



## Modelo de Dispersión Atmosférica

Consulta de Pertinencia de ingreso al SEIA

# “Extensión vida útil del proyecto extracción de áridos Fundo Lo Alfaro”

Sociedad Extractora y Comercializadora de Áridos  
Santa Fe Ltda.

Marzo de 2022

## Índice de Contenido

1	Antecedentes Generales.....	1
2	Introducción.....	1
3	Metodología.....	2
3.1	Modelación de dispersión de contaminantes atmosférico.....	2
3.2	Meteorología de pronóstico WRF.....	3
3.3	Marco legal.....	3
3.4	Linea base de calidad del aire.....	4
3.5	Análisis de Incertidumbre de Modelo Meteorológico WRF.....	5
3.5.1	Análisis Cualitativo.....	5
3.5.2	Análisis Cuantitativo.....	9
3.6	Características de la fuente emisora.....	9
3.6.1	Emisiones consideradas.....	9
3.6.2	Características de las fuentes a modelar.....	10
4	Resultados de la modelación atmosférica.....	13
5	Conclusiones.....	15

## Índice de Tablas

Tabla N° 1.	Normativa de Calidad del Aire Primaria.....	3
Tabla N° 2.	Información de calidad del aire disponible en la Estación Consultorio San Vicente.....	4
Tabla N° 3.	Línea base de Estación Consultorio San Vicente.....	4
Tabla N° 4.	Indicadores estadísticos entre datos observados y simulados.....	9
Tabla N° 5.	Resumen de las emisiones anuales estimadas para la fase de operación del proyecto ..	10
Tabla N° 7.	Aportes de debido a la operación de la planta sobre el punto de máximo impacto.....	13
Tabla N° 8.	Aporte máximo del proyecto sobre la línea base.....	14

## Índice de Figuras

Figura N° 1.	Dominio de la modelación del proyecto.....	2
Figura N° 3.	Ciclo diario de velocidad del viento observado y simulado.....	6
Figura N° 4:	Ciclo anual dirección del viento observado y simulado.....	6

Figura N° 4: Ciclo diario dirección del viento observado y simulado .....	8
Figura N° 2 Fuentes internas tipo área (FA), volumen (FV) y puntual (FF).....	11
Figura N° 3 Fuentes internas tipo camino ROAD “no pavimentadas”.....	11
Figura N° 2 Fuentes externas tipo camino ROAD “Pavimentadas”.....	12

## Modelo dispersión atmosférica “Extensión vida útil del proyecto extracción de áridos Fundo Lo Alfaro”

---

### 1 Antecedentes Generales

La empresa Sociedad Extractora y Comercializadora de Áridos Santa Fe Ltda., se encuentra en proceso de someter a consulta de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) el proyecto “Extensión vida útil del proyecto extracción de áridos Fundo Lo Alfaro”, el cual se encuentra ubicado en la península de Tumbes en la comuna de Talcahuano, Región del Biobío y cuenta con autorización según la R.E. N°326/2006.

El proyecto consiste en prolongar la vida útil del proyecto en 8 años, lo cual permitirá continuar con la extracción de áridos hasta alcanzar el volumen de material autorizado según R.E. N°326/2006. La operación de la planta requiere las siguientes actividades: Extracción, chancado, selección y acopio.

### 2 Introducción

El objetivo de este informe es entregar los resultados de la modelación de contaminantes producto de las emisiones atmosféricas generadas durante la fase operación del proyecto, y así también responder a las observaciones contenidas dentro del ICSARA.

Para la simulación se utilizó el programa de modelación de dispersión atmosférica CALPUFF en conjunto con un archivo meteorológico de pronóstico WRF, siguiendo las recomendaciones de la Guía de modelación atmosférica del SEA.

Finalmente, se realizó un análisis del desempeño de la meteorológica de pronóstico del archivo WRF utilizado, tal como lo señala la Guía de modelación atmosférica del SEA al utilizar modelo de dispersión CALPUFF. A continuación, se presenta una imagen satelital que muestra el dominio del archivo meteorológico utilizado y la localización del proyecto.



Figura N° 1. Dominio de la modelación del proyecto.

### 3 Metodología

#### 3.1 Modelación de dispersión de contaminantes atmosférico

Para evaluar la dispersión de emisiones del proyecto se utilizó el modelo atmosférico CALPUFF, el cual es una combinación entre los modelos Gaussianos y Lagrangeanos, es decir que calcula la dispersión de contaminantes provenientes de una emisión instantánea, llamada “puff”, a lo largo de una trayectoria. Su aproximación matemática consiste en estimar la dispersión en forma Gaussiana en cada punto de una trayectoria; es decir, a diferencia de los modelos Langrangeanos que necesitan el cálculo de un gran número de trayectorias para una fuente, los modelos tipo “puff” sólo requieren una trayectoria por “puff”, lo que hace su cálculo mucho más rápido.

Para la ejecución del modelo se consideraron los siguientes criterios:

- Evaluación bajo toda la meteorología de un año, para el presente caso fue el 2021, según meteorología de pronóstico utilizado.
- Se evaluaron las concentraciones horarias, diarias, y anuales dependiendo de cada contaminante con respecto a la norma.

- Cálculo del aporte de material particulado MP2,5, producto de la transformación química de las emisiones de NOx y SO2, utilizando módulo MESOPUFF.

### 3.2 Meteorología de pronóstico WRF

Las condiciones meteorológicas del área de del proyecto fueron obtenidas del modelo meteorológico de pronóstico Weather Research and Forecasting Model (WRF) para el año 2021. Este tipo de archivos meteorológico es recomendado para la aplicación de modelos de dispersión tipo CALPUFF, según la Guía de modelación atmosférica del SEA. El modelo de pronóstico meteorológico WRF es de tipo mesoescala no hidrostático (considera los movimientos verticales), usado con fines de pronóstico operacional y en investigación. Los principales componentes de este modelo son las fuentes externas de datos, como son los datos de entrada y la información geográfica, el sistema de pre-procesamiento, el modelo WRF-ARW, y los sistemas de post-procesamiento de datos.

### 3.3 Marco legal

Para evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa de calidad del aire, se compararon los resultados del modelo con las concentraciones máximas establecidas en las normas de calidad primaria en nuestro país. La siguiente tabla presenta los valores límites de referencia que se utilizaran para el análisis del presente estudio.

Tabla N° 1. Normativa de Calidad del Aire Primaria.

Contaminante	Límite Norma	Concentración
Material particulado PM10 D.S. N°59/1998	150 µg/m <sup>3</sup> N	Diaría P98
	50 µg/m <sup>3</sup> N	Anual
Material particulado PM2,5 D.S. N°12/2011	50 µg/m <sup>3</sup> N	Diaría P98
	20 µg/m <sup>3</sup> N	Anual
Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub> D.S. N°104/2019	80 µg/m <sup>3</sup> N	Anual
	150 µg/m <sup>3</sup> N	Diaría P99
	350 µg/m <sup>3</sup> N	1 hora P98,5
Dióxido de Nitrógeno NO <sub>2</sub> D.S. N°114/2002	400 µg/m <sup>3</sup> N	1 hora P99
	100 µg/m <sup>3</sup> N	Anual
Monóxido de carbono CO D.S. N°115/2002	10 mg/m <sup>3</sup> N	8 horas P99
	30 mg/m <sup>3</sup> N	1 hora P99

### 3.4 Línea base de calidad del aire

Para comparar las concentraciones obtenidas de la modelación con la calidad del aire de la zona y la normativa vigente, es necesario disponer de una línea base del lugar. A continuación, se presentan los datos de calidad disponibles en la Estación Consultorio San Vicente.

Tabla N° 2. Información de calidad del aire disponible en la Estación Consultorio San Vicente.

Estación	Coordenadas SE UTM WGS84 H18		Periodo analizado	Parámetros monitoreados				
	UTM - E	UTM-N		MP10	MP2,5	NO2	CO	SO2
Consultorio San Vicente	667.557	5.934.138	Enero – Diciembre 2021	Si	Sí	Si	No	Si

Como se puede apreciar, la estación Consultorio San Vicente cuenta con datos de los parámetro MP10, MP2,5, NOx y SO2, por lo tanto, se determinó una línea base de referencia para estos contaminante. La siguiente tabla presenta un resumen con la línea base obtenida a partir de los datos disponibles de la estación.

Tabla N° 3. Línea base de Estación Consultorio San Vicente.

Estadístico	Estadístico	Límite norma (ug/m3N)	LB equivalente	
			µg/m3	% r/Norma
MP10	Promedio anual	50	40,28	80,56%
	P98 diario	150	106,52	71,01%
MP2,5	Promedio anual	20	20,82	104,10%
	P98 diario	50	82,84	165,68%
NO2	Promedio anual	100	7,49	7,49%
	P99 1hr	400	39,21	9,80%
SO2	Promedio anual	80	1,62	2,03%
	P98 diario	150	5,64	3,76%
	P98,5 1 hr	350	9,2	2,63%

De acuerdo con la tabla anterior se observa que el contaminante MP2,5 supera el límite diario y anual en esta estación. El resto de los contaminantes se encuentra bajo límites de la norma de calidad de aire es superado.

### 3.5 Análisis de Incertidumbre de Modelo Meteorológico WRF

Debido a que los modelos meteorológicos representan una aproximación a la realidad y tienen asociados errores e incertidumbres, la “Guía para Uso de Modelos de Calidad de Aire del SEIA” indica que se debe realizar una comparación de los registros de este archivo WRF con información meteorológica local. Es por esto por lo que a continuación se presenta un análisis del archivo WRF con los datos disponibles de la zona.

Para validar el modelo meteorológico WRF utilizado, se realiza una metodología de análisis desde una perspectiva cualitativa y cuantitativa. El análisis cualitativo compara los ciclos diarios de velocidad y dirección del viento entre los datos observados y modelados. Mientras que el análisis cuantitativo, se utilizan los siguientes indicadores estadísticos.

a) Sesgo:

$$SESGO = \bar{O} - \bar{S}$$

Donde:

$$\text{Valor observado: } \bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i$$

$$\text{Valor simulado: } \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

b) Error Medio Cuadrático.

$$ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(O_i - S_i)^2}{N}}$$

Valor ideal = 0

#### 3.5.1 Análisis Cualitativo

- Velocidad del viento

A continuación se realiza una comparación entre el ciclo diario de velocidad del viento hecho a partir de los datos observados en la Estación Consultorio San Vicente y los valores modelados por el modelo meteorológico para el mismo punto:

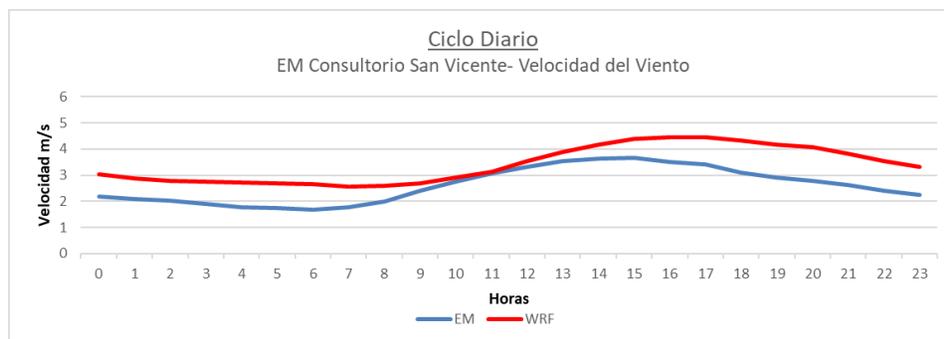


Figura N° 2. Ciclo diario de velocidad del viento observado y simulado.

De la figura anterior se observa que el modelo meteorológico representa apropiadamente la forma del ciclo diario de la velocidad del viento observada durante todo el día.

- Dirección del viento

A continuación se realiza una comparación entre el ciclo anual y diario de la dirección del viento hecho a partir de los datos observados en la Estación Consultorio San Vicente y los valores modelados por el modelo meteorológico para el mismo punto:

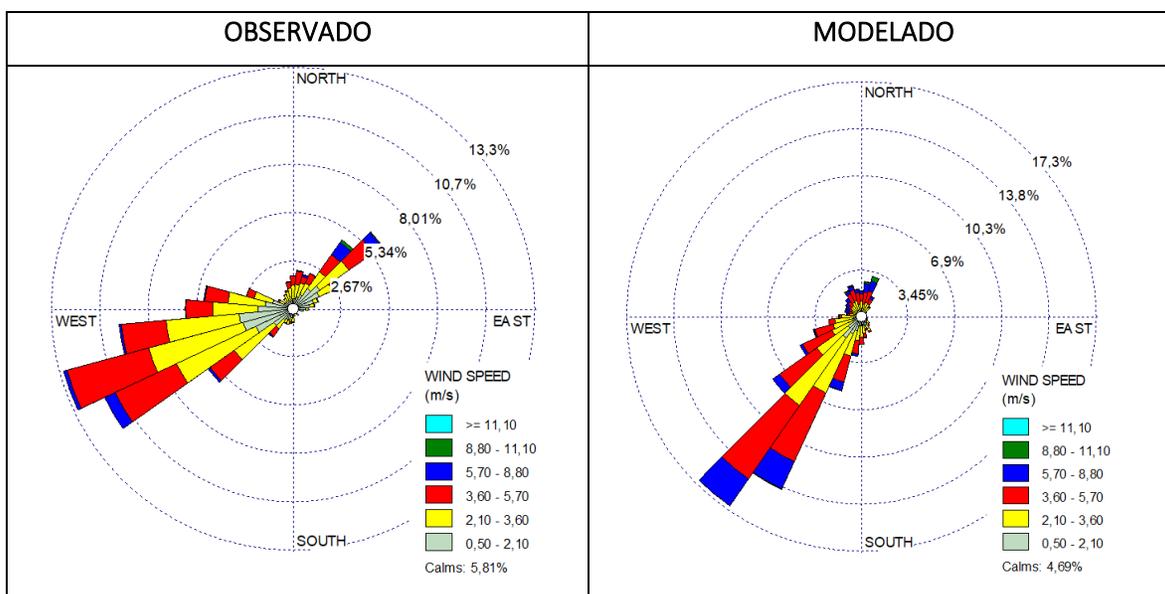
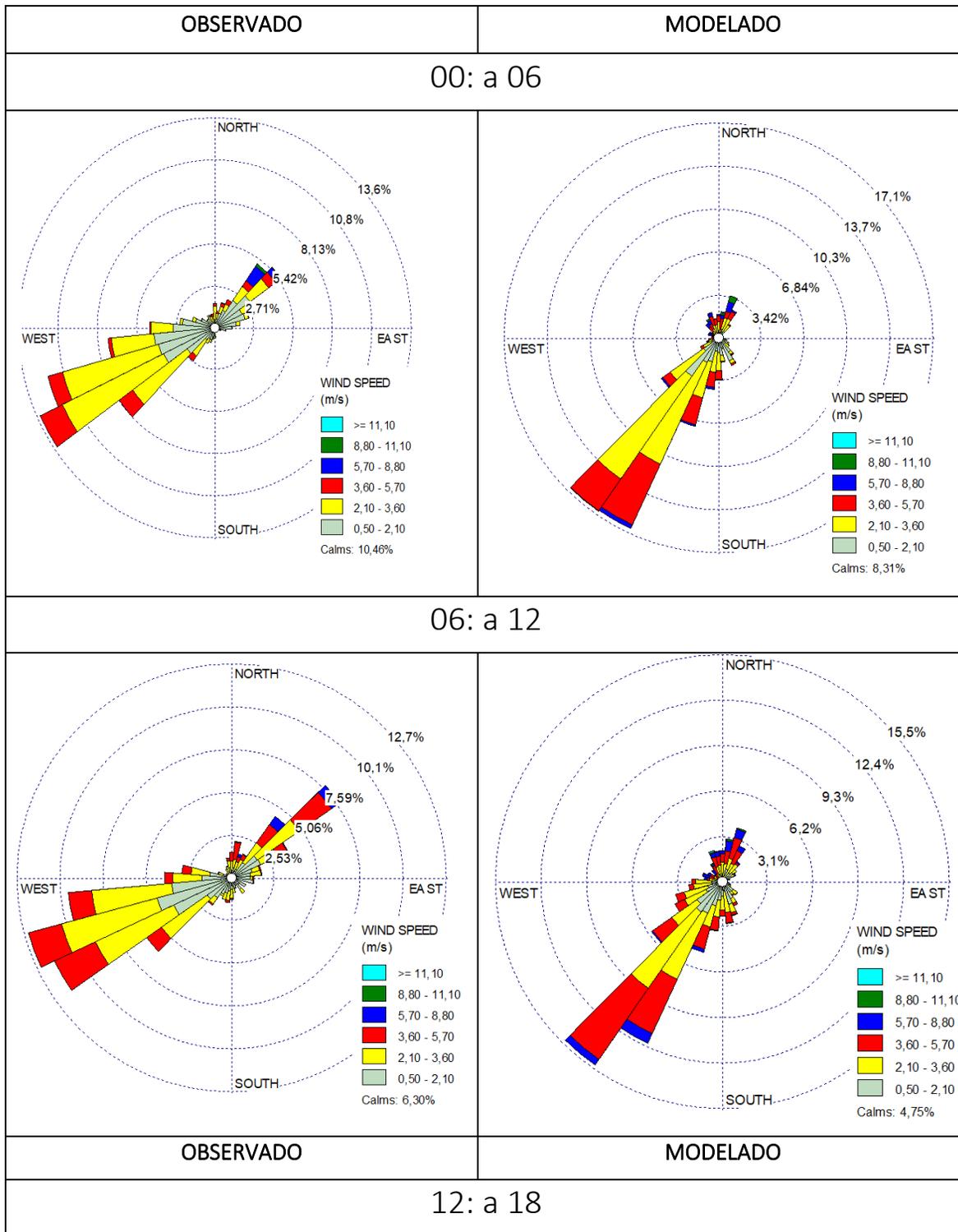


Figura N° 3: Ciclo anual dirección del viento observado y simulado.



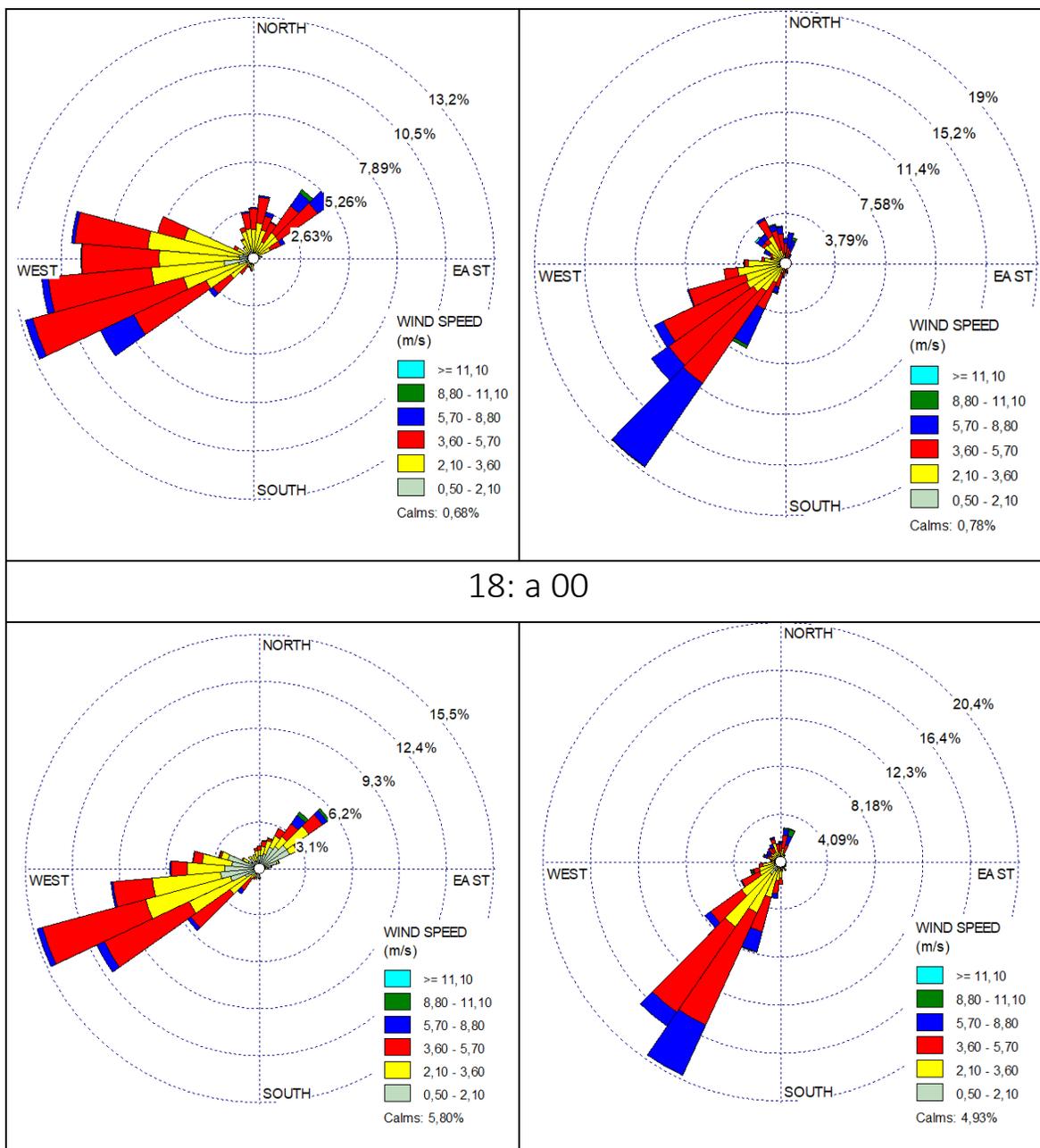


Figura N° 4: Ciclo diario dirección del viento observado y simulado.

En general se observa que el modelo logra representar de buena manera el ciclo anual y diario de la dirección del viento respecto a los datos observados.

### 3.5.2 Análisis Cuantitativo

En la siguiente tabla se presenta los indicadores estadísticos Sesgo, Coeficiente de Correlación y Error Cuadrático Medio calculados para el parametro velocidad del viento, entre los datos observados en la Estacion Consultorio San Vicente y los datos modelados.

Tabla N° 4. Indicadores estadísticos entre datos observados y simulados.

Estación	Sesgo (Error medio)	Error medio cuadrático
Consultorio San Vicente	0,79	1,16

De la tabla anterior se concluye que en forma cuantitativa el modelo logra representar de buena forma la variable meteorológica del viento.

Finalmente, se concluye que el modelo de pronóstico es capaz se modelar adecuadamente la velocidad, como tambien la dirección del viento a lo largo del día.

### 3.6 Características de la fuente emisora

Las fuentes de emisión asociadas a la fase de operación de la planta consideran:

- Las emisiones fugitivas de material particulado producto de:
  - Resuspensión de polvo debido a los movimientos de material en la zona de extracción y transferencia de material.
  - Resuspensión de polvo debido a la erosión del material almacenado al aire libre producto del viento.
  - Resuspensión de polvo debido a operación de chancado y tamizado.
  - Resuspensión de polvo debido al tránsito de vehículos por caminos no pavimentados.
- Emisiones producto de la combustión interna de vehículos o maquinaria
  - Maquinaria fuera de ruta.
  - Combustión interna de camiones.
  - Grupo electrógeno.

#### 3.6.1 Emisiones consideradas

Para la modelacion de las emisiones atmosferica de la fase de operación de la planta se consideraron todas las fuentes y sus emisiones estimadas en el inventario de emisiones desarrollado para este proyecto. Cabe mencionar que este es el peor escenario ya que considera la planta funcionando a maxima capacidad y con todas las fuentes emitiendo de forma simultánea.

La siguiente tabla presenta los valores de emisión estimados para la fase de operación de la planta. El detalle del cálculo de estos valores se entregó en informe de estimación de emisiones correspondiente.

Tabla N° 5. Resumen de las emisiones anuales estimadas para la fase de operación de la planta.

Actividad	Emisión (toneladas/año)				
	MP10	MP2,5	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
Excavación	2,0185	1,0361			
Chancado	0,3888	0,1944			
Clasificación	0,3564	0,0081			
Erosión eólica de material en pila	0,0267	0,0041			
Transferencia de material	0,1331	0,0202			
Tránsito por caminos pavimentados	0,0422	0,0102			
Tránsito por caminos no pavimentados	0,7949	0,0795			
Combustión interna de vehículos	0,0002	0,0002	0,0310	0,0001	0,0014
Combustión interna de maquinaria fuera de ruta	0,3676	0,3676	3,4210	0,0078	2,5354
Combustión de grupo electrógeno	0,3498	0,3498	4,9767	0,3273	1,0721
<b>Emisión Total</b>	<b>4,4783</b>	<b>2,0701</b>	<b>8,4287</b>	<b>0,3351</b>	<b>3,6089</b>

### 3.6.2 Características de las fuentes a modelar

A continuación, las siguientes imágenes muestran las fuentes internas externas a la planta, las cuales se han caracterizado en el modelo CALPUF como:

- Fuente puntual: grupo electrógeno.
- Fuente de area: Zona de extracción y combustion interna de maquinaria asociada.
- Fuentes de volumen: Pila de material, chancador y clasificador
- Fuentes de caminos: Caminos internos y externos.

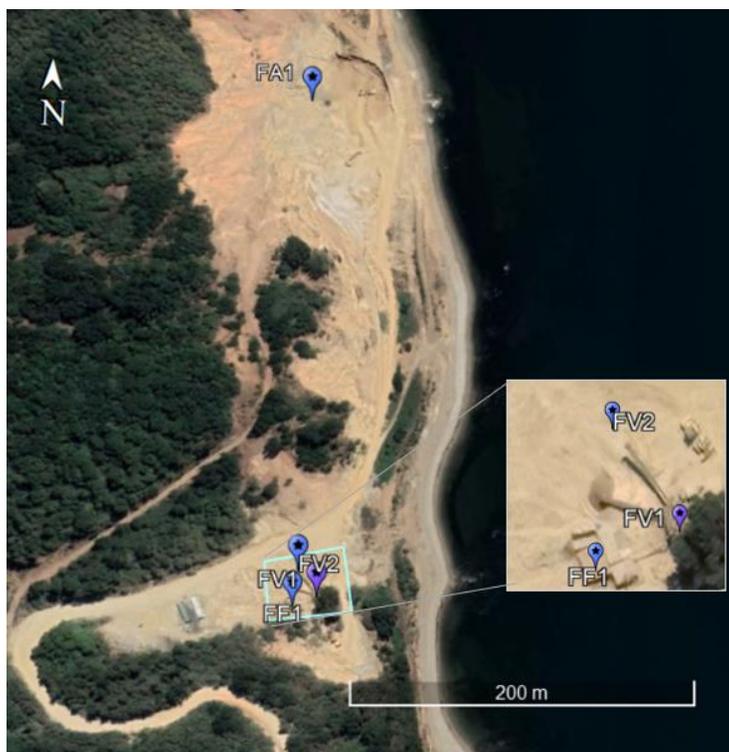


Figura N° 5 Fuentes internas tipo área (FA), volumen (FV) y puntual (FF).

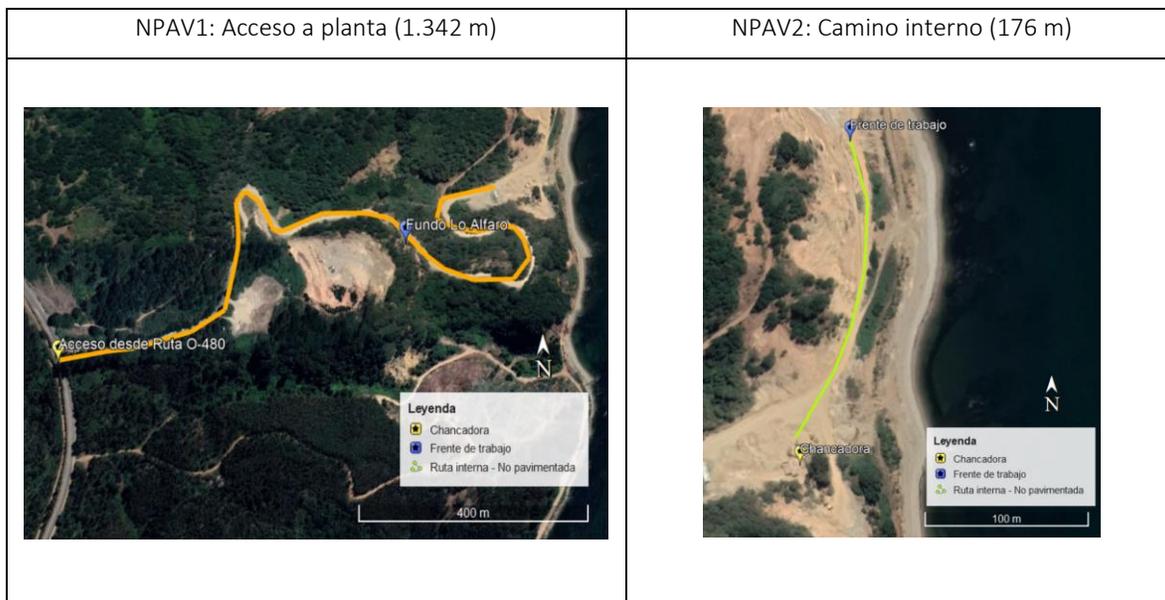


Figura N° 6 Fuentes internas tipo camino ROAD “no pavimentadas”.

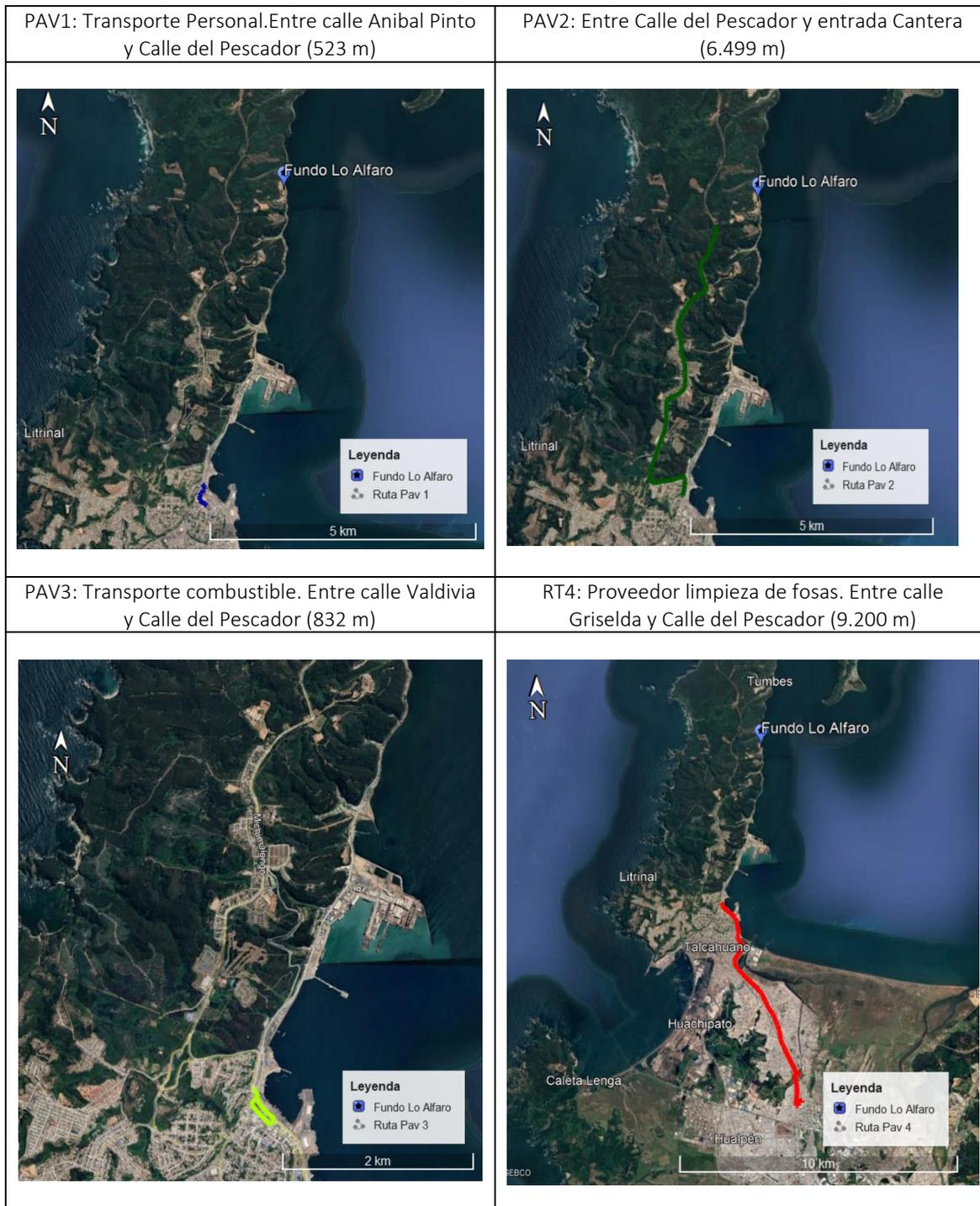


Figura N° 7 Fuentes externas tipo camino ROAD “Pavimentadas”.

#### 4 Resultados de la modelación atmosférica

El siguiente capítulo presenta los resultados obtenidos al aplicar el modelo de dispersión Calpuff a las emisiones debido a la operación de la planta.

Las siguientes tablas presentan los resultados del modelo en los puntos de máxima concentración (PMC) y se comparan éstos con la respectiva norma de calidad primaria.<sup>1</sup>

Tabla N° 6. Aportes de debido a la operación de la planta sobre el punto de máximo impacto

Parámetro	Estadístico	Límite Norma	Aporte en punto de máximo impacto		Ubicación Coordenadas SE UTM WGS84 H18	
		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	% r/ norma	UTM - E	UTM-N
MP10	Promedio anual	50	0,41	0,82%	670.433	5.941.530
	24hrs P98	150	2,52	1,68%	669.390	5.940.565
MP2,5	Promedio anual	20	0,20	0,98%	670.433	5.941.530
	24hrs P98	50	1,44	2,88%	669.390	5.940.565
NO <sub>2</sub>	Promedio anual	100	0,57	0,57%	670.433	5.941.530
	1 hr P99	400	69,40	17,35%	669.427	5.941.567
SO <sub>2</sub>	Promedio anual	80	0,02	0,02%	670.433	5.941.530
	24hrs P98	150	0,10	0,06%	670.433	5.941.530
	1 hr P99	350	1,31	0,37%	670.433	5.941.530
CO	8 Hr P99	10000	53,40	0,53%	669.427	5.941.567
	1 hr P99	30000	11,10	0,04%	669.427	5.941.567

Para el caso del Material Particulado, la concentración promedio 24hrs presenta el mayor aporte con una concentración de 2,52 µg/m<sup>3</sup> y 1,44 µg/m<sup>3</sup>, en las concentraciones de MP10 y MP2,5, respectivamente.

<sup>1</sup> En el Anexo del presente informe se presentan las curvas de iso-concentración (µg/m<sup>3</sup>) de los contaminantes modelados.

Para el caso de los gases, la concentración horaria de NO<sub>2</sub> presenta la mayor concentración con 69,40 ug/m<sup>3</sup>.

El punto de máximo impacto para las concentraciones anuales de MP se encuentra a 600 al noreste de la cantera, mientras que para las concentraciones diarias se encuentra a 650 metros al suroeste de la cantera. Para los gases se detectaron los mismos puntos de máxima concentración más un tercer punto ubicado al norte de la cantera a 800 metros.

A continuación, la siguiente tabla presenta el aporte sobre la línea base de referencia definida.

Tabla N° 7. Aporte máximo de la planta sobre la línea base

Estadístico	Estadístico	Límite norma (ug/m <sup>3</sup> N)	LB equivalente		Aporte planta + LB	
			µg/m <sup>3</sup>	% r/Norma	µg/m <sup>3</sup>	% r/Norma
MP10	Promedio anual	50	40,28	80,56%	40,69	81,38%
	P98 diario	150	106,52	71,01%	109,04	72,69%
MP2,5	Promedio anual	20	20,82	104,10%	21,02	105,08%
	P98 diario	50	82,84	165,68%	84,28	168,56%
NO <sub>2</sub>	Promedio anual	100	7,49	7,49%	8,06	8,06%
	P99 1hr	400	39,21	9,80%	108,61	27,15%
SO <sub>2</sub>	Promedio anual	80	1,62	2,03%	1,64	2,04%
	P98 diario	150	5,64	3,76%	5,74	3,82%
	P98,5 1 hr	350	9,20	2,63%	10,51	3,00%

Se observa de la tabla anterior que para la concentración de material particulado MP10, el aporte de la operación de la planta aumenta la línea base referencial en el punto de máximo impacto, desde 106,52 ug/m<sup>3</sup> a 109,04 ug/m<sup>3</sup>, la concentración diaria, lo que genera un incremento de 1,7 puntos porcentuales respecto a la norma.

Para la concentración de material particulado MP2,5, el aporte de la operación de la planta aumenta la línea base referencial en el punto de máximo impacto, desde 82,84 ug/m<sup>3</sup> a 84,28 ug/m<sup>3</sup> la concentración diaria, lo que genera un incremento un incremento de 2,9 puntos porcentuales respecto a la norma.

Para la concentración de NO<sub>2</sub>, el aporte de la operación de la planta aumenta la línea base referencial en el punto de máximo impacto, desde 39,2 ug/m<sup>3</sup> a 108,6 ug/m<sup>3</sup> la concentración horaria, lo que genera un incremento un incremento de 17,3 puntos porcentuales respecto a la norma.

Para la concentración de SO<sub>2</sub>, el aporte de la operación de la planta aumenta la línea base referencial en el punto de máximo impacto, desde 5,64 ug/m<sup>3</sup> a 5,74 ug/m<sup>3</sup> la concentración diaria, lo que genera un incremento de 0,06 puntos porcentuales respecto a la norma.

## 5 Conclusiones

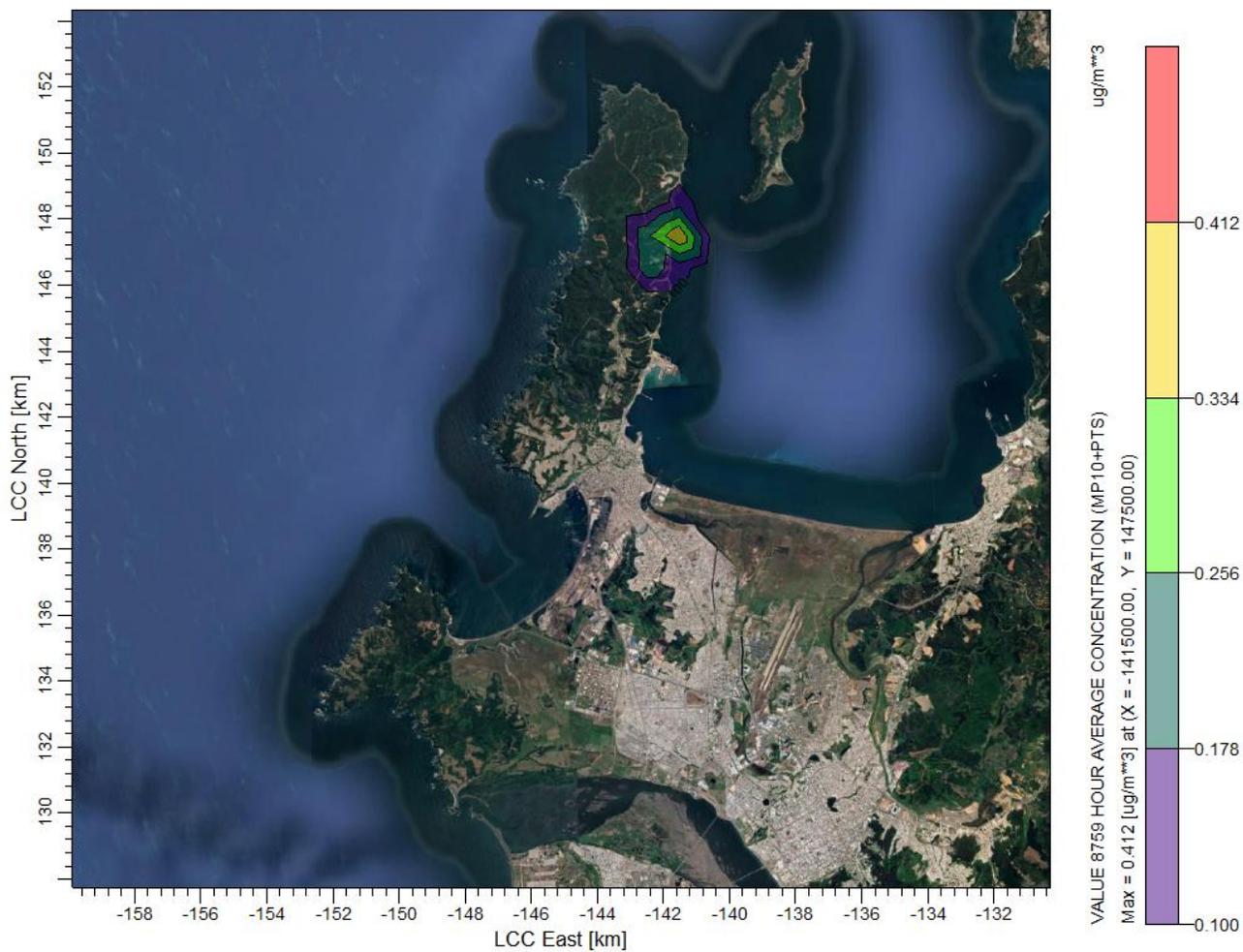
A partir del estudio realizado se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- a) De acuerdo a los resultados del modelo de dispersión, se determinó que el aporte en el punto de máxima concentración, debido a las emisiones generadas por la operación de la planta de extracción de áridos, considerando un funcionamiento a plena capacidad, no genera por si sola un sobrepaso de los límites de las respectivas normas de calidad del aire.
- b) Al considerar la línea base de referencia y el máximo aporte de las emisiones de la planta para MP10, la operación de la planta incrementaría la concentración promedio diario de MP10 desde 106,52 ug/m<sup>3</sup> a 109,04 ug/m<sup>3</sup>, esto genera un incremento de 1,6 puntos porcentuales en la relación entre la línea base y la norma.
- c) Al considerar la línea base de referencia y el máximo aporte de las emisiones de la planta para MP2,5, la operación de la planta incrementaría la concentración promedio diario desde 82,84 ug/m<sup>3</sup> a 84,28 ug/m<sup>3</sup>, esto genera un incremento de 2,9 puntos porcentuales en la relación entre la línea base y la norma.
- d) Al considerar la línea base de referencia y el máximo aporte de las emisiones de la planta para NO<sub>z</sub>, la operación de la planta incrementaría la concentración promedio diario desde 39,21 ug/m<sup>3</sup> a 108,61 ug/m<sup>3</sup>, esto genera un incremento de 17 puntos porcentuales en la relación entre la línea base y la norma.
- e) Al considerar la línea base de referencia y el máximo aporte del proyecto para SO<sub>2</sub>, la operación de la planta incrementaría la concentración promedio diario desde 5,64 ug/m<sup>3</sup> a 5,74 ug/m<sup>3</sup>, esto genera un incremento de 0,06 puntos porcentuales en la relación entre la línea base y la norma.
- f) El punto de máximo impacto para las concentraciones anuales de MP se encuentra a 600 al noreste de la cantera, mientras que para las concentraciones diarias se encuentra a 650 metros al suroeste de la cantera. Para los gases se detectaron los mismos puntos de máxima concentración más un tercer punto ubicado al norte de la cantera a 800 metros.
- g) El análisis cuantitativo y cualitativo del modelo de pronóstico WRF utilizado, indicó que el modelo WRF representa adecuadamente la velocidad y la dirección del viento.

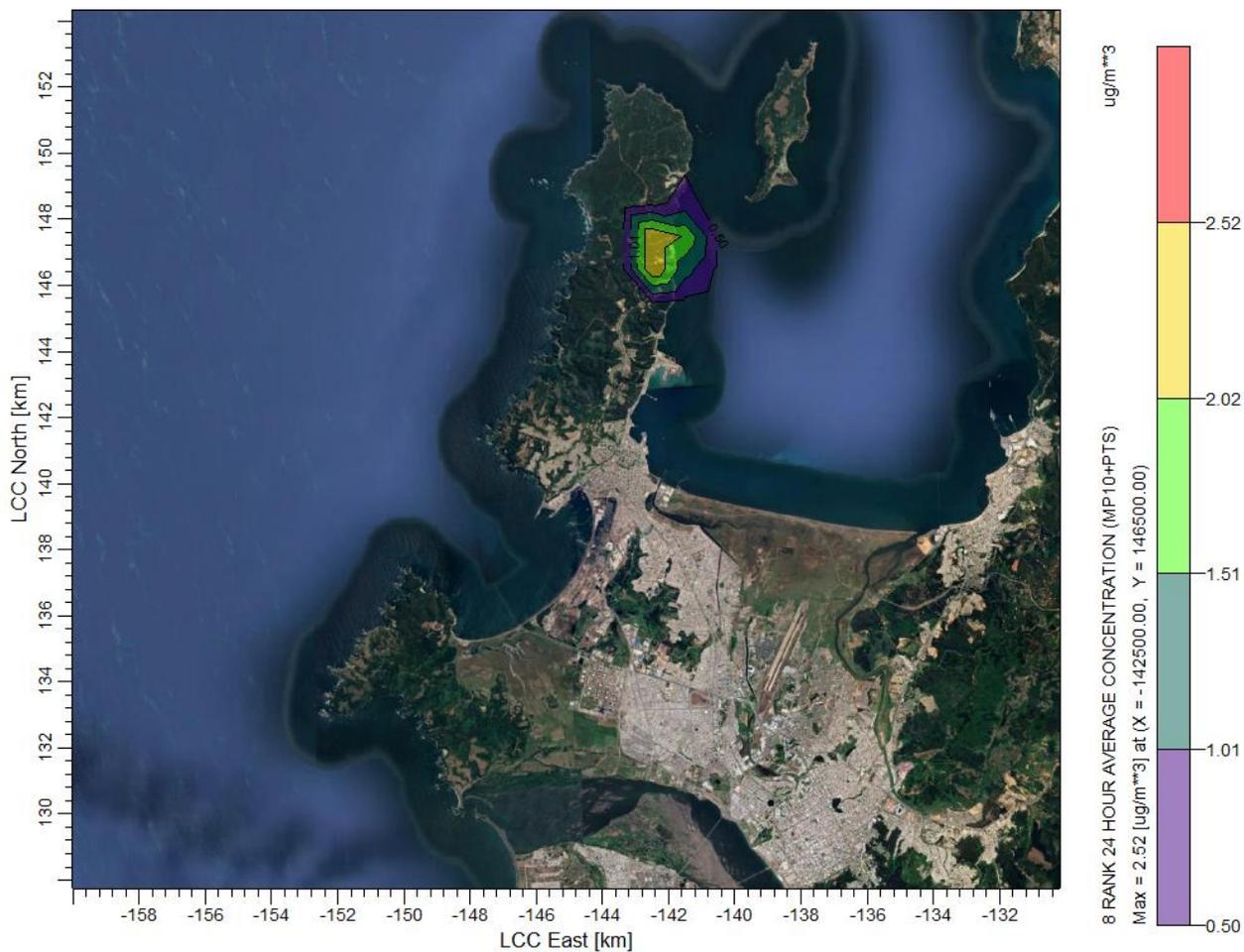
Finalmente, de acuerdo con el análisis realizado, la operación de la planta no genera aportes significativos por sobre la línea base de la zona.

ANEXO: Mapas de isoconcentración de material particulado y gases

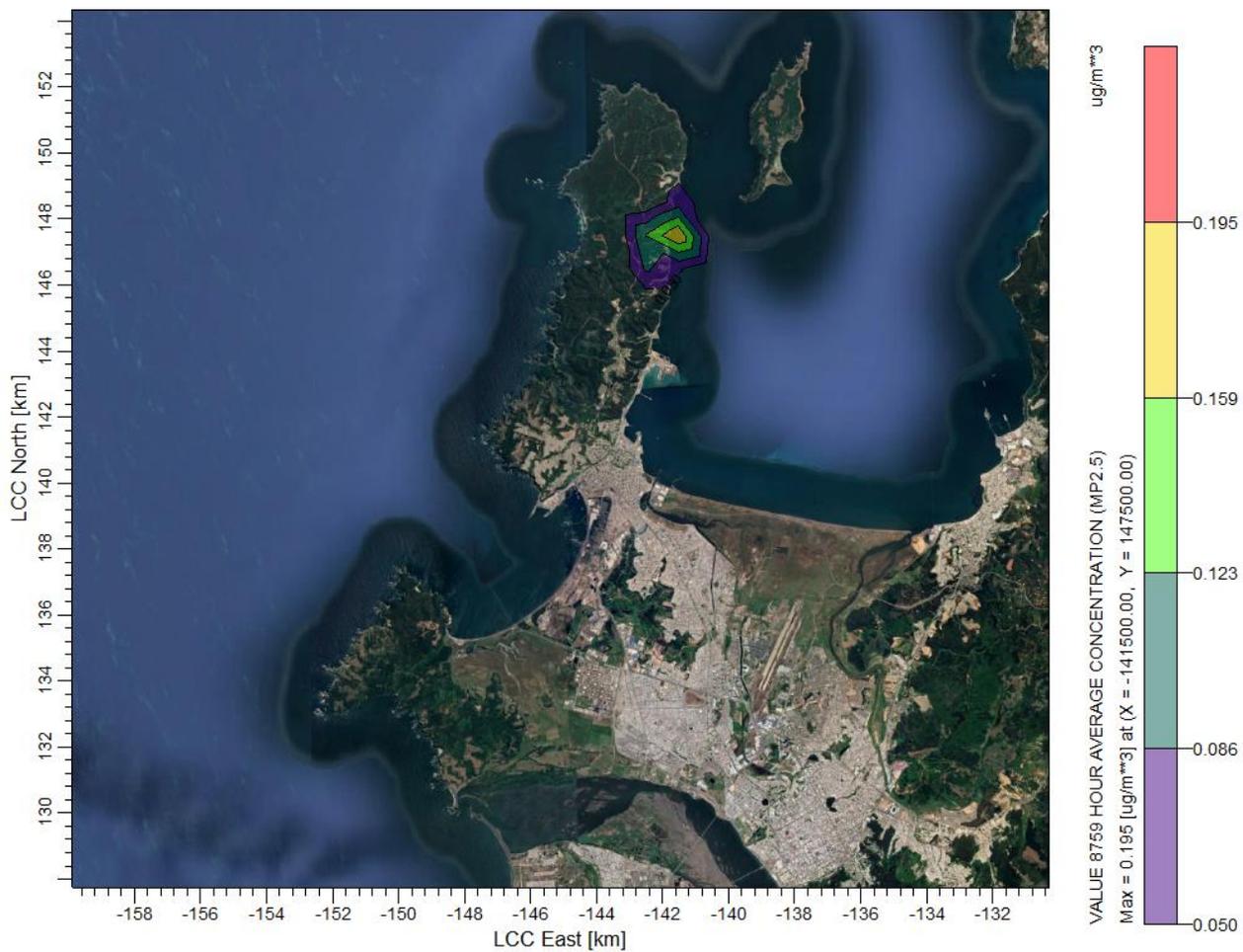
Curva de isoconcentración para MP10 anual



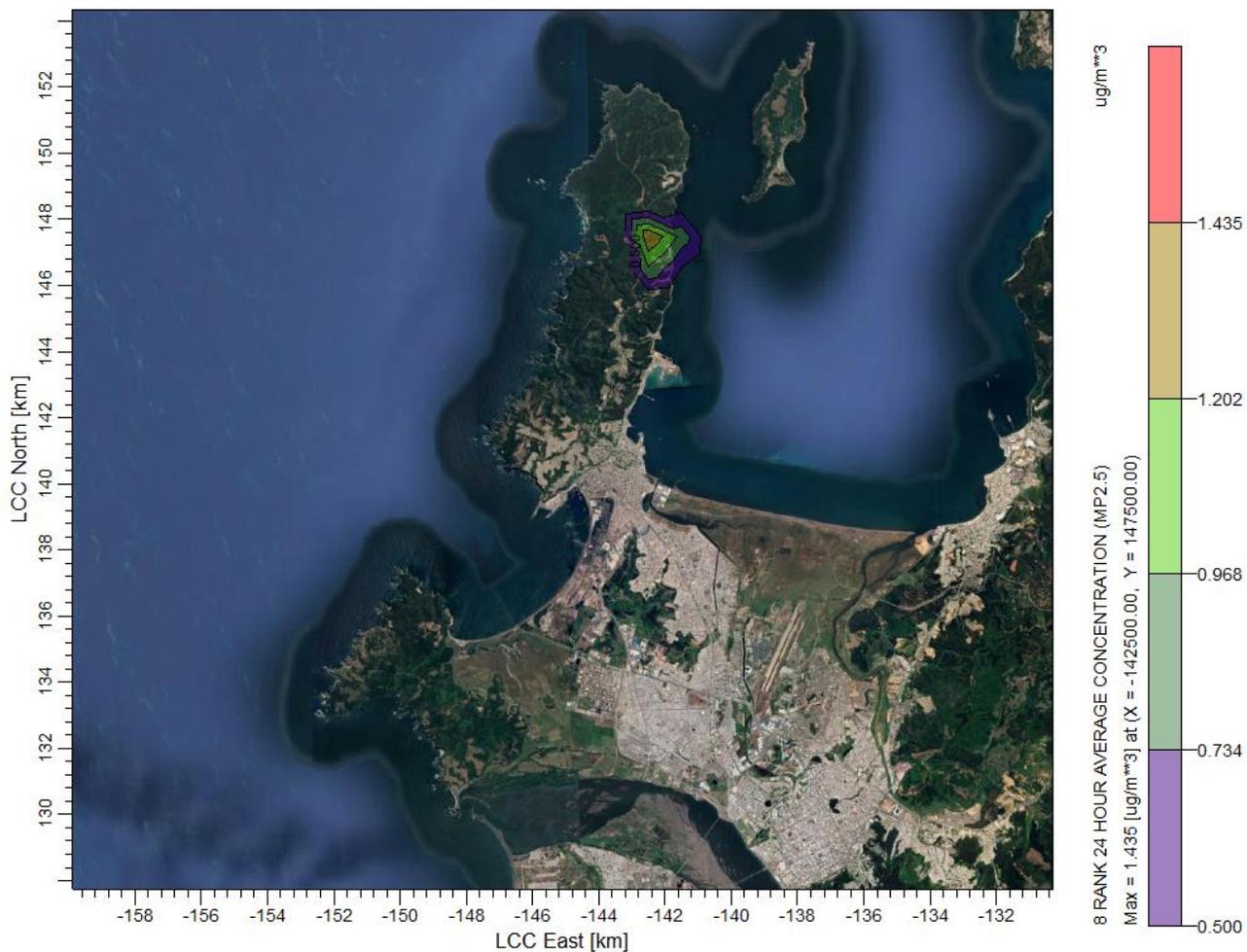
Curva de isoconcentración para MP10 24hrs



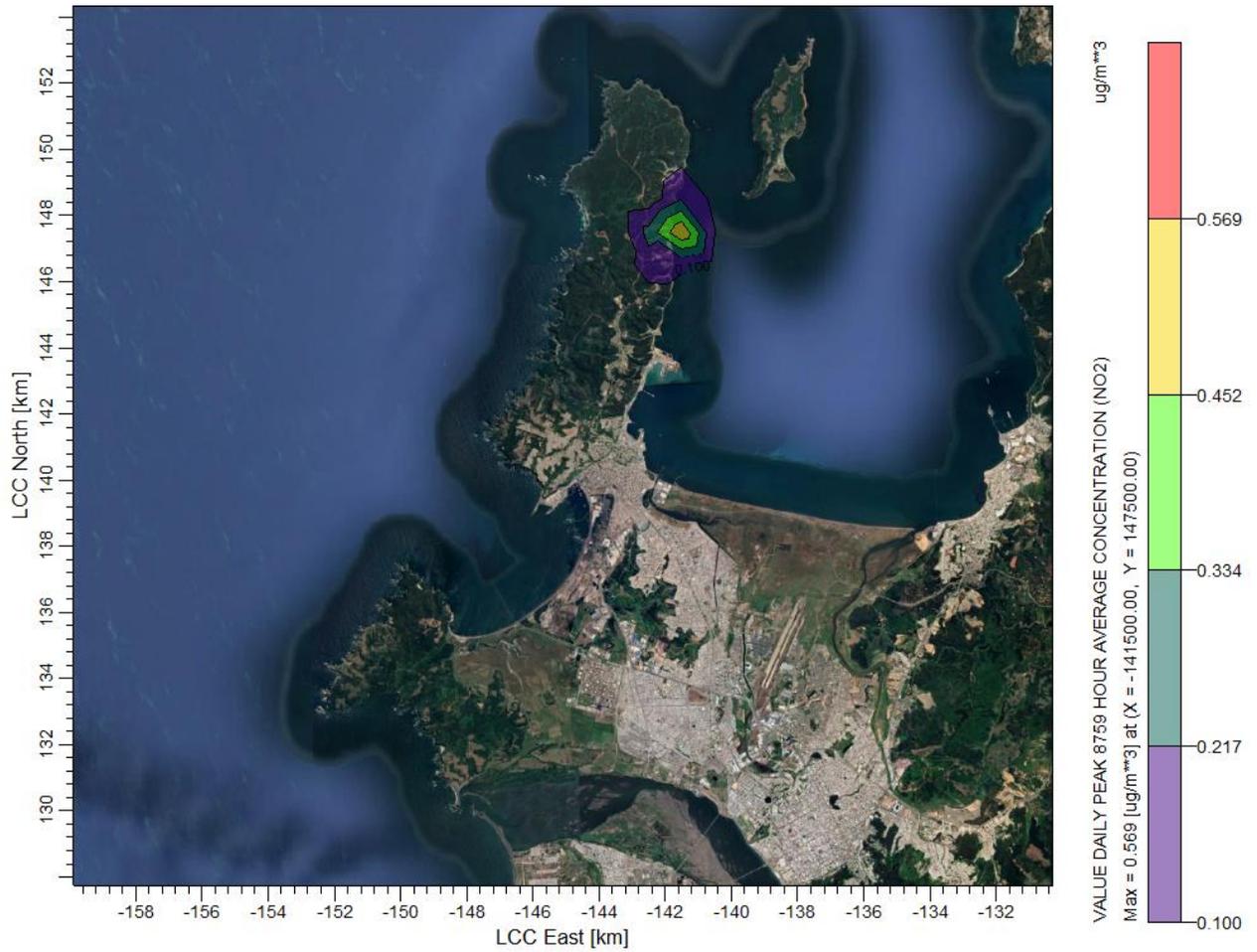
Curva de isoconcentración para MP2,5 anual



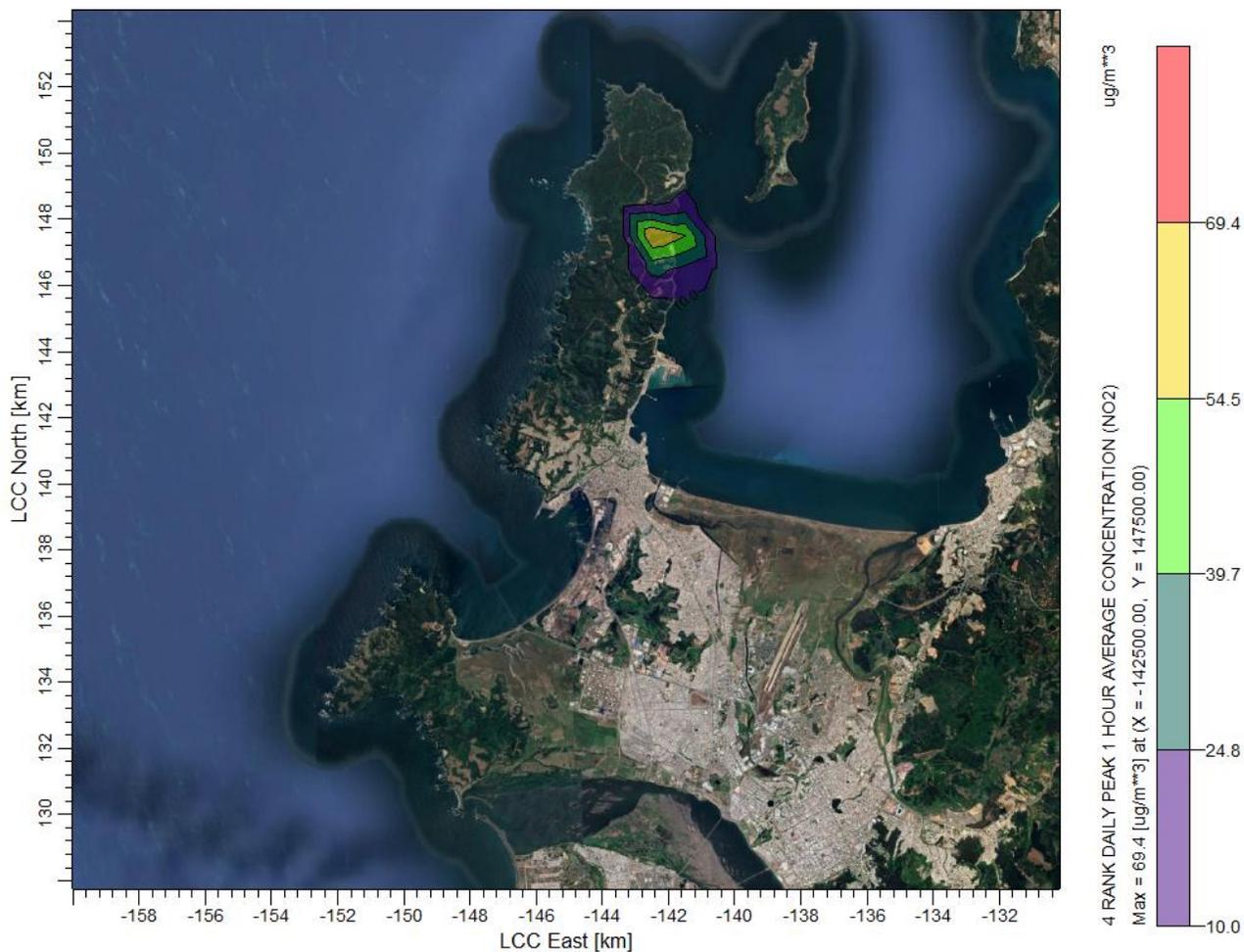
Curva de isoconcentración para MP2,5 24hrs percentil 98



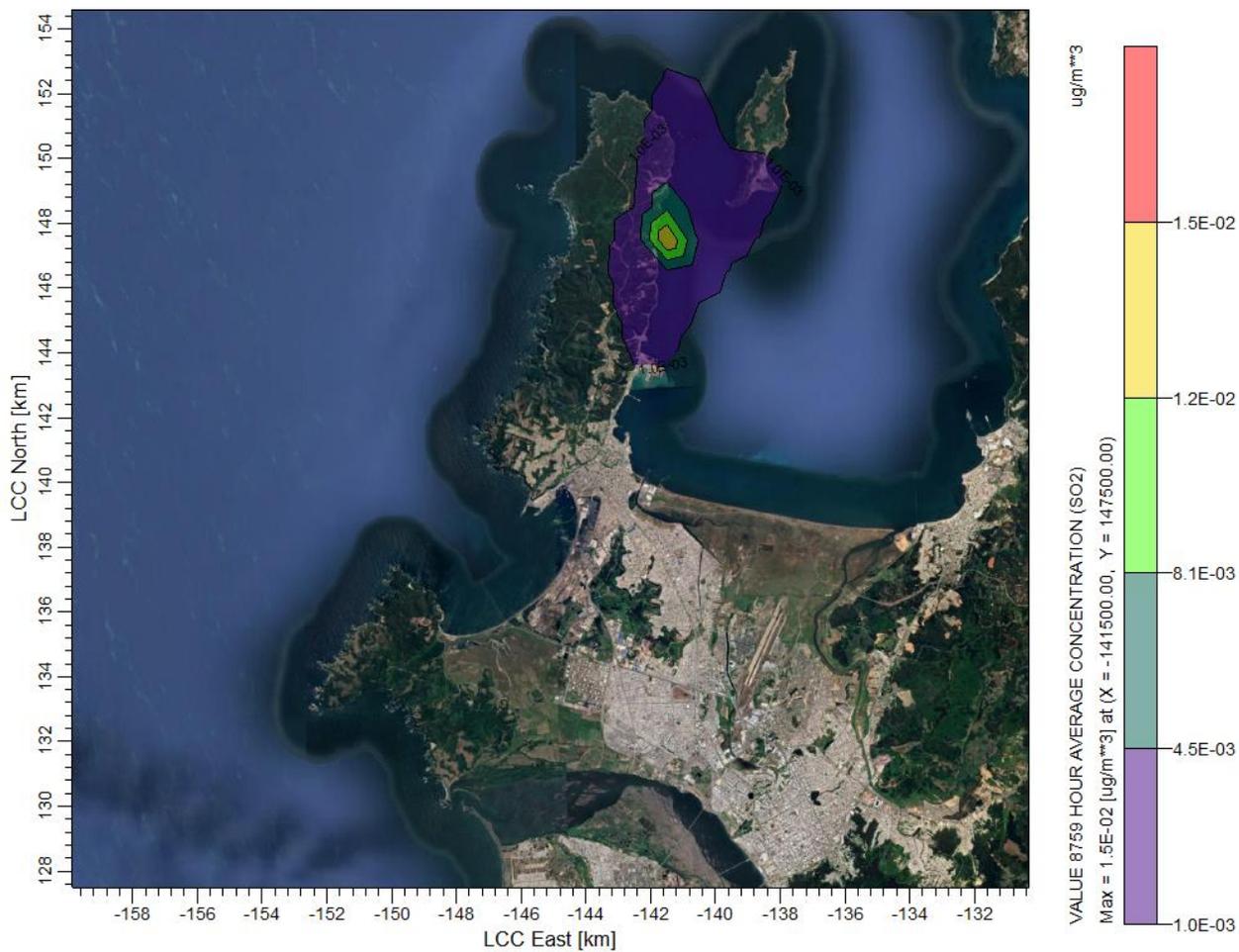
Curva de isoconcentración para NO2 anual



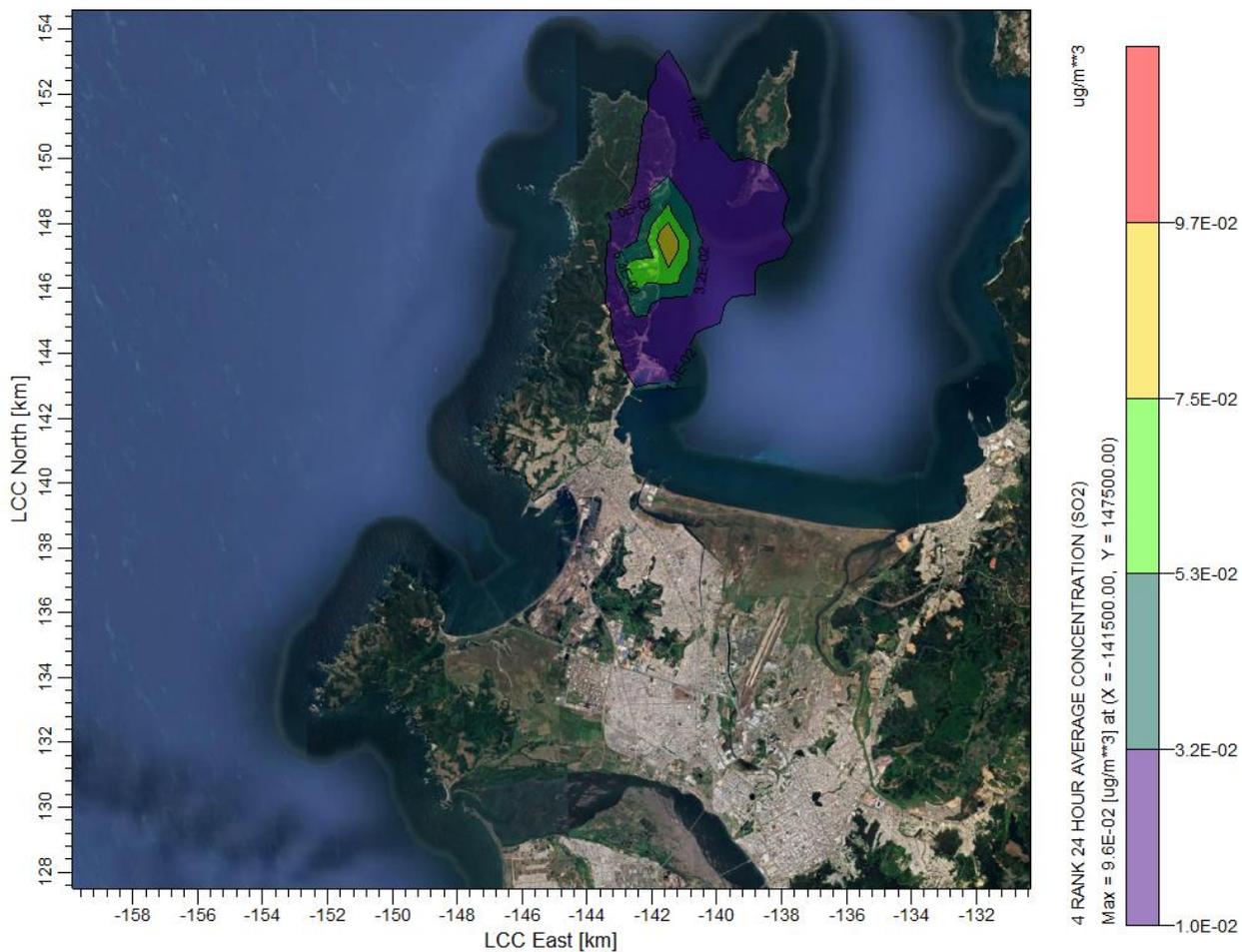
Curva de isoconcentración para NO2 promedio 1 hora percentil 99



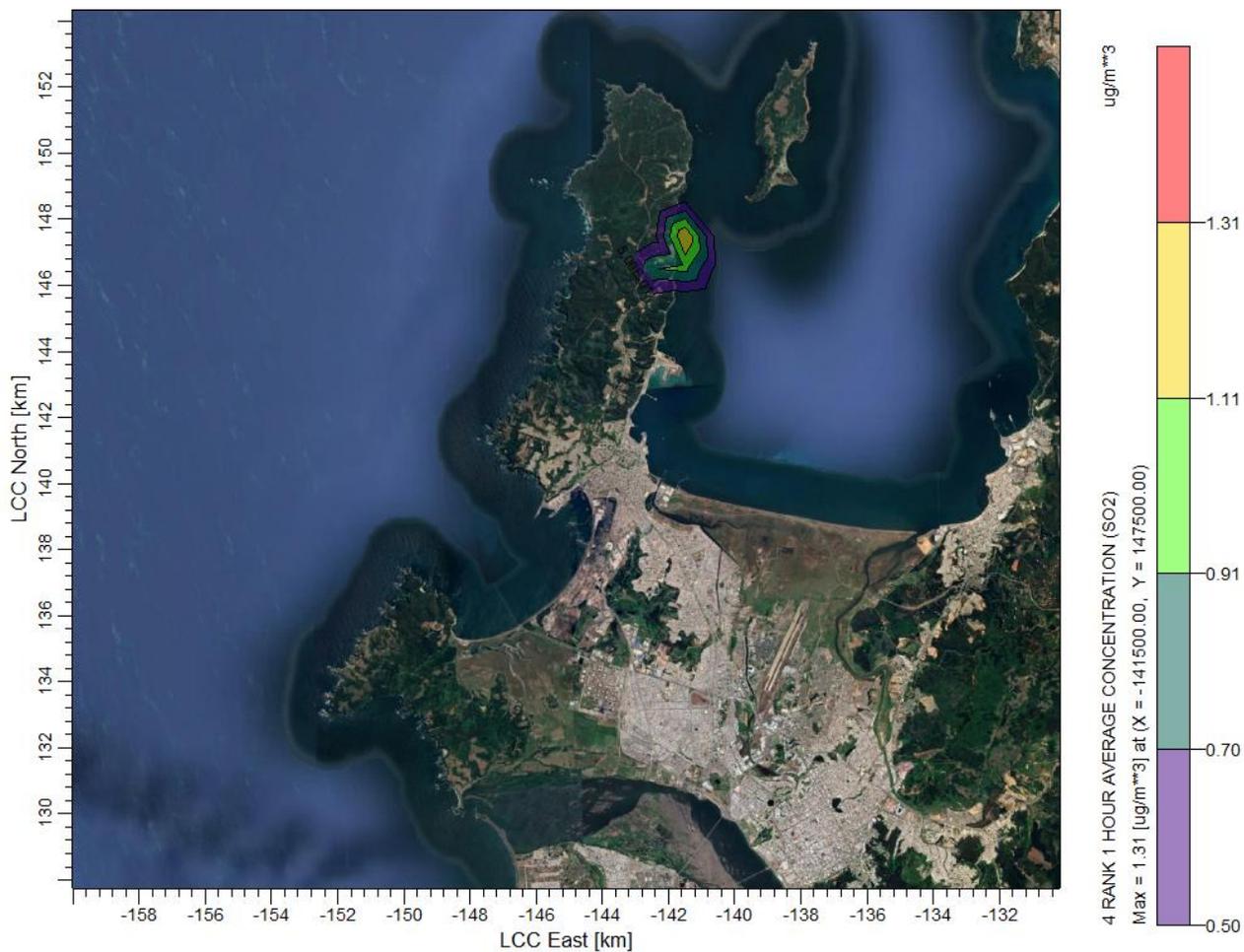
Curva de isoconcentración para SO2 promedio anual



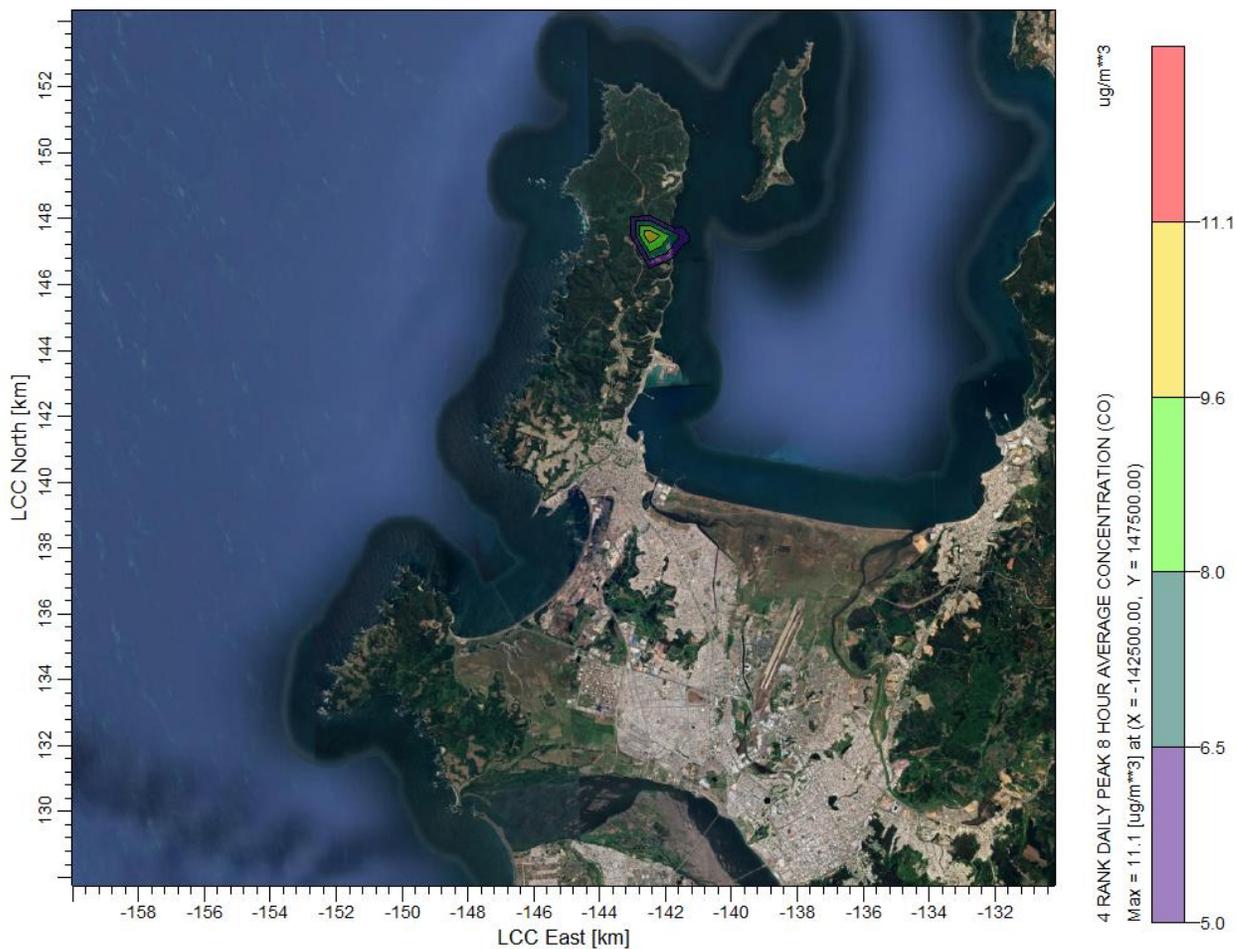
Curva de isoconcentración para SO2 promedio 24 horas percentil 99



Curva de isoconcentración para SO2 promedio 1 hora percentil 98,5



Curva de isoconcentración para CO promedio 8 horas percentil 99



Curva de isoconcentración para CO promedio 1 hora percentil 99

