

Anexo 5-2

MEMORIA DE CÁLCULO DE COMPENSACIÓN DE MP10

INDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Marco Legal.....	2
3.	Base Teórica del Modelo Utilizado.....	3
4.	Construcción de Escenarios.....	4
4.1.	Escenario de Emisiones.....	5
4.2.	Escenario de Receptores.....	8
5.	Resultados de la Implementación del Modelo.....	10
5.1	Implementación del Modelo Micrometeorológico CALMET.....	10
5.2	Implementación del Modelo de Dispersión CALPUFF.....	11
6.	Análisis de Resultados.....	12
7.	Conclusiones.....	14

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Normas Primarias de Calidad del Aire Consideradas en el Estudio.....	2
Tabla N° 2	Resultados Modelación de Impacto en la Calidad del Aire.....	2
Tabla N° 3	Factores de Emisión por Transito en Vías Pavimentadas y No Pavimentadas.....	5
Tabla N° 4	Factores de Emisión por Transito en Vías Pavimentadas y No Pavimentadas.....	6
Tabla N° 5	Receptores Considerados en el Estudio.....	8
Tabla N° 6	Características de la Modelación y Dominio - CALPUFF.....	11
Tabla N° 7	Disminución Proyectada de la Medida de Compensación ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).....	11
Tabla N° 8	Estimación del Escenario Proyectado para las Concentraciones de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Fase de Construcción.....	13
Tabla N° 9	Estimación del Escenario Proyectado para las Concentraciones de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Fase de Operación.....	13

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Representación Gráfica del Modelo Tipo Puff y de Pluma.....	4
Figura N° 2	Ubicación de las Calles a Pavimentar.....	7
Figura N° 3	Ubicación Receptores.....	9

APÉNDICE

Apéndice 1: Isoconcentraciones de Contaminantes Atmosféricos

1. Introducción

El presente informe contiene los resultados de la modelación de dispersión de las emisiones de material particulado respirable (MP10) asociadas a las medidas de compensación del Proyecto “**RT Sulfuros**”, en adelante “El Proyecto”, de tal forma de hacer que los aportes en concentración en los receptores sensibles al interior de la Zona Saturada de Calama (D.S. N° 57/2009 MINSEGPRES) y en la localidad de Chiu Chiu sean nulos.

El objetivo de este estudio es estimar y analizar la reducción en el aporte a las concentraciones atmosféricas de MP10 que generaría la aplicación de medidas de compensación, que en este caso consisten en la pavimentación de calles que actualmente se encuentren sin pavimentar.

Las emisiones reducidas por las medidas de compensación se obtienen considerando la estimación de emisiones del escenario actual y restándoles las emisiones proyectadas por la pavimentación de las calles evaluadas.

La simulación de dispersión fue modelada mediante la aplicación del sistema de modelación atmosférica “CALMET / CALPUFF” versión 5.8, aprobado por EPA¹ (USA) para la dispersión de emisiones en terrenos complejos.

La aplicación de este modelo requirió la construcción de los siguientes escenarios.

- *Escenario Meteorológico y Geofísico:* En el presente estudio se utilizó la información meteorológica y geofísica presentada en el Anexo 1-5 *Estimación de Emisiones y Modelación de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos*.
- *Escenario de Emisiones y Receptores:* Considera las emisiones de MP10 reducidas producto de la aplicación de la medida de compensación consistente en la pavimentación de calles.

La estructura del presente informe es la siguiente: Primero se presenta el marco regulatorio que define los estadísticos que serán cuantificados en la modelación y los niveles máximos de la normativa ambiental aplicable. Luego, se describe el modelo de dispersión utilizado, posteriormente se presenta una descripción de los escenarios anteriormente señalados para luego exponer los resultados obtenidos de la aplicación del modelo. Finalmente se presenta el análisis de cumplimiento de la normativa vigente de calidad del aire y las conclusiones más relevantes del estudio.

¹ Environmental Protection Agency.

2. Marco Legal

Material Particulado – MP10

Para evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa ambiental aplicable al Proyecto, se consideraron las normas primarias de calidad del aire definidas en la legislación chilena las que se presentan a continuación en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1 Normas Primarias de Calidad del Aire Consideradas en el Estudio.

Parámetro	Estadístico	Valor	Referencia
MP10	Media Anual ²	50 µg/m ³ N	D.S. 59/98 MINSEGPRES
	Percentil 98 promedio diario	150 µg/m ³ N	D.S. 59/98 MINSEGPRES

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la evaluación de impacto sobre la calidad del aire del Proyecto RT Sulfuros, se estima que los aportes del Proyecto en la Zona Saturada de Calama corresponden a los presentados en la siguiente Tabla N° 2:

Tabla N° 2 Resultados Modelación de Impacto en la Calidad del Aire .

Receptores	Concentración MP10 (µg/Nm ³)					
	Construcción 2016		Base 2011		Aporte del Proyecto	
	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario
Hospital	0,45	1,59	0,21	0,74	0,24	0,85
SML	0,52	1,73	0,25	0,87	0,27	0,87
Chiu Chiu	0,63	1,37	0,44	0,85	0,19	0,52
R1-Pmax-Calama	0,74	2,21	0,34	1,10	0,40	1,10
Receptores	Concentración MP10 (µg/Nm ³)					
	Operación 2026		Base 2011		Aporte del Proyecto	
	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario
Hospital	0,49	1,79	0,21	0,74	0,28	1,05
SML	0,46	1,79	0,25	0,87	0,21	0,92
Chiu Chiu	0,56	1,39	0,44	0,85	0,12	0,54
R1-Pmax-Calama	0,64	2,28	0,34	1,10	0,30	1,18

P98: Percentil 98 de las concentraciones 24 horas.

Pmax: Punto de Máximo Impacto

Aporte del Proyecto: Diferencia entre el impacto en escenario de Construcción u Operación y el Escenario Base.

R1-Pmax-Calama: Corresponde a un punto de referencia en el límite urbano norte de la ciudad de Calama en la coordenada 508.629 E; 7.519.472 (WGS 84, huso 19)

Fuente: Anexo 1-5 EIA Proyecto RT Sulfuros.

² Aplicable al promedio anual de tres años consecutivos.

Por lo tanto el objetivo de la medida de compensación es que los aportes en los receptores al interior de la Zona Saturada de Calama (Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y R1-Pmax-Calama), sean iguales o menores a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ una vez aplicada la medida de mitigación. El mismo criterio se utilizará con el receptor en la localidad del Chiu Chiu.

3. Base Teórica del Modelo Utilizado

El modelo utilizado para determinar el efecto que tendrán las emisiones de MP10 generadas por la medida de compensación del Proyecto, corresponde al sistema de modelación "CALMET-CALPUFF" desarrollado por Earth Tech.

El sistema de modelación incluye tres componentes principales: CALMET, CALPUFF y CALPOST, además de una larga selección de preprocesadores diseñados para incluir en el modelo datos meteorológicos y geofísicos.

CALMET es un modelo meteorológico que simula campos de viento, temperatura y otras variables meteorológicas en un dominio de modelación tridimensional.

CALPUFF es un modelo tipo "puff" Lagrangiano Gaussiano no estacionario capaz de modelar el transporte y dispersión de contaminantes sobre un campo de vientos construido con CALMET. Los modelos tipo "puff" representan una pluma de contaminantes continuo como un número discreto de paquetes de material contaminante. El modelo evalúa la contribución de un "puff" en la concentración atmosférica de un receptor en un instante determinado, para luego permitir que el puff se mueva, evolucione en tamaño, fuerza, etc., hasta la próxima iteración. Luego, la concentración total en un receptor resultará de la sumatoria de las contribuciones de todos los "puff". La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-d_a^2/(2\sigma_x^2)\right] \exp\left[-d_c^2/(2\sigma_y^2)\right]$$
$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-(H_e + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)\right]$$

Donde:

C: Concentración (g/m^3)

Q: Masa del contaminante en el "puff" (g)

σ_x : Coeficiente de dispersión en dirección del viento (m)

σ_y : Coeficiente de dispersión en dirección perpendicular al viento (m)

σ_z : Coeficiente de dispersión vertical (m)

d_a : Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje de la dirección del viento (m)

d_c : Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje perpendicular a la dirección del viento (m)

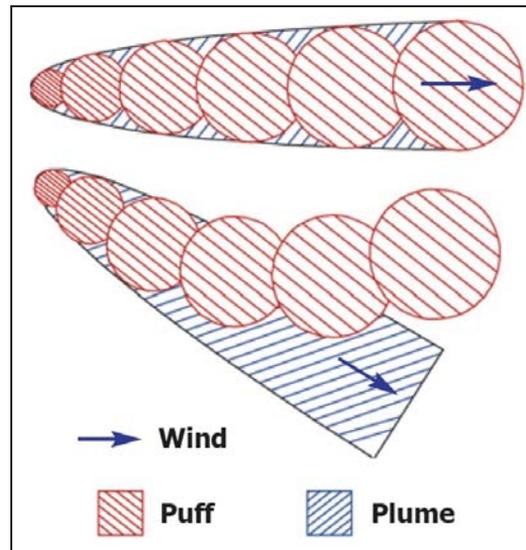
g: Altura de la ecuación gaussiana (m)

H: Altura efectiva del "puff" (m)

h: Altura de la capa de mezcla (m)

A diferencia de un modelo de pluma, los modelos de tipo “puff” consideran las emisiones (de los puff) independientes de su fuente de emisión permitiendo que los “puff” respondan a la meteorología en la que se encuentra inmerso en cada instante. Lo anterior se representa esquemáticamente en la siguiente Figura N° 1.

Figura N° 1 Representación Gráfica del Modelo Tipo Puff y de Pluma.



Fuente: Lakes Environmental.

Finalmente CALPOST procesa las salidas de CALPUFF creando los archivos con las tabulaciones necesarias para la evaluación de los resultados según los estadísticos establecidos en las normas de calidad del aire.

4. Construcción de Escenarios

El desarrollo del modelo involucra la construcción de un escenario meteorológico, geofísico, de emisiones y receptores sensibles sobre el dominio de la modelación. Para elaborar estos escenarios se requiere de datos de entrada mínimos los cuales fueron recopilados y procesados desde estaciones de monitoreo e imágenes satelitales. El detalle de los datos recopilados para la confección de cada escenario se presenta a continuación.

- Escenario Geofísico
 - Topografía del área de modelación
 - Usos de suelo del área de modelación
- Escenario Meteorológico
 - Información meteorológica
- Escenario de Emisiones y Receptores
 - Ubicación y características de las fuentes emisoras, incluyendo la tasa de emisión de MP10

→ Ubicación de los receptores sensibles en el área de influencia del Proyecto

Cabe señalar que tanto el escenario geofísico como el meteorológico corresponden a los utilizados en la *Modelación de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos* presentado en el Anexo 1-5.

A continuación se presentan los escenarios de emisiones construidos para la modelación.

4.1. Escenario de Emisiones

- **Pavimentación de Calles**

El escenario evaluado para la medida de compensación considera la pavimentación de calles que actualmente no cuenten con una carpeta de asfalto. Para lo anterior en primer lugar se ha realizado el cálculo de la disminución de emisiones estimada considerando la aplicación de esta medida, para lo cual se ha calculado la disminución estimada por la pavimentación de 1 km de calle, considerando los factores de emisión de la EPA.

Tabla N° 3 Factores de Emisión por Transito en Vías Pavimentadas y No Pavimentadas.

Actividad	Formula	Unidad	Parámetros ^(a)		Factor de Emisión (gr/km)
Transito vías pavimentadas	$0,62 * (sL)^{0,91} \times (W)^{1,02}$	gr/km	sL: Carga de finos de la superficie	2,4	VL: 1,26
			W: peso promedio flota	VL: 2 VP: 20	VP: 13,17
Transito vías no pavimentadas (vehículos livianos)	$1,8 * 281,9 * \frac{\left(\frac{s}{12}\right) \times \left(\frac{S}{30}\right)^{0,5}}{\left(\frac{M}{0,5}\right)^{0,2}}$	gr/km	s: % finos del suelo	8,5	437,11
			S: velocidad vehículos	40	
			M: % de humedad material	1,2 ^(b)	
Transito vías no pavimentadas (vehículos pesados)	$1,5 * 281,9 * \frac{\left(\frac{s}{12}\right)^{0,9}}{\left(\frac{W}{2,7}\right)^{0,45}}$	gr/km	s: % finos del suelo	8,5	865,44
			W: peso promedio flota	20	

(a) Valores por defecto indicado en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas para Proyectos Inmobiliarios", 2012, SEREMI MMA RM.

(b) Parámetro utilizado ha sido recogido del Anexo N° 2 "Inventario de Emisiones y Modelación de Calidad del Aire Actualizado" presentado en el Adenda N° 2 del proceso de evaluación del Proyecto Quetena.
VL: Vehículos Livianos; VP: Vehículos Pesados

La selección de las calles a pavimentar se ha desarrollado en función de la información del estado de las calles de la ciudad de Calama y la localidad de Chiu Chiu a partir de diversas fuentes de información, principalmente las consultas se realizaron en dos documentos, a saber:

- Anexo N° 2 "Inventario de Emisiones y Modelación de Calidad del Aire Actualizado" presentado en el Adenda N° 2 del proceso de evaluación del Proyecto Quetena.
- Análisis de la Calidad del Aire para MP10 en Calama, DICTUC (2008).

A continuación, se detallan las calles que se pavimentarán como medida de compensación:

Tabla N° 4 Factores de Emisión por Transito en Vías Pavimentadas y No Pavimentadas.

Comuna/Localidad	Calle	Longitud (m)
Calama	Placilla (entre El Abra y Quebrada Blanca)	340
	Chañarcillo (entre El Abra y Quebrada Blanca)	340
	Del Ferrocarril (entre Huaytiquina y Avenida Circunvalación)	220
	Potrerillos (entre Central Norte y Huaytiquina)	460
	Pampa Unión (entre Camarones y Salar del Carmen)	170
	Pampa Unión (entre Lascar y Jose Miguel Carrera)	160
	Riquelme (entre Circunvalación y Pampa Unión)	70
	Riquelme (desde Punta de Rieles hacia el Norte)	60
	Incahuasi (entre Punta de Rieles y Pampa Unión)	125
	Pampa Unión (desde Riquelme hacia el Oriente)	140
	Pasaje el Desierto (entre Laguna Lejía y Avenida Argentina)	160
	Pasaje Parina (entre Laguna Lejía y Avenida Argentina)	160
	Hernán Cortes (entre Frei Bonn y Colonia)	150
	Hernán Cortes (desde Colo Colo 60 m al Oriente)	60
	Hurtado de Mendoza (entre Rahue y Rupanco)	60
	Hurtado de Mendoza (desde Rahue al Poniente)	340
	Vecinal (Continuación hasta Bilbao)	770
Chiu Chiu	Corresponde al adoquinado de 3.000 m ² a adoquinar	-

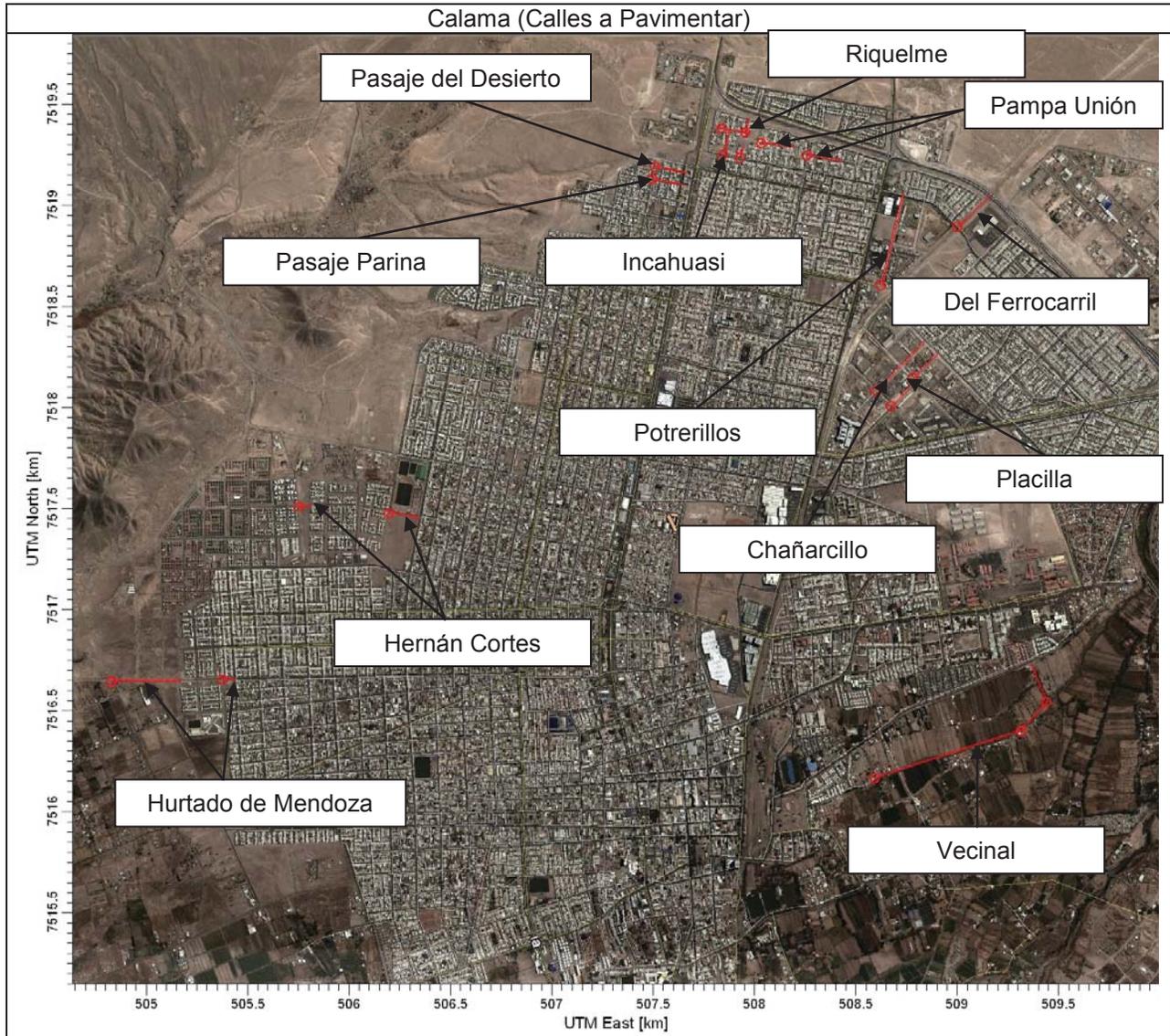
Para la estimación de la disminución de emisiones se ha considerado un flujo promedio³ según lo siguiente:

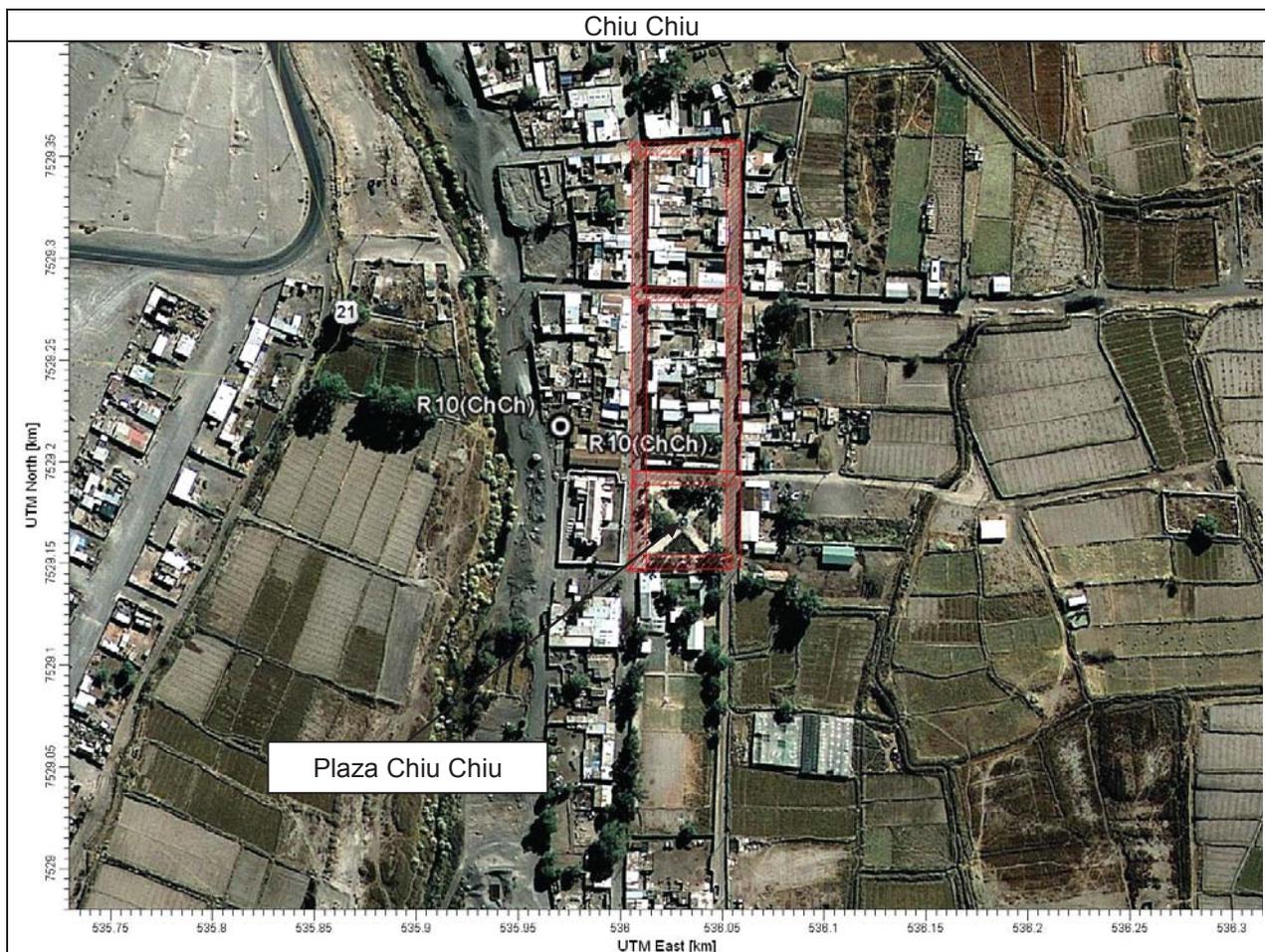
- Calles: Flujo de Vehículos Livianos 90 por hora; Flujo Vehículo Pesados 20 por hora;
- Pasajes: Flujo de Vehículos Livianos 30 por hora; Flujo Vehículo Pesados 8 por hora;
- Entorno Plaza Chiu Chiu: Flujo de Vehículos Livianos 25 por hora; Flujo Vehículo Pesados 5 por hora.

Las calles consideradas para ambas medidas de compensación se presentan en las siguientes figuras:

³ Los flujos se han estimado de acuerdo a lo presentado en el "Inventario de Emisiones y Modelación de Calidad del Aire Actualizado" presentado en la Adenda N° 2 del proceso de evaluación del Proyecto Quetena.

Figura N° 2 Ubicación de las Calles a Pavimentar.





Coordenadas UTM Huso 19. Datum WGS84.

4.2. Escenario de Receptores

Los receptores considerados en el modelo corresponden a las estaciones de monitoreo de calidad del aire con representatividad poblacional (EMRP) ubicadas en la Zona Saturada de Calama y en la localidad de Chiu Chiu. Debido a lo anterior, el presente análisis se realizó sobre las estaciones monitoras de calidad del aire identificadas en la siguiente Tabla N° 5:

Tabla N° 5 Receptores Considerados en el Estudio.

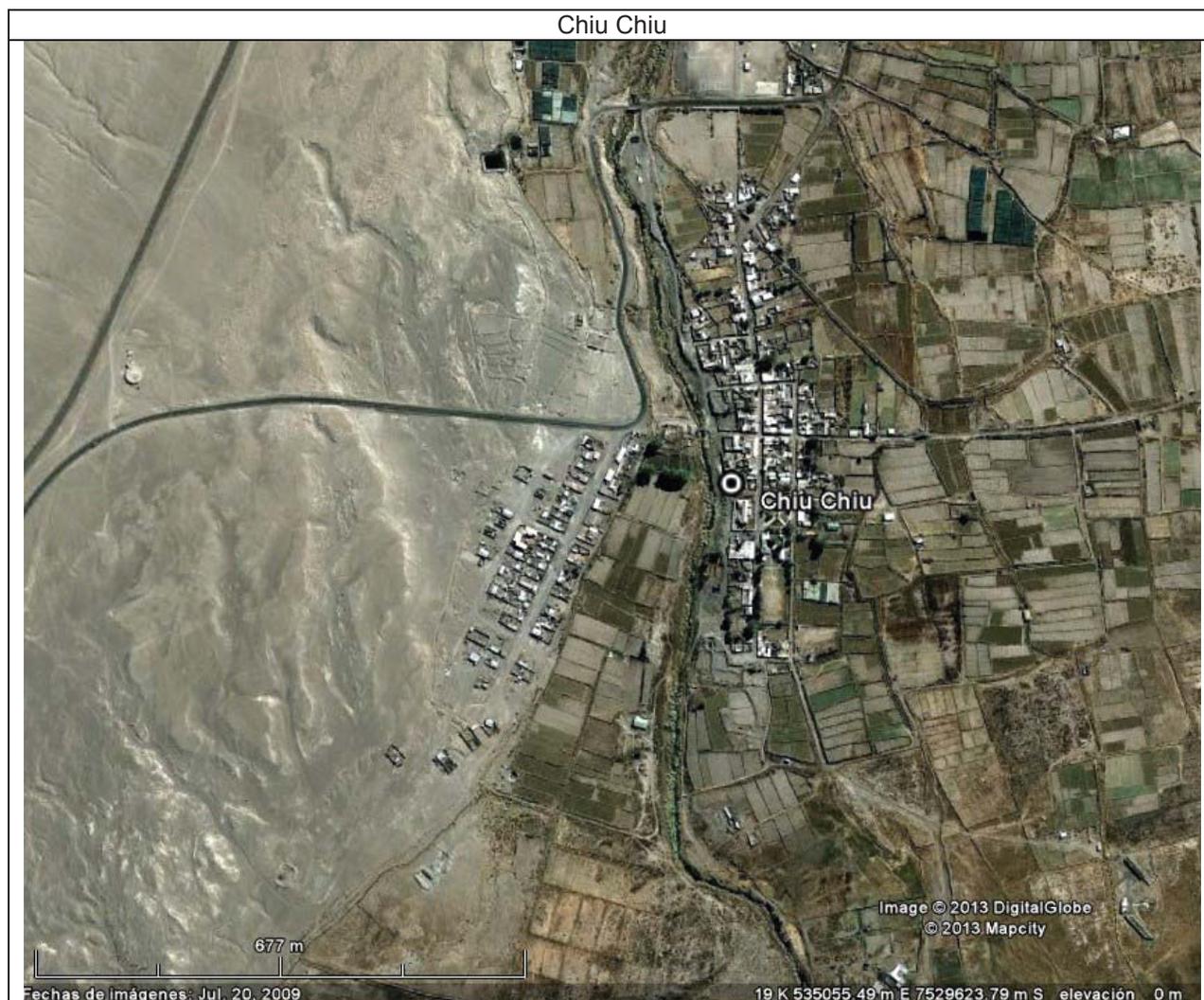
ESTACIÓN / RECEPTOR	ESTE (m)	NORTE (m)
Hospital del Cobre	509.427	7.517.291
Servicio Médico Legal	505.383	7.516.195
Chiu Chiu	535.963	7.529.232
R1-Pmax-Calama	508.629	7.519.472

Datum: WGS84 – Huso 19
 Fuente: SINCA

Adicionalmente, para generar los mapas de isoconcentraciones, se estableció una grilla de receptores que abarcó la totalidad del área de modelación, donde se ubicaron receptores cada 0,5 km de distancia de manera uniforme. La Figura N° 3 presenta la ubicación de los receptores mencionados.

Figura N° 3 Ubicación Receptores.





Coordenadas UTM Huso 19. Datum WGS84.
Fuente: Elaboración Propia.

5. Resultados de la Implementación del Modelo

A continuación se presentan los resultados de la implementación del modelo CALMET / CALPUFF.

5.1 Implementación del Modelo Micrometeorológico CALMET

Se ha utilizado como input meteorológico el archivo generado para la modelación adjunta en el Anexo 1-5 *Estimación de Emisiones y Modelación de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos*.

5.2 Implementación del Modelo de Dispersión CALPUFF

Las características generales de la modelación y su dominio se presentan en la siguiente Tabla N° 6.

Tabla N° 6 Características de la Modelación y Dominio - CALPUFF.

Tamaño de Grilla (m)	500 x 500 m.
Número de Celdas en dirección x	200
Número de Celdas en dirección y	160
Coordenadas del Origen (m)	
UTM-E (x)	460.000
UTM-S (y)	7.495.000
Área del Dominio (km ²)	8.000 km ²

Para la aplicación de este modelo se consideró la meteorología modelada con CALMET del año 2011, tomando en cuenta que las actividades emisoras se desarrollan de manera continua durante los 365 días del año. Luego, se obtuvieron las concentraciones de MP10 estimadas para cada una de las horas del año.

Finalmente se aplicó el módulo CALPOST para obtener los estadísticos establecidos en las normas de calidad del aire presentadas en el numeral 2 de este documento.

A continuación, se presentan los aportes en la concentración del contaminante MP10 en los receptores especificados en el numeral 4 de este documento.

Tabla N° 7 Disminución Proyectada de la Medida de Compensación ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

Receptores	Compensación por Pavimentación	
	Promedio Anual	P98 Máximo Diario
Hospital del Cobre	1,66	9,04
Servicio Médico Legal	0,78	3,58
Chiu Chiu	0,32	0,56
R1-Pmax-Calama	0,55	3,03

Fuente: Elaboración Propia

Los mapas de isoconcentraciones asociados a cada uno de estos estadísticos se presentan en el Anexo 1 de este documento⁴.

⁴ Los mapas de isoconcentraciones se elaboran en base a las concentraciones del estadístico representado en cada uno de los receptores 2.500 receptores que conforman la grilla los cuales se pueden registrar durante distintas horas del año. Por lo anterior, las figuras son una herramienta útil para la predicción de impactos pero no representan las concentraciones del sector en un determinado instante.

6. Análisis de Resultados

Para verificar el cumplimiento del objetivo de la medida de compensación se elaboró un análisis de los efectos que genera el Proyecto RT Sulfuros y la medida de compensación presentada en este informe consistente en la pavimentación de 3.785 m en Calama y el adoquinado de 3.000 m² de calles en Chiu Chiu y sus efectos sobre la calidad del aire del sector evaluado.

El análisis de los resultados se presenta en la Tabla N°8 para la fase de construcción y en la Tabla N°9 para la fase de operación. Se observa que los aportes del Proyecto no generan un aumento en los niveles de concentración anual y percentil 98 de las concentraciones diarias de MP10 en los receptores estudiados, toda vez que la medida de compensación evaluada anula los aportes del Proyecto.

Tabla N°8 Estimación del Escenario Proyectado para las Concentraciones de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Fase de Construcción.

Receptores	Concentración MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)						Compensación		Diferencia	
	Construcción 2016		Base 2011		Aporte del Proyecto		Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario
	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario				
Hospital del Cobre	0,45	1,59	0,21	0,74	0,24	0,85	1,66	9,04	-1,42	-8,19
Servicio Médico Legal	0,52	1,73	0,25	0,87	0,27	0,87	0,78	3,58	-0,51	-2,72
Chiu Chiu	0,63	1,37	0,44	0,85	0,19	0,52	0,32	0,56	-0,13	-0,04
R1-Pmax-Calama	0,74	2,21	0,34	1,10	0,40	1,10	0,55	3,03	-0,15	-1,92

Tabla N°9 Estimación del Escenario Proyectado para las Concentraciones de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) – Fase de Operación.

Receptores	Concentración MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)						Compensación		Diferencia	
	Operación 2026		Base 2011		Aporte del Proyecto		Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario
	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario	Promedio Anual	P98 Máximo Diario				
Hospital del Cobre	0,49	1,79	0,21	0,74	0,28	1,05	1,66	9,04	-1,38	-7,99
Servicio Médico Legal	0,46	1,79	0,25	0,87	0,21	0,92	0,78	3,58	-0,58	-2,66
Chiu Chiu	0,56	1,39	0,44	0,85	0,12	0,54	0,32	0,56	-0,20	-0,02
R1-Pmax-Calama	0,64	2,28	0,34	1,10	0,30	1,18	0,55	3,03	-0,25	-1,85

7. Conclusiones

En el Anexo 1 de este documento se presentan las curvas de isoconcentraciones asociadas a los estadísticos estudiados en la sección anterior en las cuales se puede apreciar gráficamente los aportes de la medida de compensación del Proyecto sobre la calidad del aire de su área de influencia.

Los resultados obtenidos de la modelación permiten concluir que a través de la aplicación de la medida de compensación propuesta por el Proyecto RT Sulfuros, este no provoca efectos adversos significativos sobre la salud de la población ubicada en su entorno, toda vez que:

- Se ha considerado un plan de compensación que contempla la aplicación de dos medidas, éstas son:
 - Pavimentación de Calles en Calama: se ha considerado la pavimentación de 3.785 metros de calles que actualmente se encuentran sin pavimentación o con éste en mal estado.
 - Adoquinado de Calles en Chiu Chiu: se ha considerado el adoquinado de una superficie de 3.000 m² de calles en Chiu Chiu en el entorno de su plaza central.
- Se han modelado, utilizando el software CALMET/CALPUFF, los efectos de las medidas de compensación en la zona urbana de Calama, en los receptores EMRP al interior de la Zona Saturada de Calama y en la localidad de Chiu Chiu.
- De acuerdo a lo presentado, considerando los aportes del Proyecto y la disminución producto de la medida de compensación propuesta, se concluye que el Proyecto genera aportes nulos en la zona urbana y los receptores EMRP al interior de la Zona Saturada de Calama, así como también en el receptor considerado en la localidad de Chiu Chiu.

Apéndice 1

ISOCONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Figura N° 1. Mapa Isoconcentraciones de MP10 – Calama – P98 Promedio 24 Horas (Coordenadas UTM Huso 19. Datum WGS84)

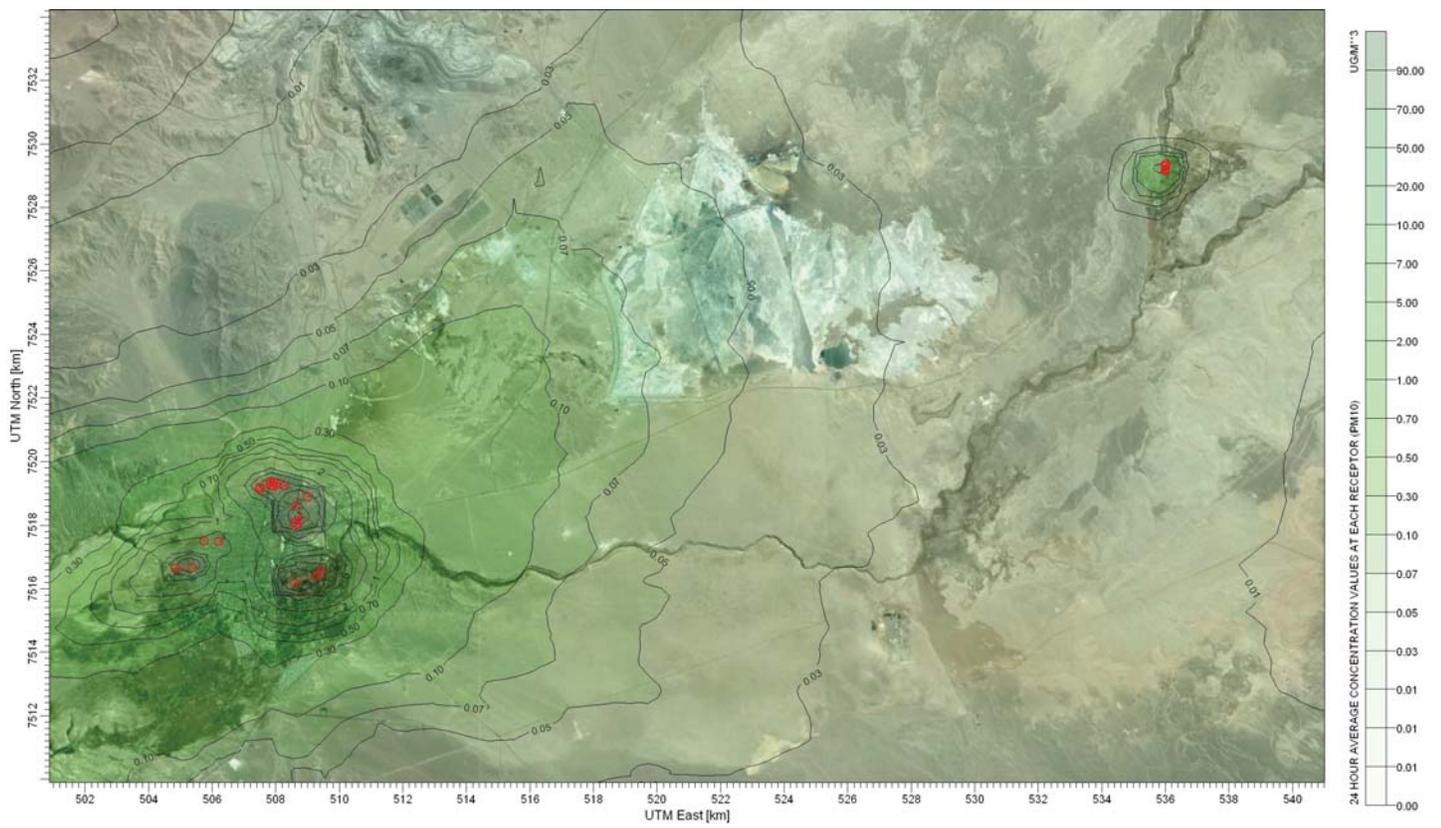


Figura N°2. Mapa Isoconcentraciones de MP10 - Calama – Media Anual (Coordenadas UTM Huso 19. Datum WGS84)

