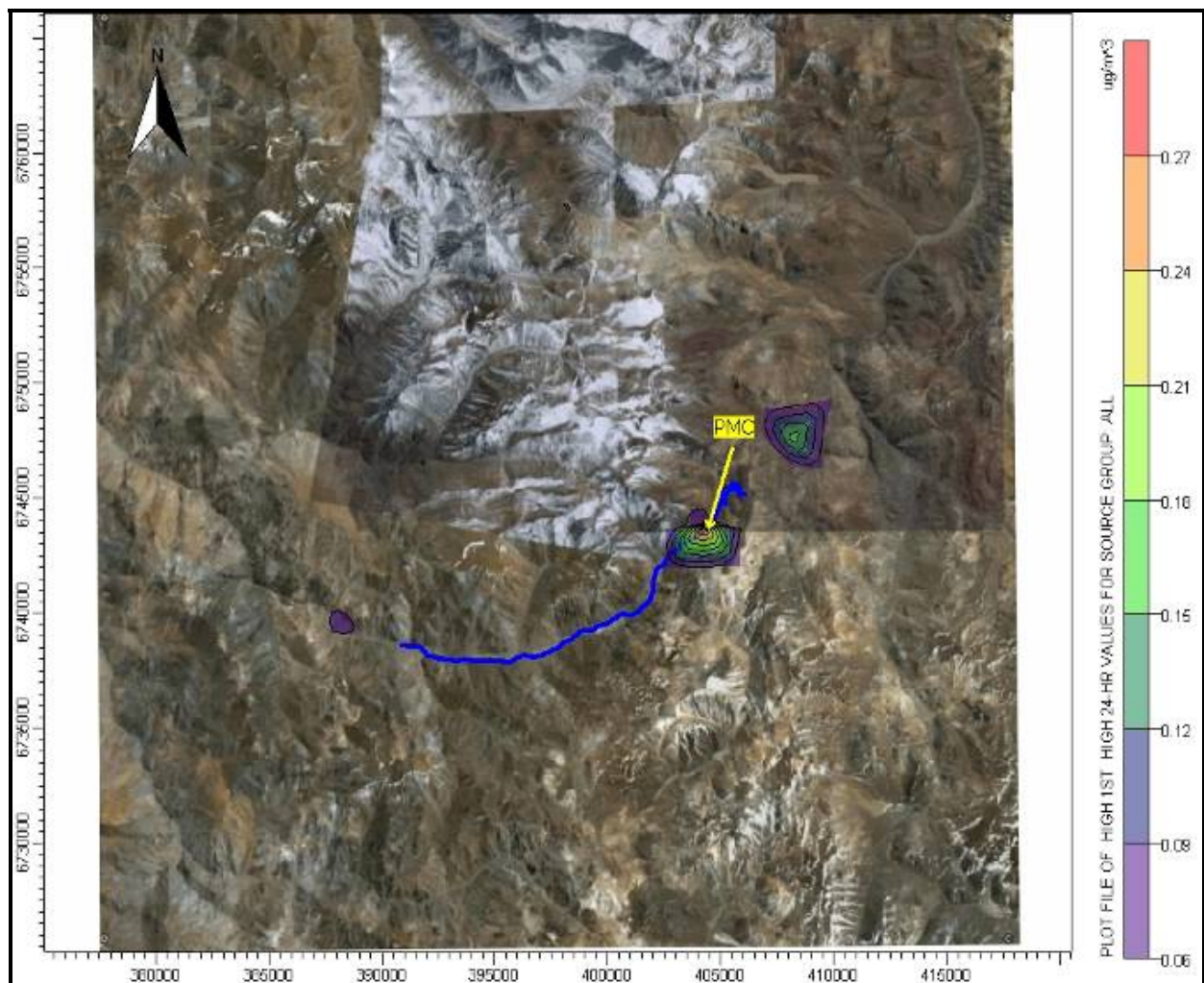


Figura 5.19: Máximo en 24 horas de SO₂
Etapa Construcción



6. EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE

La evaluación de calidad del aire consiste en comparar los aportes del proyecto más la línea base de concentraciones en conjunto con el aporte de otros proyectos emplazados en el área de estudio (ver punto 3.2.2), con las normas de calidad del aire, donde sean aplicables.

Dado que la zona del Proyecto no presenta emplazamientos humanos, no sería aplicable las normas de calidad del aire primarias, sin embargo, se presenta en este capítulo, a modo referencial, una comparación de los aportes del proyecto con dichas normas.

Se considera aplicable el D.S. N°185/91 como norma secundaria de SO₂. Así también, se considera como referencia los valores normados en el D.S. N° 4/1992.

6.1 NORMA SECUNDARIA

6.1.1 Material Particulado Sedimentable

Al comparar los resultados obtenidos de la modelación del particulado sedimentable, en el punto de máxima deposición, con el DS N° 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 la construcción del Proyecto sumado al aporte de otros proyectos generará cantidades muy inferiores a los máximos estipulados en la normativa de referencia, según se puede apreciar en la Tabla N° 22.

Tabla N° 19: Evaluación Norma secundaria Material Particulado Sedimentable Etapa Construcción

Fase	Media aritmética (mg/m ² -día)	
	Mensual	Anual
Construcción	6,9	4,1
Aporte Otro Proyecto*	55	46
Total	61,9	50,1
Norma	150	100
% respecto a la Norma	41	50
* Ver Tabla N°5		

Los valores máximos de depositación de partículas estimados para la fase de Operación del proyecto, junto al porcentaje respecto a los valores normados, se muestran en la Tabla N° 23. De ella se observa que el Proyecto al igual que en la etapa de construcción generará cantidades de sedimentable inferiores a los máximos estipulados en la normativa de referencia.

**Tabla N° 20: Evaluación Norma secundaria Sedimentable
Etapa Operación**

Fase	Media aritmética (mg/m ² -día)	
	Mensual	Anual
Operación	24,8	22,3
Aporte Otro Proyecto*	55	46
Total	79,8	68,3
Norma	150	100
% respecto a la Norma	53	68
*Ver Tabla N°5		

6.1.2 Dióxido de Azufre (SO₂)

La Tabla N° 24 muestra los niveles máximos esperados de SO₂ en la zona de estudio (Punto de Máxima Concentración – PMC), el aporte de otros proyectos, y el porcentaje respecto a la normativa aplicable, al realizarse la construcción del camino. De ella se observa que el Proyecto no sobrepasa los valores normados para el SO₂, pues su aporte es 6 µg/m³, como SO₂ máximo en 1 hora, 0,3 µg/m³ como máximo en 24 horas, y 0,02 µg/m³ como aporte a la norma anual.

**Tabla N° 21: Evaluación del proyecto Etapa de Construcción
Norma Secundaria de SO₂ µg/m³**

	SO ₂ Máximo en 1 hora			
	Camino	Aporte Otro Proyecto*	Total	% Norma
PMC	6	607	613	61
Norma	1000			

	SO ₂ Máximo en 24 horas			
	Camino	Aporte Otro Proyecto*	Total	% Norma
PMC	0,3	58	58,3	16
Norma	365			

	SO ₂ Anual			
	Camino	Aporte Otro Proyecto*	Total	% Norma
PMC	0,02	10	10,02	13
Norma	80			

* Ver Tabla N°4

6.2 EVALUACIÓN DE NORMA PRIMARIA DE MP10

La Tabla N° 25 muestra los niveles máximos esperados de MP10 en la zona de estudio (Punto de Máxima Concentración PMC), y el porcentaje respecto a la norma de referencia, al realizarse la construcción del camino, en conjunto con la línea base y el aporte de otros proyectos. De ella se observa que la construcción del camino no supera los valores normados, en este caso referencialmente, para MP10, pues su aporte es $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como MP10 en 24 horas, y $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual.

Tabla N° 22: Evaluación Etapa de Construcción – MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	MP10 P98 24 horas					MP10 Media Anual				
	Línea Base	Construcción Camino	Aporte Otro Proyecto*	Total	% Norma	Línea Base	Construcción Camino	Aporte Otro Proyecto*	Total	% Norma
PMC	16	4	6	26	17	5	1	3	9	18
Norma	150					50				
*Ver Tabla N°4										

La Tabla N° 26 muestra, para la etapa de Operación, las concentraciones máximas de MP10 en la zona del proyecto, y el porcentaje respecto a la norma, al considerar la línea base y el aporte de otros proyectos. De ella se observa que la operación del camino no generará un aporte significativo de MP10, pues su aporte es a lo más $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como MP10 en 24 horas, y $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual.

Tabla N° 23: Evaluación Etapa de Operación – MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	MP10 P98 24 horas					MP10 Media Anual				
	Línea Base	Operación Camino	Aporte* Otro Proyecto	Total	% Norma	Línea Base	Operación Camino	Aporte* Otro Proyecto	Total	% Norma
PMC	16	9	6	31	21	5	3	3	11	22
Norma	150					50				
*Ver Tabla N°4										

6.3 EVALUACIÓN DE NORMA PRIMARIA DE GASES (SO₂, NO₂, y CO)

La Tabla N° 27 muestra los valores de concentración máximos estimados de los distintos gases emitidos durante la etapa de Construcción producto de la utilización de generadores eléctricos, junto al aporte de otro proyecto. De ella se observa que la construcción del camino generará aportes poco significativos a las concentraciones de los gases, ya que a lo más se espera un máximo de 13,6 µg/m³ como concentración en una hora para NO₂, lo cual sumado al aporte de otro proyecto representa un 24% del valor normado. En el caso del SO₂ el aporte representa una contribución de un 20% y 13% al valor normado en 24 horas y anual, respectivamente. El CO implica un aporte de un 0,01% en ambas métricas normadas.

Tabla N° 24: Máximo aporte en (µg/m³) de la Etapa de Construcción

	SO ₂		NO ₂		CO	
	Máximo P99 en 24 horas	Media Anual	Máximo P99 en 1 hora	Media Anual	Máximo P99 en 1 hora	Máximo P99 en 8 horas
Construcción camino	0,12	0,02	13,6	0,22	3,15	1,03
Aporte Otro Proyecto*	50	10	81	1,7	-	-
TOTAL	50,12	10,02	94,6	1,92	3,15	1,03
NORMA	250	80	400	100	30.000	10.000
% Norma	20	13	24	1,92	0,01	0,01
*Ver Tabla N°4						

Fuente: Elaboración Propia

7. CONCLUSIONES

La evaluación del impacto sobre la calidad del aire debido a las actividades de construcción y operación del Proyecto consistió en la estimación de las emisiones, concentraciones, y depositaciones esperadas en el entorno al sitio del proyecto.

Dado que las emisiones son en su mayoría fugitivas, y que se producen durante la jornada laboral, el impacto resulta ser localizado (cerca del sitio del proyecto), y además poco significativo, en términos de las concentraciones aportadas en su entorno.

Durante la Construcción del camino, se generarán 86,8 Kg/d de material particulado respirable y 361,7 Kg/d de material particulado total. Además se emitirán 112,8 Kg/d de NO₂, 7,5 Kg/ de SO₂, y 24,4 Kg/d de CO.

Durante la etapa de Operación del camino, se emitirán 320 Kg/día de material particulado respirable y 1084 Kg/día de particulado total.

Al considerar estas emisiones, en conjunto con la meteorología y topografía del lugar, se obtuvieron las concentraciones de gases y partículas, y la depositación de material particulado sedimentable.

Los resultados indican que el proyecto no generará impactos significativos, toda vez que la zona tiene un buen nivel de ventilación y las concentraciones y depositaciones esperadas, son inferiores a los niveles normados, considerados como referencia en este estudio.