

INFORME DE RESULTADOS

LIC 04/10

**MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES
ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DEL
AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2014**

Preparado por:

Algoritmos →



Servicios de Asesoría
en Monitoreo Calidad del Aire
y Modelación Atmosférica.

Para:



Octubre, 2015

INFORME DE RESULTADOS

LIC 04/10

**MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES
ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DEL
AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2014**

Preparado Para:



Versión del Documento				A-3	
Responsable Elaboración		Responsable Revisión		Responsable Aprobación	
Nombre:	Daniel Rogel	Nombre:	Evelyn Antifñir	Nombre:	Hugo Luarte G.
Cargo:	Ing. de Proyectos	Cargo:	Jefe Área Modelación	Cargo:	DGAC
Fecha:	29-10-2015	Fecha:	29-10-2015	Fecha:	30-10-2015
Firma:		Firma:		Firma:	

Octubre, 2015

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	1
2	Marco Legal	3
3	Situación Actual de Calidad del Aire en Aeropuerto AMB	4
4	Meteorología Imperante en la Zona de Estudio	8
4.1	Rosas de Viento.....	9
4.2	Ciclo Estacional del Viento	12
4.3	Ciclos Diarios	13
4.3.1	Velocidad del Viento.....	13
4.3.2	Dirección del Viento	14
4.3.3	Temperatura	15
4.3.4	Humedad Relativa.....	16
4.3.5	Radiación Solar	17
4.3.6	Precipitación	18
4.3.7	Análisis de Parámetros Meteorológicos Monitoreados.....	18
5	Fuentes Emisoras Consideradas en la Modelación.....	20
6	Descripción Modelos Utilizados en el Estudio	22
6.1	Modelo CALPUFF	22
6.1.1	Base Teórica	22
6.1.2	Sistema de Modelación WRF - CALPUFF	22
6.1.3	Variables de Entrada al Sistema de Modelación.....	23
7	Resultados de la Modelación.....	26
7.1	Campos de Viento.....	26
7.2	Aportes Obtenidos en la Modelación CALPUFF.....	31
7.3	Comparación Situación Actual v/s Aportes Modelación	32
7.4	Mapas de Isoconcentraciones	35
8	Conclusiones	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1	Coordenadas Vértices del Área de Modelación	1
Tabla Nº 2	Normas de Calidad del Aire Consideradas en el Estudio	3
Tabla Nº 3	Situación Actual de Calidad del Aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).....	5
Tabla Nº 4	Porcentaje de Cumplimiento de la Situación Actual Respecto a Normativa Ambiental Vigente.....	6
Tabla Nº 5	Localización de Referencia y Variables Meteorológicas Monitoreadas.....	8
Tabla Nº 6	Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2014	21
Tabla Nº 7	Características del Uso de Suelo	24
Tabla Nº 8	Localización Puntos Discretos o de interés.....	25
Tabla Nº 9	Aportes en Puntos de Interés ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	31
Tabla Nº 10	Aportes Modelación CALPUFF, Valor Promedio Hidrocarburos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32
Tabla Nº 11	Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés Estación EAMB01 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	33
Tabla Nº 12	Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés Estación Pudahuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Área de Modelación Aeropuerto AMB	2
Figura N° 2 Ubicación de Estaciones de Monitoreo Calidad del Aire	7
Figura N° 3 Rosa de Viento Ciclo Completo Estación Aeropuerto AMB	9
Figura N° 4 Rosas de Viento según periodo del día – Estación Aeropuerto AMB.....	10
Figura N° 5 Ciclo Estacional del Viento Estación Aeropuerto A.M.B.	12
Figura N° 6 Ciclo Diario Velocidad del Viento (m/s) - Estación Aeropuerto A.M.B.	13
Figura N° 7 Ciclo Diario Dirección del Viento (°) – Estación Aeropuerto A.M.B.	14
Figura N° 8 Ciclo Diario de la Temperatura (°C) – Estación Aeropuerto A.M.B.	15
Figura N° 9 Ciclo Diario de la Humedad Relativa (%) – Estación Aeropuerto A.M.B.	16
Figura N° 10 Ciclo Diario de la radiación Solar (W/m ²) – Estación Aeropuerto A.M.B.....	17
Figura N° 11 Precipitación Mensual Acumulada (mm) – Estación Aeropuerto A.M.B.....	18
Figura N° 12 Usos de Suelo.	24
Figura N° 13 Topografía del área de modelación	25
Figura N° 14 Campos de viento a las 00:00 horas.....	27
Figura N° 15 Campos de viento a las 06:00 horas.....	28
Figura N° 16 Campos de viento a las 12:00 horas.....	29
Figura N° 17 Campos de viento a las 18:00 horas.....	30
Figura N° 18 Percentil 98 Promedio Diario de MP10, Escenario 2	35
Figura N° 19 Promedio Periodo de MP10, Escenario 2.....	36
Figura N° 20 Percentil 98 Promedio Diario de MP2,5, Escenario 2	37
Figura N° 21 Promedio Periodo de MP2,5, Escenario 2.....	38
Figura N° 22 Percentil 99 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2	39
Figura N° 23 Percentil 99,7 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2	40
Figura N° 24 Percentil 99,73 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2.....	41
Figura N° 25 Promedio del Periodo de SO ₂ , Escenario 2	42
Figura N° 26 Percentil 99 Máximo Horario de NO ₂ , Escenario 2	43
Figura N° 27 Promedio Periodo de NO ₂ , Escenario 2	44
Figura N° 28 Percentil 99 Máximo Horario de CO, Escenario 2	45
Figura N° 29 Percentil 99 Máximo 8 Horas de CO, Escenario 2.....	46

1 Introducción

El presente documento da cuenta de los resultados obtenidos en la modelación de la dispersión atmosférica de las concentraciones de material particulado y gases provenientes de las actividades de operación realizadas en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez (en adelante, Aeropuerto AMB) y de fuentes externas, correspondientes a quemas agrícolas y extracción de pumicita.

El área de influencia considerada en la modelación correspondió a una zona rectangular de 15 x 16 Km². ubicada en la Comuna de Pudahuel, Región Metropolitana, en cuyo interior se encuentra ubicado el sitio de emplazamiento del Aeropuerto AMB, tal como se presenta en la Figura N° 1.

La Tabla N° 1 muestra las coordenadas de los vértices del área de modelación, las cuales se encuentran en Datum WGS-84.

Tabla N° 1
Coordenadas Vértices del Área de Modelación

Vértice	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
Noreste	6.311.379	341.034
Noroeste	6.311.103	325.001
Suroeste	6.294.146	325.293
Sureste	6.294.423	341.327

Fuente: Algoritmos, 2015.

La simulación de los contaminantes asociados a las actividades tanto internas como externas del Aeropuerto AMB, fueron modelados según requerimiento de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, 2012" Servicio de Evaluación Ambiental, mediante la aplicación del sistema de modelación atmosférica CALPUFF definido por la agencia EPA como sistema de referencia para simular la dispersión de contaminantes provenientes de complejos industriales ubicados en terreno complejo.

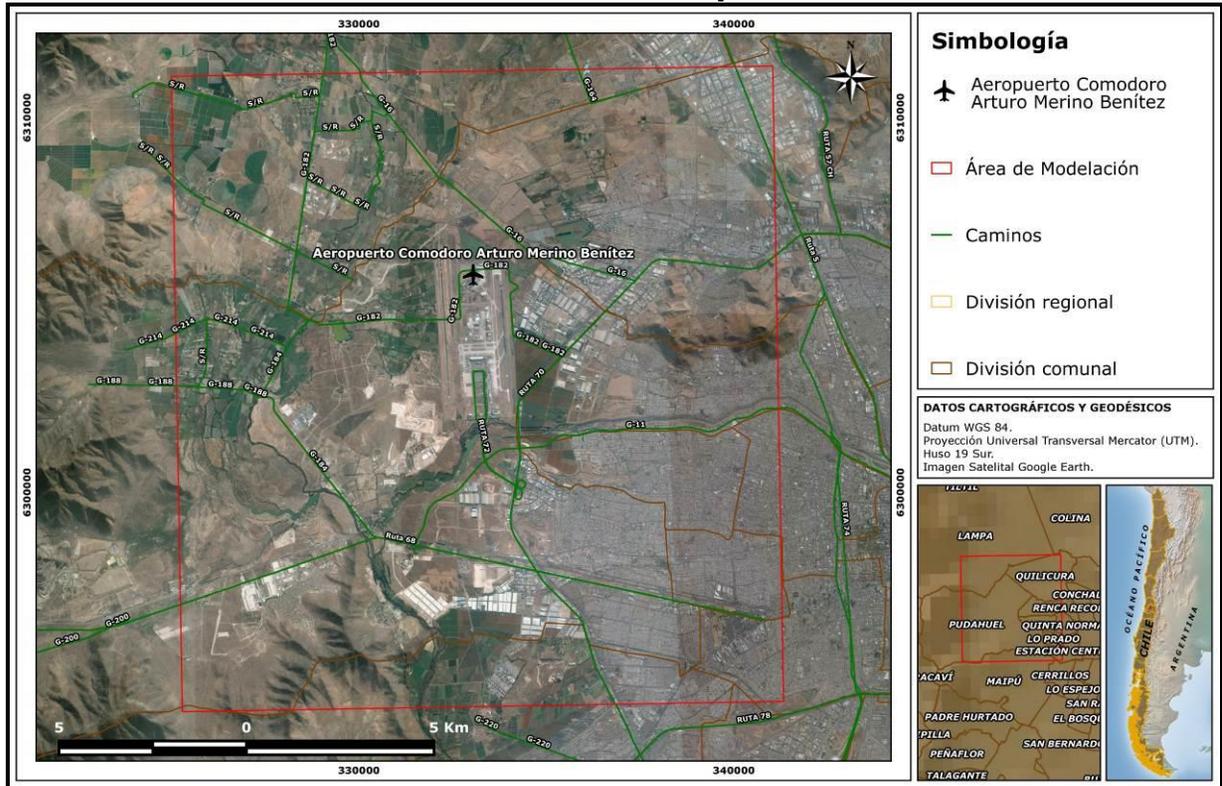
La meteorología utilizada en la modelación, correspondió a la obtenida por medio del modelo meteorológico de pronóstico Weather Research and Forecasting Model (WRF), la cual es utilizada como entrada para el modelo de dispersión CALPUFF, dicha información es referente al entorno del proyecto y corresponde al período comprendido entre el 1 de Enero de 2014 y el 31 de Diciembre de 2014

Al interior del área de influencia se considera que se producirán las máximas concentraciones de material particulado y gases, producto de las emisiones

provenientes de las actividades a realizar en el interior y exterior del Aeropuerto AMB.

Los resultados obtenidos en las modelaciones son presentados a través de Tablas y Mapas de Isolíneas, indicando así la distribución espacial de los impactos de los contaminantes generados en el área de modelación.

Figura N° 1
Área de Modelación Aeropuerto AMB



Fuente: Algoritmos, 2015.

2 Marco Legal

Para evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa ambiental aplicable, se consideraron las normas primarias y secundarias de calidad del aire definidas en la legislación chilena.

La siguiente Tabla presenta los valores límites establecidos por estadístico para cada contaminante evaluado.

Tabla N° 2
Normas de Calidad del Aire Consideradas en el Estudio

Parámetro	Tipo de Norma	Estadístico	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	Referencia
SO ₂	Primaria	Promedio Anual	80	D.S. 113/02 MINSEGPRES
		Percentil 99 Promedio Diario	250	D.S. 113/02 MINSEGPRES
	Secundaria	Promedio Anual	80	D.S. 22/10 MINSEGPRES
		Percentil 99,7 Promedio Diario	365	D.S. 22/10 MINSEGPRES
		Percentil 99,73 Máx. Horario	1.000	D.S. 22/10 MINSEGPRES
NO ₂	Primaria	Promedio Anual	100	D.S. 114/02 MINSEGPRES
		Percentil 99 Máx. Horario	400	D.S. 114/02 MINSEGPRES
CO	Primaria	Percentil 99 Máx. 8 hrs.	10.000	D.S. 115/02 MINSEGPRES
		Percentil 99 Máx. Horario	30.000	D.S. 115/02 MINSEGPRES
MP ₁₀	Primaria	Percentil 98 Promedio Diario	150	D.S. 20/13 MMA
MP _{2,5}	Primaria	Promedio Anual	20	D.S. 12/11 MMA
		Percentil 98 Promedio Diario	50	D.S. 12/11 MMA

Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

3 Situación Actual de Calidad del Aire en Aeropuerto AMB

Para caracterizar la situación actual de calidad del aire imperante en el área de influencia de las fuentes emisoras, se consideró las mediciones de material particulado MP_{10} y $MP_{2,5}$, de gases CO y NO_2 realizadas durante el año 2014 en las estaciones EAMB01 y Pudahuel, esta última calificada como estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP).

Los datos de la Estación Pudahuel corresponden a los extraídos del Servicio de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y definidos por el Ministerio del Medio Ambiente como datos "Preliminares". Los datos de la Estación EAMB01 corresponden a los registrados en la misma, ubicada en el Aeropuerto.

No obstante lo anterior, no existe monitoreo de SO_2 para el año 2014 en la Estación Pudahuel, por lo tanto se ha considerado como referencia los valores horarios registrados de la base de datos, solicitada al Ministerio de Medio Ambiente, mediante la Solicitud Pública N° 27.782 a la Oficina de Transparencia y Participación ciudadana, la cual se encuentra disponible solo entre los años 2006, 2007 y 2008.

Cabe destacar que para la Estación AMB no se indica registros de SO_2 porque no se monitorea esta variable, según lo establecido por la RCA 410/2003.

La Tabla N° 3 muestra un resumen de las concentraciones monitoreadas en cada estación.

Tabla N° 3
Situación Actual de Calidad del Aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Parámetro	Estadístico	Puntos de Interés		Norma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		Estación EAMB01	Estación Pudahuel	
SO ₂	Percentil 99,73 valores horarios	--	45	1.000
	Percentil 99,7 promedios diarios	--	25	365
	Percentil 99 promedios diarios	--	27	250
	Promedio Periodo	--	10	80
NO ₂	Percentil 99 valores máximos horarios	103	182	400
	Promedio Periodo	26	36	100
CO	Percentil 99 valores máximos horarios	1.781	11.965	30.000
	Percentil 99 valores máximos 8 horas	1.056	8.761	10.000
MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	102	156	150
	Promedio periodo	61	64	50
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	40	80	50
	Promedio Periodo	23	27	20

Fuente: Algoritmos, 2015.

La siguiente Tabla, presenta el porcentaje de los valores de concentración medidos de la situación actual respecto de la normativa ambiental vigente.

Tabla N° 4
Porcentaje de Cumplimiento de la Situación Actual
Respecto a Normativa Ambiental Vigente

Parámetro	Estadístico	Puntos de Interés	
		Estación EAMB01	Estación Pudahuel
SO ₂	Percentil 99,73 valores horarios	---	5%
	Percentil 99,7 promedios diarios	---	7%
	Percentil 99 promedios diarios	---	11%
	Promedio Periodo	---	13%
NO ₂	Percentil 99 valores máximos horarios	26%	46%
	Promedio Periodo	26%	37%
CO	Percentil 99 valores máximos horarios	6%	40%
	Percentil 99 valores máximos 8 horas	11%	88%
MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	68%	104%
	Promedio periodo	122%	128%
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	80%	160%
	Promedio Periodo	115%	133%

Fuente: Algoritmos, 2015.

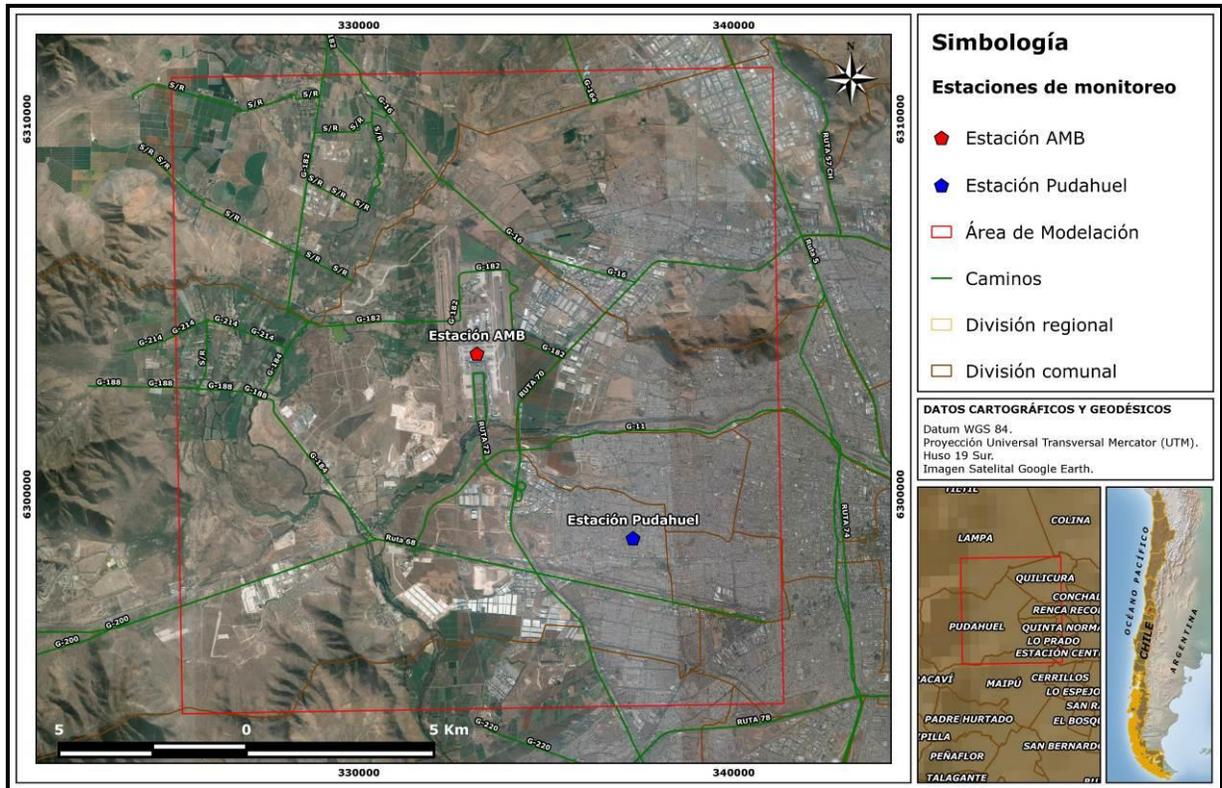
De la tabla anterior, se puede indicar que los gases contaminantes se mantienen dentro de la normativa, a excepción del material particulado MP₁₀ y MP_{2,5}.

Para determinar el nivel alcanzado de la normativa en la Estación AMB se consideró para cada contaminante lo monitoreado el año 2014.

Por otra parte, para la Estación Pudahuel calificada como EMRP, el estado de superación de norma se calculó con los datos monitoreados los años 2012, 2013 y 2014.

En la Figura N° 2 se muestra la ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire.

Figura N° 2
Ubicación de Estaciones de Monitoreo Calidad del Aire



Fuente: Algoritmos, 2015.

4 Meteorología Imperante en la Zona de Estudio

Las variables meteorológicas de mayor incidencia en la dispersión de las emisiones atmosféricas generadas por el proyecto, fueron obtenidas de las mediciones realizadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año 2014 en la estación meteorológica AMB.

La Tabla N°5 presenta las coordenadas de localización y las variables meteorológicas monitoreadas.

Tabla N° 5
Localización de Referencia y Variables Meteorológicas Monitoreadas

Estación	Coordenadas UTM ^a		Variables ¹	Periodo 2014
	Este (m)	Norte (m)		
AMB	333.148	6.303.728	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del Viento • Dirección del Viento • Temperatura • Humedad Relativa • Radiación Solar • Precipitación 	Enero - Diciembre

Fuente: AMB – DGAC.

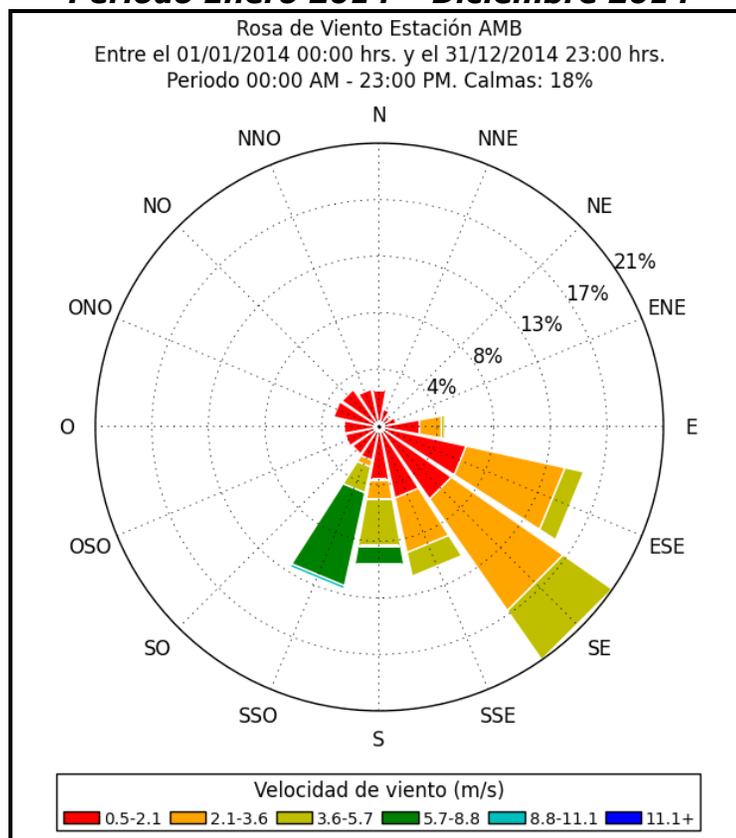
En las siguientes secciones, se presenta un análisis cualitativo de las variables meteorológicas de velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación para describir y determinar las características propias de la meteorología en el Aeropuerto AMB.

^a Coordenadas de referencia definidas según Datum WGS-84 Huso 19 Sur.

4.1 Rosas de Viento

A continuación, se muestran los campos de viento anual para el ciclo completo y para diferentes periodos del día representativos del área de influencia del Proyecto durante el periodo de modelación (año 2014) para la estación AMB.

Figura N° 3
Rosa de Viento Ciclo Completo Estación Aeropuerto AMB
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014

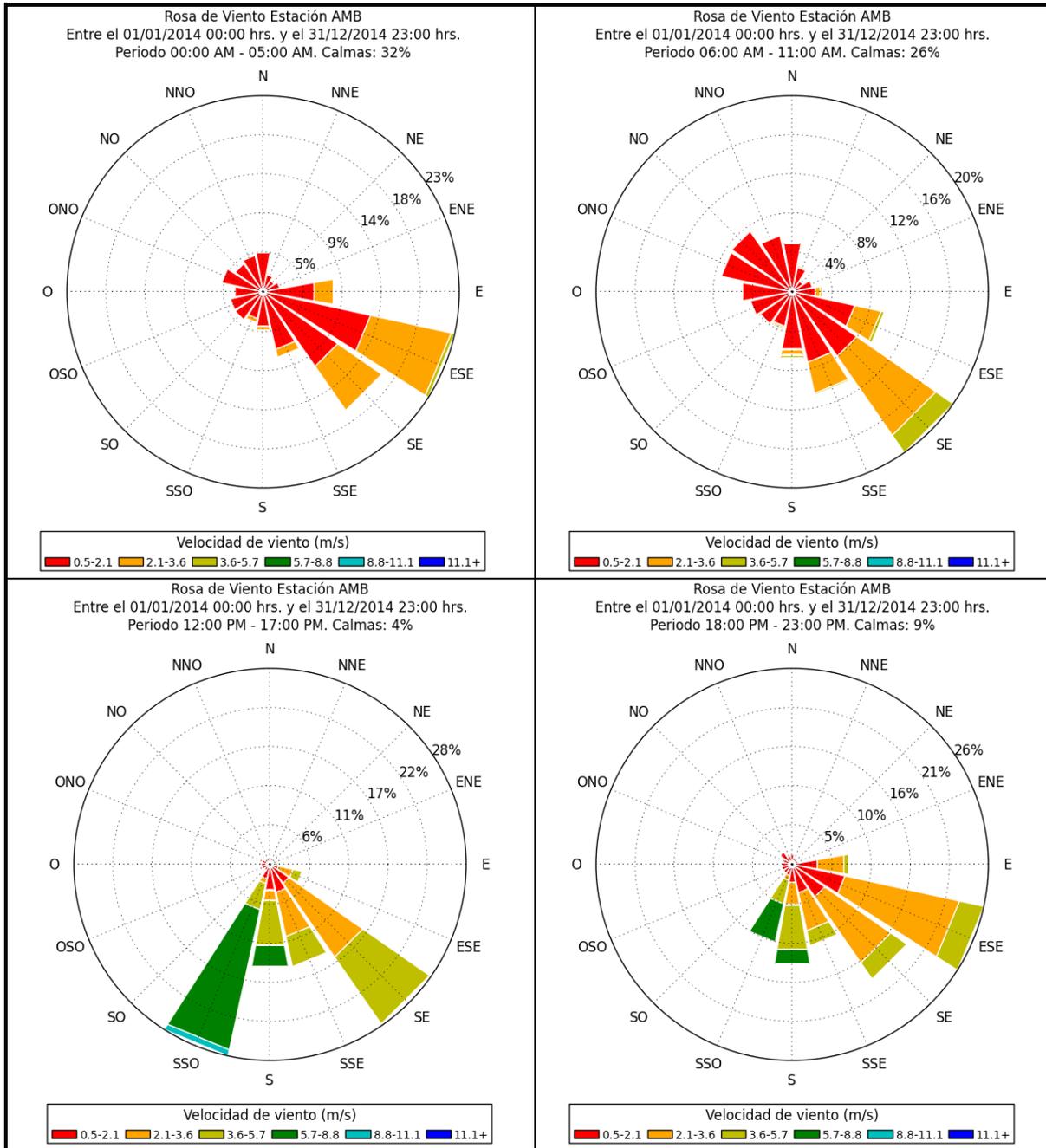


Fuente: Algoritmos, 2015.

Al observar la rosa de viento de la Figura N°3, se distingue gran frecuencia de vientos provenientes del rango Este - sureste (ESE) y Sur - suroeste (SSO), destacándose dentro de este rango los vientos provenientes del Sureste (SE) con un 21% del total del tiempo, con intensidades que fluctúan entre los 0,5 m/s y 5,7 m/s; pero las intensidades máximas provienen del Sur – suroeste (SSO), donde esta última alcanza velocidades de hasta 11,1 m/s pero con muy baja frecuencia de ocurrencia (menor al 1%).

A continuación la Figura N°4, representa los campos de viento para la estación AMB asociados a diferentes periodos del día.

Figura N° 4
Rosas de Viento según periodo del día – Estación Aeropuerto AMB.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



Fuente: Algoritmos, 2015.

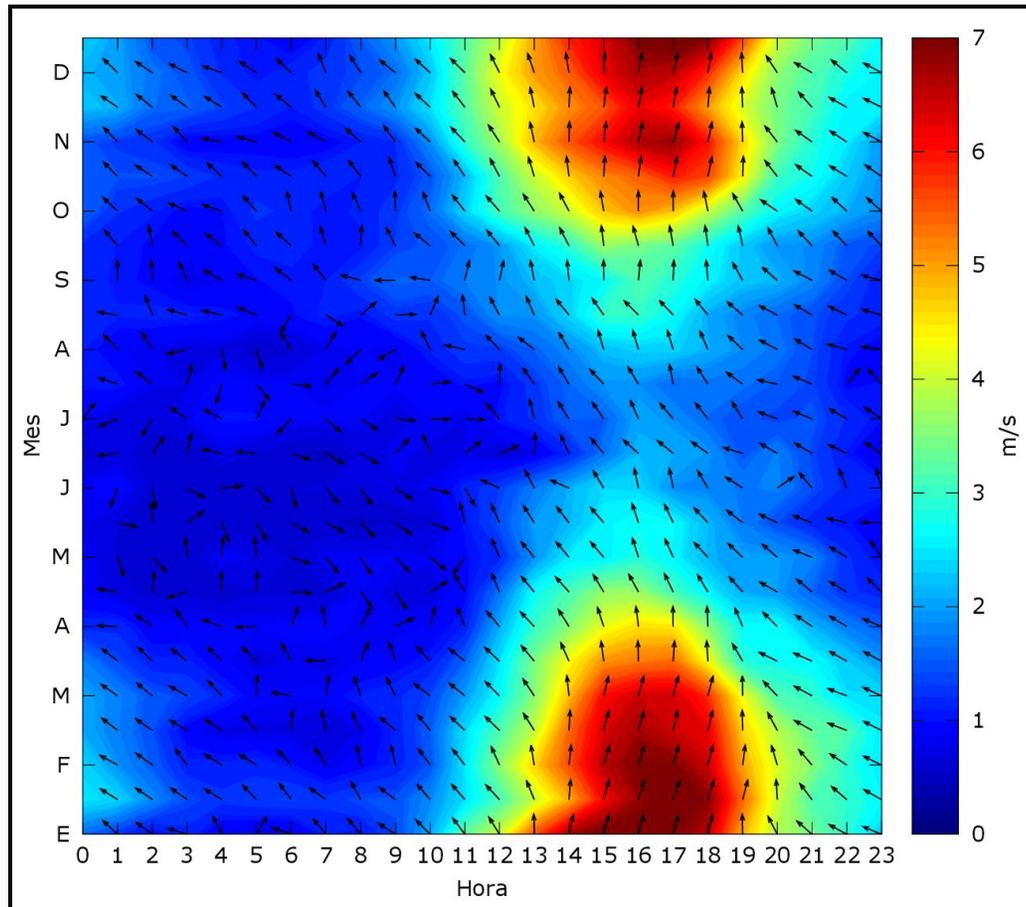
Es posible observar en la Figura N°4, que las rosas de viento de la madrugada (00:00 - 05:00 horas) y la noche (18:00 - 23:00 horas) presentan una mayor frecuencia de vientos que provienen del Este - sureste (ESE) y del Sureste (SE), las cuales en conjunto permanecen un 39% y 44% del total del tiempo,

respectivamente. En cuanto a velocidad, esta varía entre 0,5 y 5,7 m/s, pero en la noche se generan vientos más intensos que alcanzan los 8,8 m/s los cuales provienen del rango Sur (S) y Sur – suroeste (SSO). Durante la mañana (06:00 – 11:00 horas) se registran vientos procedentes de los cuatro cuadrante pero prevalecen los vientos de componente Sureste (SE) alcanzando los 5,7 m/s. Mientras que en las horas de la tarde (12:00 – 17:00 horas) se observan vientos intensos que soplan entre las componentes Sureste (SE) y Sur – suroeste (SSO) alcanzando velocidades máximas de 11,1 m/s y frecuencias de un 28% del total del tiempo en ambas direcciones.

4.2 Ciclo Estacional del Viento

A continuación, la siguiente Figura representa el ciclo estacional del viento para el periodo analizado (año 2014) para la estación AMB

Figura N° 5
Ciclo Estacional del Viento Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



Fuente: Algoritmos, 2015.

Al observar el ciclo estacional de la estación AMB (Figura N°5), se aprecia que la intensidad de los vientos en las horas de la tarde tiende a disminuir en los meses invernales (Mayo a Agosto), lo que presume condiciones desfavorables para la ventilación en la zona del Proyecto, lo que generaría mayores tiempos de residencia de los contaminantes que son transportados hacia la atmósfera, sobre todo durante el periodo nocturno donde se registran los mínimos de velocidad.

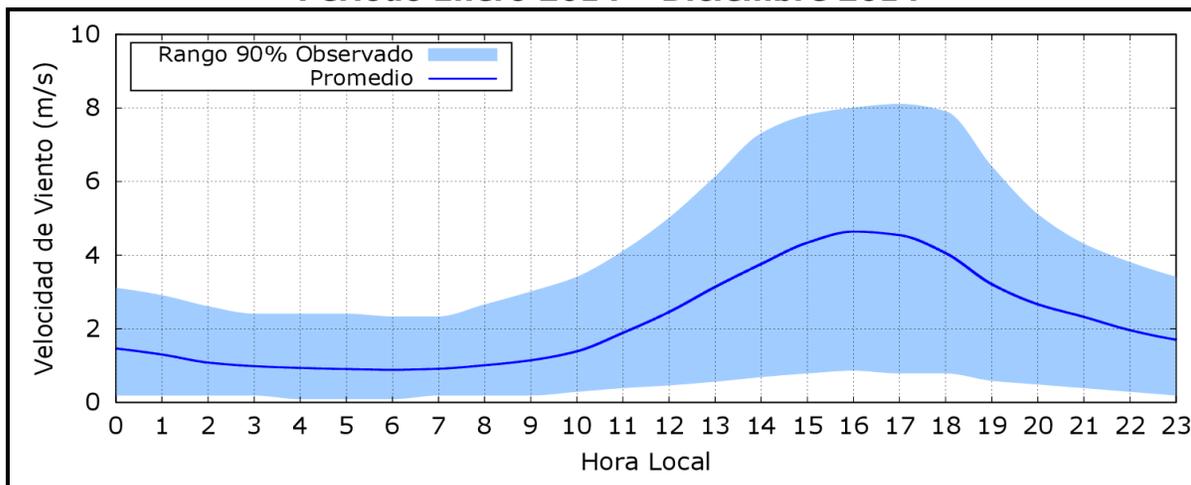
4.3 Ciclos Diarios

A continuación, se muestran los ciclos diarios promedios de la velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar, y por último la precipitación acumulada mensual a partir de los datos registrados en la estación de monitoreo meteorológico durante el periodo de Enero a Diciembre de 2014.

4.3.1 Velocidad del Viento

La siguiente Figura, representa el ciclo diario promedio de la velocidad del viento para la estación AMB.

Figura N° 6
Ciclo Diario Velocidad del Viento (m/s) - Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



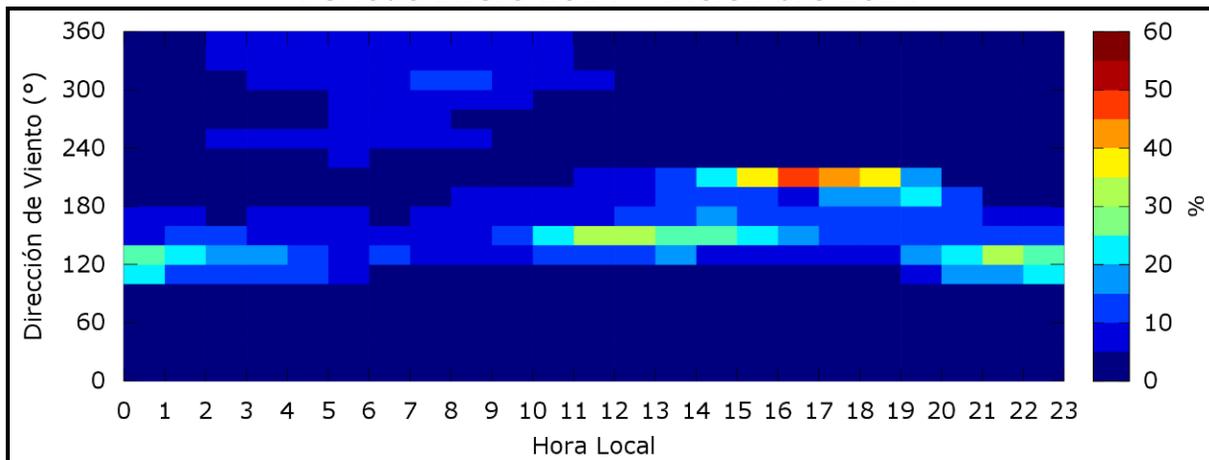
Fuente: Algoritmos, 2015.

Se puede apreciar en la Figura N°6, que el ciclo de velocidad de viento observado presenta un comportamiento con velocidad máxima promedio a las 16:00 horas con 4,5 m/s. En cambio, durante las horas de la madrugada se producen las velocidades mínimas observadas, con escasa presencia de calmas (vientos inferiores a 0,5 m/s).

4.3.2 Dirección del Viento

A continuación, la siguiente Figura representa el ciclo diario de la dirección de viento anual generado con la meteorología monitoreada por la estación AMB.

Figura N° 7
Ciclo Diario Dirección del Viento (°) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



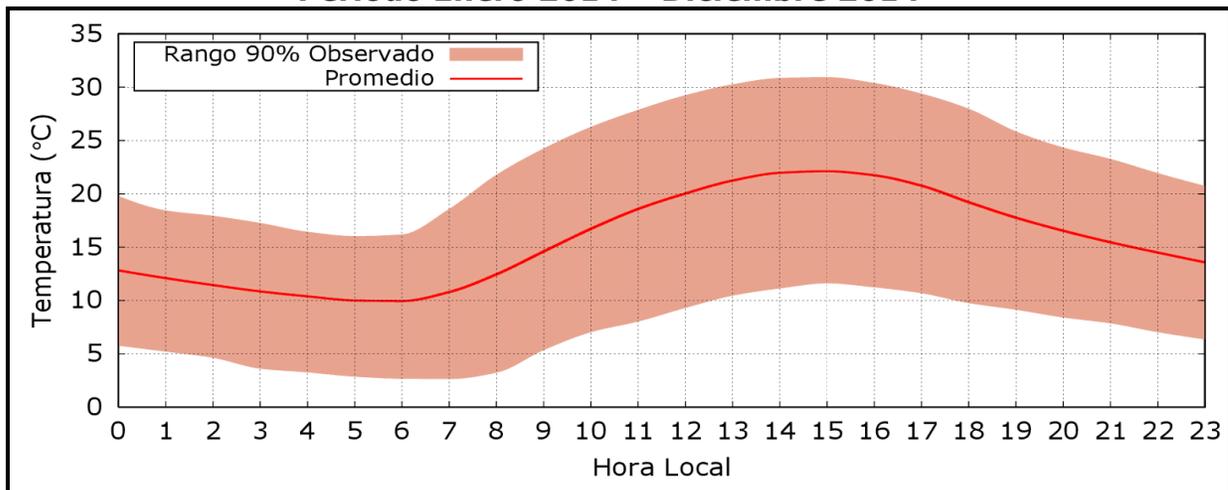
Fuente: Algoritmos, 2015.

De la Figura N°7 se observa la procedencia de vientos del Sur - suroeste (SSO, 210°) y del Sureste (SE, 140°) durante el periodo diurno; y con un menor porcentaje de ocurrencia se generan vientos del Este - Sureste (ESE, 120°) durante el periodo nocturno.

4.3.3 Temperatura

La Figura N°8 representa el ciclo diario de la temperatura del aire generado con la meteorología monitoreada por la estación AMB.

Figura N° 8
Ciclo Diario de la Temperatura (°C) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



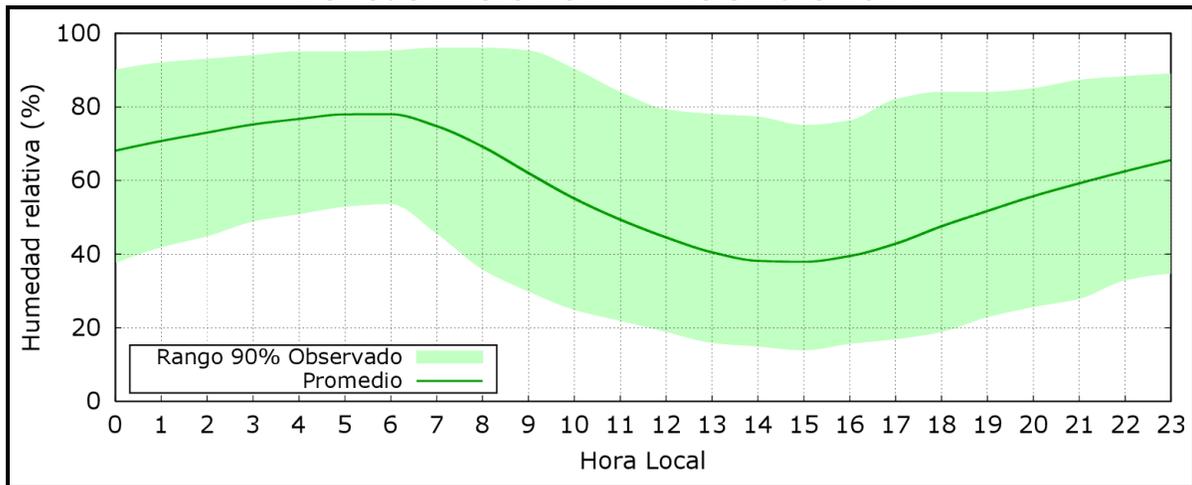
Fuente: Algoritmos, 2015.

De la Figura N°8, se observa que la temperatura máxima promedio diaria está en torno a los 23 °C y se produce a las 15:00 horas; en cuanto a la temperatura mínima ésta se produce a las 06:00 horas no superando los 10 °C.

4.3.4 Humedad Relativa

La Figura N°9 presentan el ciclo diario promedio de la humedad relativa extraída de la estación en estudio.

Figura N° 9
Ciclo Diario de la Humedad Relativa (%) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



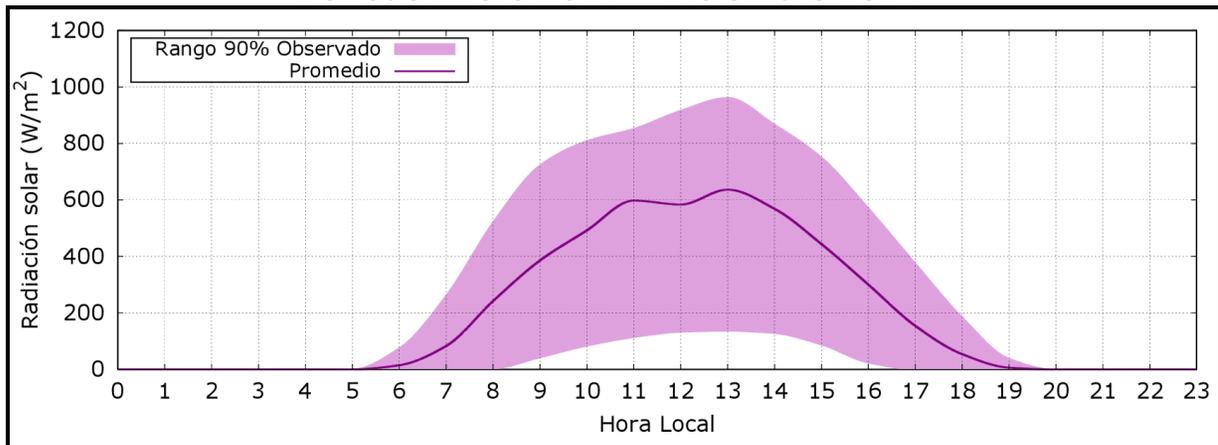
Fuente: Algoritmos, 2015.

En la Figura N°9, se observa que el máximo promedio diario de la humedad relativa es de un 80% produciéndose a las 06:00 horas. En cuanto al mínimo registrado ocurre durante las 14:00 y 16:00 horas con un 40%.

4.3.5 Radiación Solar

La Figura N°10 representa el ciclo diario de la radiación solar generado con la meteorología monitoreada por la estación AMB.

Figura N° 10
Ciclo Diario de la radiación Solar (W/m^2) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



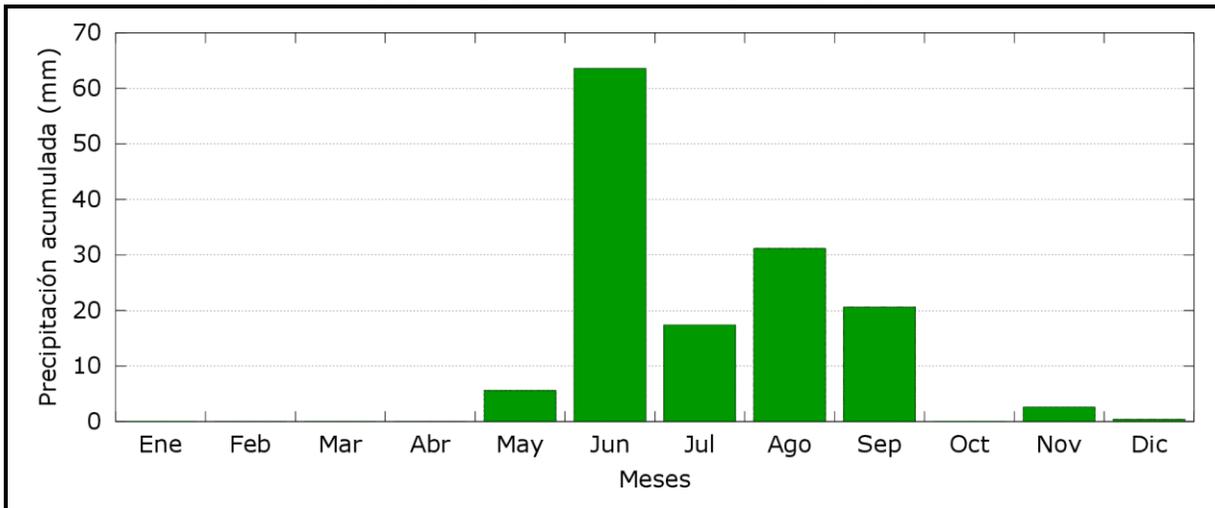
Fuente: Algoritmos, 2015.

Al observar la Figura N°10 la variabilidad de la radiación solar durante el ciclo diario, la cual está dada por las horas de máxima radiación durante el día (en torno al medio día) alcanzando un valor máximo promedio de $640 W/m^2$, mientras que en la noche los valores de radiación solar son nulos.

4.3.6 Precipitación

A continuación se presenta la precipitación mensual acumulada registrada en la estación meteorológica AMB.

Figura N° 11
Precipitación Mensual Acumulada (mm) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero 2014 – Diciembre 2014



Fuente: Algoritmos, 2015.

Tal como se observa en la Figura N°11, se presentan precipitaciones durante los meses de Mayo a Noviembre, siendo el mes de Junio el que presenta la máxima precipitación acumulada con 63,6 mm, seguido por el mes de Agosto con 31,2 mm.

4.3.7 Análisis de Parámetros Meteorológicos Monitoreados

Gracias a los análisis de los diversos parámetros meteorológicos registrados por la estación AMB, se puede desprender lo siguiente:

- Al analizar la temperatura, se evidencia un régimen térmico moderado a intenso con una gran amplitud térmica en la estación de monitoreo (ver el rango 90% observado). En cuanto a la humedad relativa, ésta presenta un alto porcentaje de humedad relativa máxima promedio alcanzado en la estación, el cual corresponde a un 80% durante las primeras horas de la mañana.
- Respecto de las condiciones de ventilación, la estación presenta mayoritariamente vientos provenientes del Sureste (SE) y Este – sureste (ESE) presente durante todo el ciclo diario. La intensidad de los vientos en

superficie, durante el perfil diario se manifiesta con vientos débiles en el periodo nocturno y con máximos relativos en torno a los 4,5 m/s durante el atardecer.

Por último, el agua lluvia caída acumulada anual para el periodo analizado corresponde a 141,4 mm, lo cual nos indica que el año 2014 fue un año seco.

5 Fuentes Emisoras Consideradas en la Modelación

Las fuentes emisoras consideradas en las modelaciones corresponden a las estimadas en el documento "Actualización Memoria de Cálculo Aeropuerto Arturo Merino Benítez, Año 2014" y que corresponden a las actividades del Aeropuerto AMB respecto a su operación, tránsito de vehículos por caminos y estacionamientos, además de fuentes externas.

La modelación atmosférica contempla dos escenarios que permitirán evaluar el aporte de material particulado y de gases en el Aeropuerto AMB y sus alrededores. De esta forma los escenarios a modelar se describen a continuación:

Escenario 1:

- Aeronaves
- Grupo de Soporte Terrestre (GSE)
- Unidad de Energía Auxiliar (APU)
- Estacionamientos
- Tránsito por Caminos de Acceso
- Fuentes Estacionarias (Grupos electrógenos y Calderas)

Escenario 2:

- Aeronaves
- Grupo de Soporte Terrestre (GSE)
- Unidad de Energía Auxiliar (APU)
- Estacionamientos
- Tránsito por Caminos de Acceso
- Fuentes Estacionarias (Grupos electrógenos y Calderas)
- Quemadas Agrícolas
- Erosión Eólica

La siguiente Tabla presenta las fuentes y las emisiones consideradas en los Escenarios anteriormente descritos; agrupados en fuentes dentro de losa (Aeronaves, GSE y APU), fuentes fuera losa (Estacionamientos, Tránsito por Caminos de Acceso y Fuentes Estacionarias) y fuentes externas al Aeropuerto AMB (Quemadas Agrícolas y Erosión Eólica).

Tabla N° 6
Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2014

Actividad Emisora	Tasas de Emisión (ton/año)								
	CO	THC	NMHC	VOC	TOG	NOx	SOx	MP ₁₀	MP _{2,5}
Aeronaves	94,715	18,952	21,887	21,769	21,897	331,837	21,346	2,079	2,079
Grupo de Soporte Terrestre	239,521	N/A	7,863	8,197	9,017	26,762	0,602	0,915	0,875
Unidad de Energía Auxiliar	4,563	0,366	0,423	0,421	0,423	13,733	1,437	1,044	1,044
Estacionamientos	2,012	0,000	0,306	0,309	0,320	0,059	0,006	0,012	0,007
Tránsito por Caminos de Acceso	41,172	0,000	1,390	1,424	1,521	1,234	0,117	0,504	0,243
Fuentes Estacionarias	3,184	N/A	1,559	1,625	1,949	15,824	8,478	0,875	0,829
Total Tasas de Emisión Fuentes Interior Aeropuerto AMB	385,167	19,318	33,428	33,745	35,127	389,449	31,986	5,429	5,077
Quemas Agrícolas	1,109	N/A	N/A	0,105	N/A	0,043	0,006	0,154	0,148
Erosión Eólica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,720	N/A
Total Tasas de Emisión Fuentes Exterior Aeropuerto AMB	1,109	N/A	N/A	0,105	N/A	0,043	0,006	2,874	0,148
Total Tasas de Emisión Aeropuerto AMB	386,276	19,318	33,428	33,850	35,127	389,492	31,992	8,303	5,225

Fuente: LIC 04-10 Memoria de Cálculo de Emisiones 2014 F1.

N/A: No Aplica

6 Descripción Modelos Utilizados en el Estudio

6.1 Modelo CALPUFF

6.1.1 Base Teórica

La aplicación de modelos de dispersión atmosférica permite determinar el aporte de las emisiones provenientes de fuentes emisoras, en localidades y sectores aledaños a las instalaciones de un determinado proyecto, permitiendo de este modo asignar las cuotas de responsabilidad en los niveles de calidad del aire medidos en su entorno.

Los modelos lagrangianos, se caracterizan por hacer uso de un sistema de referencia que se ajusta al movimiento atmosférico. Es decir, las emisiones, reacciones, deposición y mezclado de los contaminantes se analizan para un volumen de aire que va cambiando su posición de acuerdo con la velocidad y dirección del viento. Bajo este esquema general, los modelos lagrangianos se pueden clasificar como modelos de trayectoria y modelos gaussianos, de acuerdo con la geometría del sistema de modelación. Los modelos de trayectoria pueden simular los procesos para una columna hipotética de aire, en cambio cuando la simulación se hace para una pluma de emisión, continua o discreta (como paquetes comúnmente llamados "puffs"), se trata de modelos gaussianos.

Los modelos gaussianos describen el transporte y mezcla de los contaminantes asumiendo que las emisiones presentan, en las direcciones horizontal y vertical, una distribución normal o de curva gaussiana con una concentración máxima en el centro de la pluma. Generalmente estos modelos se aplican para evaluar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes puntuales, aunque también se aplican para simular emisiones de fuentes de área y de línea. Otra característica de este tipo de modelos es que normalmente son aplicados para evaluar la dispersión de contaminantes primarios no reactivos, aunque existen versiones que incluyen en su formulación consideraciones especiales para poder simular procesos de deposición y transformación química.

6.1.2 Sistema de Modelación WRF - CALPUFF

El modelo utilizado para determinar el efecto que tendrán las emisiones de material particulado y gases provenientes de la operación del Proyecto, corresponde al sistema de modelación "WRF-CALPUFF" desarrollado por Earth Tech.

En este modelo las emisiones se tratan como "puffs", se van desplazando a través de un campo meteorológico tridimensional.

El sistema de modelación CALPUFF incluye tres componentes principales: WRF, CALPUFF y CALPOST, además de una larga selección de preprocesadores diseñados para incluir en el modelos datos meteorológicos y geofísicos. Unos de los preprocesadores es el módulo WPS, que se encarga de generar los dominios de simulación del WRF, y es donde están los datos del terreno, uso de suelo y tipos de suelo. Además decodifica e interpola los archivos FNL (ver más abajo) a los dominios de simulación.

El WRF es un modelo de pronóstico meteorológico que simula campos de viento y temperatura en un dominio de modelación engrillado y tridimensional, WRF también produce campos en dos-dimensiones como altura de mezcla, características de superficie y propiedades de dispersión. Para la modelación se generaron tres dominios anidados de 25, 5 y 1 kilómetro, centrados en la ubicación del proyecto para un año calendario con resolución horaria.

CALPUFF modela el transporte y dispersión de contaminantes emitidos por las fuentes emisoras en forma de paquetes o "PUF" de material procesándolos a través del dominio de modelación. La salida primaria de este modelo contiene cada hora de concentración o flujo de deposición evaluados en receptores determinados.

Finalmente CALPOST procesa las salidas de CALPUFF creando los archivos con las tabulaciones necesarias para la evaluación de resultados.

6.1.3 Variables de Entrada al Sistema de Modelación

El sistema de modelación WRF-CALPUFF requiere de la siguiente data de entrada:

- Archivos FNL, datos de entrada para el modelo meteorológico WRF.
- Uso de Suelo², a partir de estos datos se definen los coeficientes de rugosidad superficial, razón de Bowen y albedo. En la Tabla N° 7 se presentan las características del suelo.
- Data de emisiones. Correspondiente a la obtenida del inventario de emisiones proveniente de las fuentes presentadas en el Capítulo 5 del presente documento.
- Ubicación de puntos de interés. Los puntos de interés corresponden a las estaciones de monitoreo de calidad del aire, es decir, Estación Aeropuerto AMB (EAMB01) y Estación Pudahuel (ver Tabla N° 8).

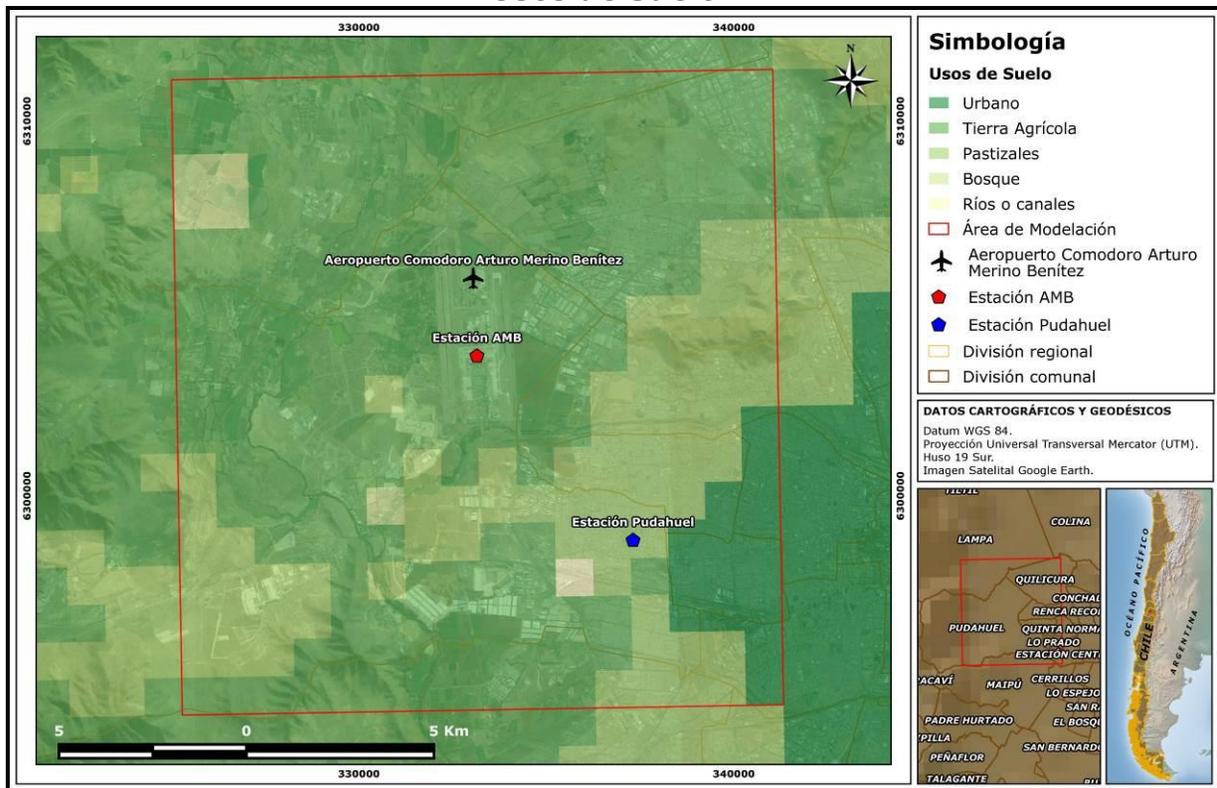
² Valores que provee el modelo WRF

Tabla N° 7
Características del Uso de Suelo

Uso de Suelo	Albedo ³		Razón de Bowen ⁴		Rugosidad Superficial	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Urbano	0,18	0,18	1,5	1,5	0,5	0,5
Tierra agrícola	0,18	0,23	1,0	1,0	0,15	0,05
Bosques	0,16	0,17	1,0	1,0	0,5	0,5
Pastizales	0,19	0,23	1,0	1,0	0,12	0,1
Ríos o Canales	0,8	0,8	0,0	0,0	0,01	0,01

Fuente: Algoritmos 2015.

Figura N° 12
Usos de Suelo.



Fuente: Algoritmos 2015

³ Albedo: reflectividad a la luz solar del suelo (expresada como fracción respecto a la unidad)

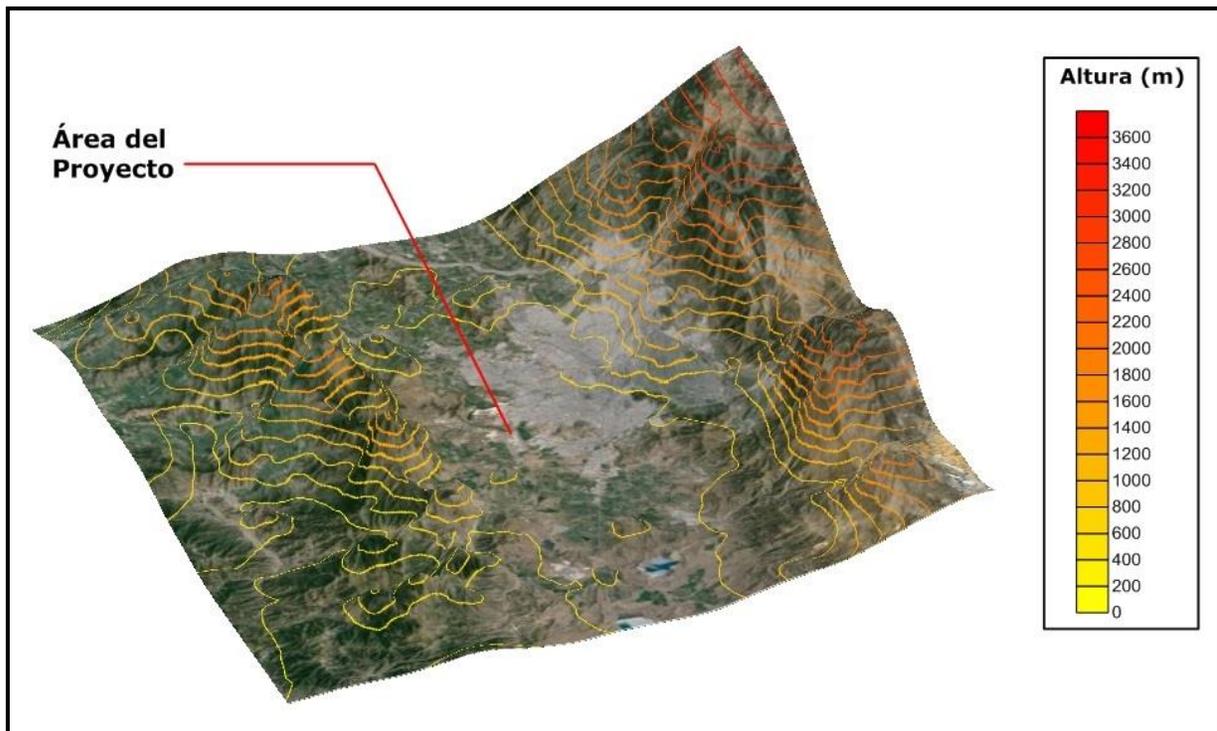
⁴ Razón de Bowen: definida como la razón entre flujos sensibles y latentes, a nivel de superficie.

Tabla N° 8
Localización Puntos Discretos o de interés⁵

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (m)		Elevación [m]
	Este	Norte	
EAMB01	333.148	6.303.728	457,7
Pudahuel	337.311	6.298.809	466,2

Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 13
Topografía del área de modelación



Fuente: Algoritmos, 2015.

⁵ Datum WGS84, coordenadas UTM.

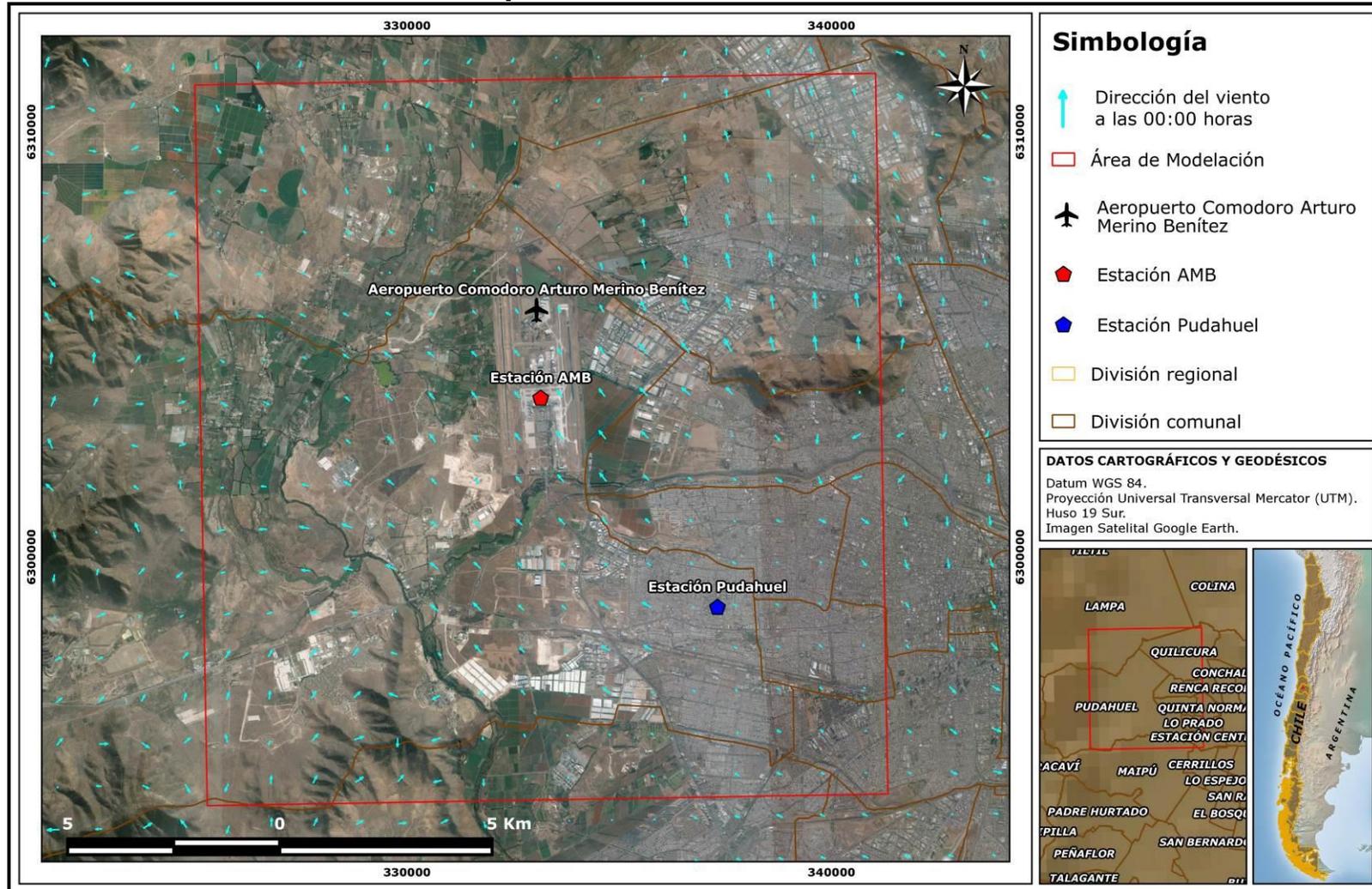
7 Resultados de la Modelación

7.1 Campos de Viento

Mediante la aplicación del modelo WRF fue posible simular el comportamiento de los campos de vientos sobre el área de influencia del Proyecto, para cada una de las horas consideradas en la modelación. Dichos campos de vientos permitirán determinar posteriormente la dispersión de los contaminantes, a través de la aplicación del modelo CALPUFF.

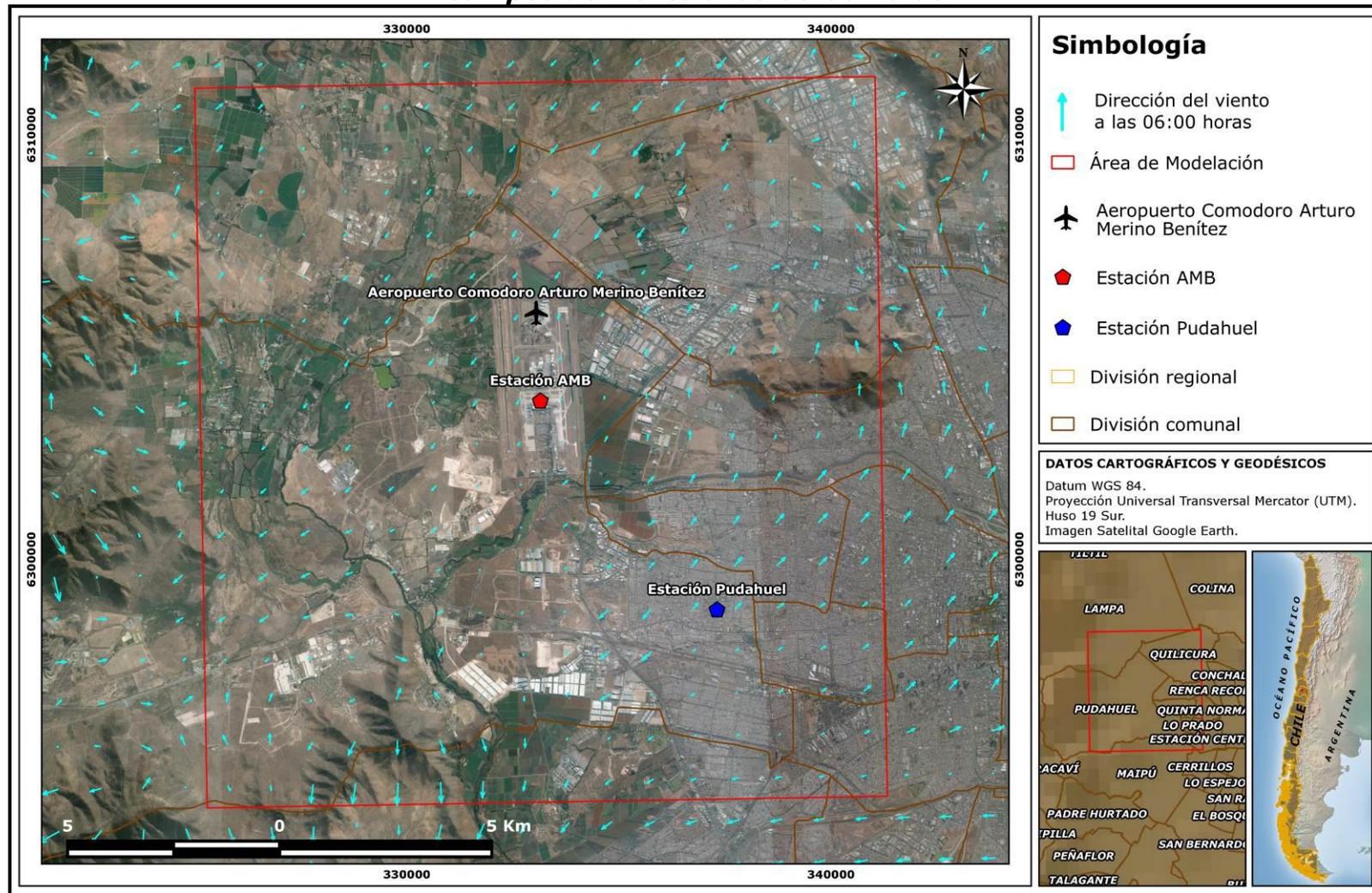
A modo de ejemplo, se seleccionó el día 16 de agosto de 2014 para representar el comportamiento de los vientos superficiales en horas representativas del día, en la madrugada (06:00 hrs.), a medio día (12:00 hrs.), durante la tarde (18:00 hrs.) y en la noche (00:00 hrs.), en las cuales es posible apreciar las variaciones espaciales de los campos de viento.

Figura N° 14
Campos de viento a las 00:00 horas



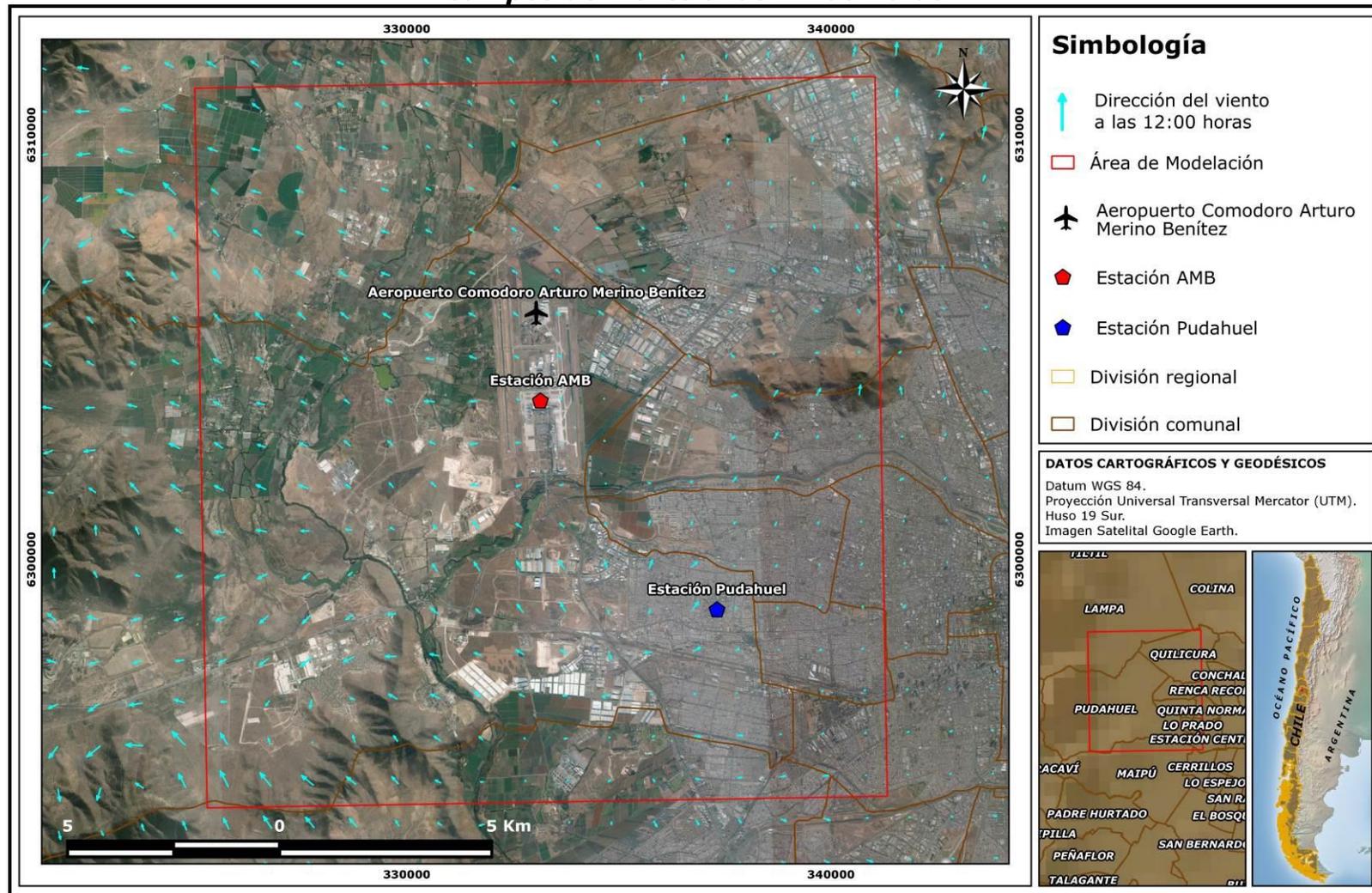
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 15
Campos de viento a las 06:00 horas



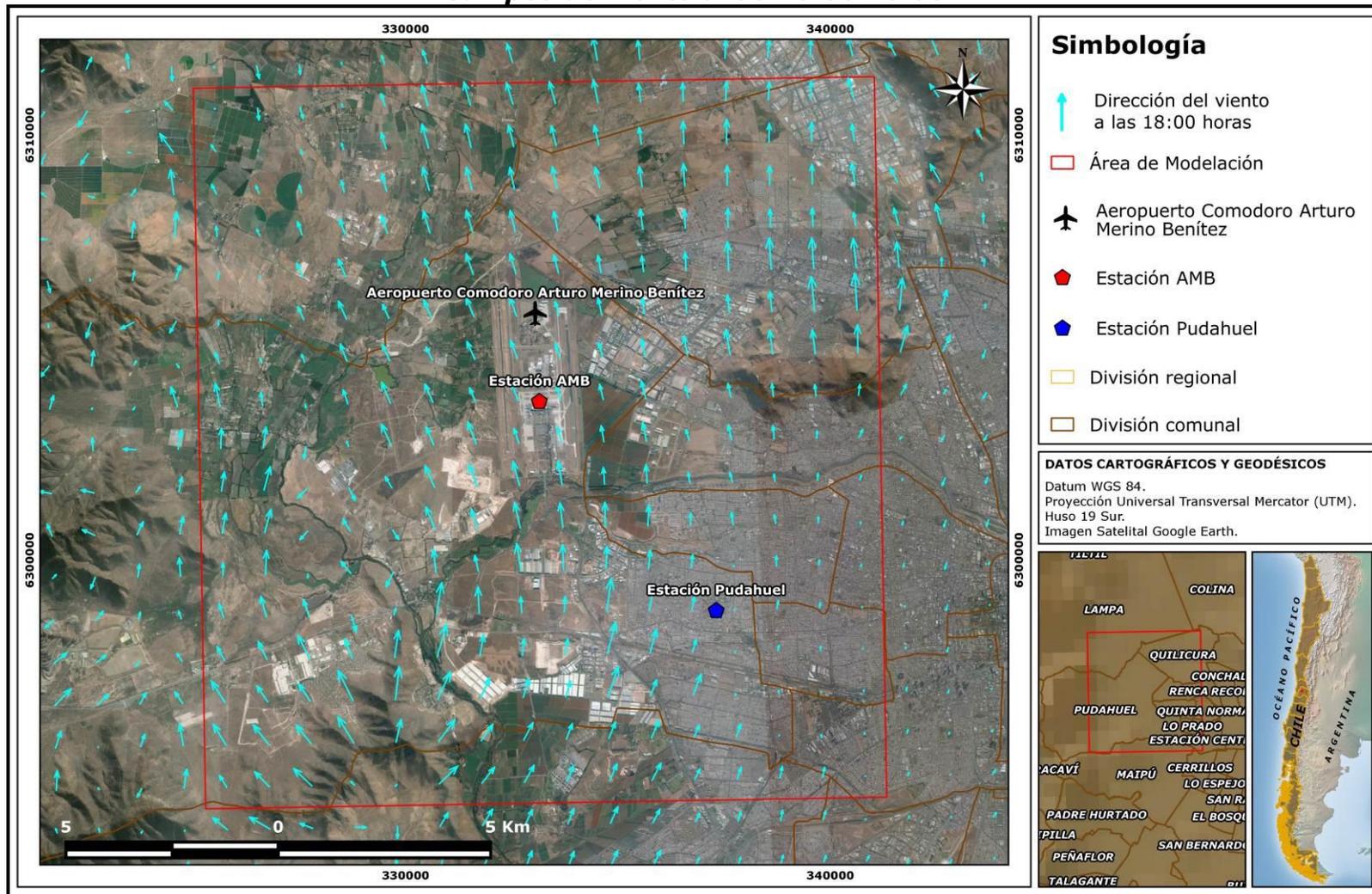
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 16
Campos de viento a las 12:00 horas



Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 17
Campos de viento a las 18:00 horas



Fuente: Algoritmos, 2015.

7.2 Aportes Obtenidos en la Modelación CALPUFF

Mediante la aplicación del modelo CALPUFF fue posible obtener las concentraciones de material particulado MP₁₀, MP_{2,5}, gases SO₂, NO₂, CO, THC, VOC, NMHC y TOG que aportará el Proyecto en su entorno, basándose en los campos de vientos generados por la modelación meteorológica realizada con WRF.

En las siguientes Tablas, se presentan las concentraciones resultantes de la modelación con CALPUFF en cada punto de interés.

Tabla N° 9
Aportes en Puntos de Interés ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Escenario	Parámetro	Estadístico	Estación de Monitoreo		Norma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
			EAMB01	Pudahuel	
Escenario 1	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	15,76	1,78	1.000
		Percentil 99,7 promedio diario	5,32	0,60	365
		Percentil 99 promedio diario	5,09	0,43	250
		Promedio Periodo	2,53	0,08	80
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	343,01	15,65	400
		Promedio Periodo	48,74	0,30	100
	CO	Percentil 99 máximo horario	415,85	27,46	30.000
		Percentil 99 máximos 8 horas	208,75	9,20	10.000
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	0,82	0,11	150
		Promedio Periodo	0,42	0,02	50
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	0,79	0,10	50	
	Promedio Periodo	0,41	0,02	20	
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	15,76	1,78	1.000
		Percentil 99,7 promedio diario	5,32	0,60	365
		Percentil 99 promedio diario	5,09	0,43	250
		Promedio Periodo	2,53	0,08	80
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	343,01	15,65	400
		Promedio Periodo	48,74	0,30	100
	CO	Percentil 99 máximo horario	416,13	27,51	30.000
		Percentil 99 máximos 8 horas	208,86	9,22	10.000
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	0,83	0,11	150
		Promedio Periodo	0,43	0,02	50
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	0,80	0,10	50	
	Promedio Periodo	0,41	0,02	20	

Fuente: Algoritmos, 2015.

De la Tabla anterior, se observa que tanto en el escenario 1 como en el escenario 2, ningún estadístico supera el valor límite establecido en la normativa de calidad del aire vigente en el país.

La siguiente Tabla, presenta el aporte de hidrocarburos en cada punto de interés. Cabe mencionar que los valores presentados son referenciales ya que para estos contaminantes no existe una normativa vigente en el país.

Tabla N° 10
Aportes Modelación CALPUFF, Valor Promedio Hidrocarburos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Escenario	Parámetro	Estación de Monitoreo	
		EAMB01	Pudahuel
Escenario 1	THC	1,67	0,06
	VOC	2,57	0,10
	NMHC	2,55	0,10
	TOG	2,68	0,10
Escenario 2	THC	1,67	0,06
	VOC	2,57	0,10
	NMHC	2,55	0,10
	TOG	2,68	0,10

Fuente: Algoritmos, 2015.

7.3 Comparación Situación Actual v/s Aportes Modelación

A continuación se presenta la comparación de los aportes de material particulado y gases, obtenidos en la modelación utilizando CALPUFF, respecto de los valores monitoreados en las estaciones EAMB01 y Pudahuel.

Por lo anterior, en las siguientes Tablas se presenta el “porcentaje situación actual”, el cual corresponde a la fracción porcentual que representan los aportes obtenidos en cada Escenario modelado respecto a la situación actual de calidad del aire de material particulado y gases, en las estaciones de monitoreo evaluadas.

Cabe mencionar, que los valores de situación actual utilizados para la estación Pudahuel, se deben considerar sólo de referencia, ya que estos corresponden a datos presentados y definidos como preliminares en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA).

Por otro lado, debido a que no existe monitoreo de SO_2 tanto en estación EAMB01 y Pudahuel durante el año 2014, se han utilizado de modo referencial los registros obtenidos de la estación Pudahuel del año 2008, para ambas estaciones,

obtenidos a través de la base de datos solicitada al Ministerio de Medio Ambiente el año 2013.

Tabla N° 11
Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés
Estación EAMB01 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Escenario	Parámetro	Estadístico	Situación Actual (AC)	Aporte AMB (AA)	% de la Situación Actual
Escenario1	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	15,76	35,03
		Percentil 99,7 promedio diario	25	5,32	21,27
		Percentil 99 promedio diario	27	5,09	18,86
		Promedio Periodo	10	2,53	25,25
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	103	343,01	333,02
		Promedio Periodo	26	48,74	187,48
	CO	Percentil 99 máximo horario	1.781	415,85	23,35
		Percentil 99 máximos 8 horas	1.056	208,75	19,77
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	102	0,82	0,80
		Promedio Periodo	61	0,42	0,69
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	40	0,79	1,98	
	Promedio Periodo	23	0,41	1,77	
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	15,76	35,03
		Percentil 99,7 promedio diario	25	5,32	21,27
		Percentil 99 promedio diario	27	5,09	18,86
		Promedio Periodo	10	2,53	25,25
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	103	343,01	333,02
		Promedio Periodo	26	48,74	187,46
	CO	Percentil 99 máximo horario	1.781	416,13	23,36
		Percentil 99 máximos 8 horas	1.056	208,86	19,78
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	102	0,83	0,81
		Promedio Periodo	61	0,43	0,70
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	40	0,80	2,00	
	Promedio Periodo	23	0,41	1,79	

Fuente: Algoritmos, 2015.

De la Tabla anterior, se observa que tanto para el escenario 1 como para el escenario 2, el percentil 99 máximo horario y el promedio del periodo de NO₂, superan a las concentraciones monitoreadas en estación EAMB01, en 333% y 187%, respectivamente para ambos escenarios, demostrando que existen fuentes emisoras no captadas por el monitoreo de esta Estación.

Tabla N° 12
Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés
Estación Pudahuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

Escenario	Parámetro	Estadístico	Situación Actual (AC)	Aporte Pudahuel (AA)	% de la Situación Actual
Escenario 1	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	1,78	3,96
		Percentil 99,7 promedio diario	25	0,60	2,39
		Percentil 99 promedio diario	27	0,43	1,61
		Promedio Periodo	10	0,08	0,79
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	182	15,65	8,60
		Promedio Periodo	36	0,30	0,83
	CO	Percentil 99 máximo horario	11.965	27,46	0,2
		Percentil 99 máximos 8 horas	8.761	9,20	0,1
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	156	0,11	0,07
		Promedio Periodo	64	0,02	0,03
	MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	80	0,10	0,12
		Promedio Periodo	27	0,02	0,07
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	1,78	3,96
		Percentil 99,7 promedio diario	25	0,60	2,39
		Percentil 99 promedio diario	27	0,43	1,61
		Promedio Periodo	10	0,08	0,79
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	182	15,65	8,60
		Promedio Periodo	36	0,30	0,83
	CO	Percentil 99 máximo horario	11.965	27,51	0,2
		Percentil 99 máximos 8 horas	8.761	9,22	0,1
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	156	0,11	0,07
		Promedio Periodo	64	0,02	0,03
	MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	80	0,10	0,12
		Promedio Periodo	27	0,02	0,07

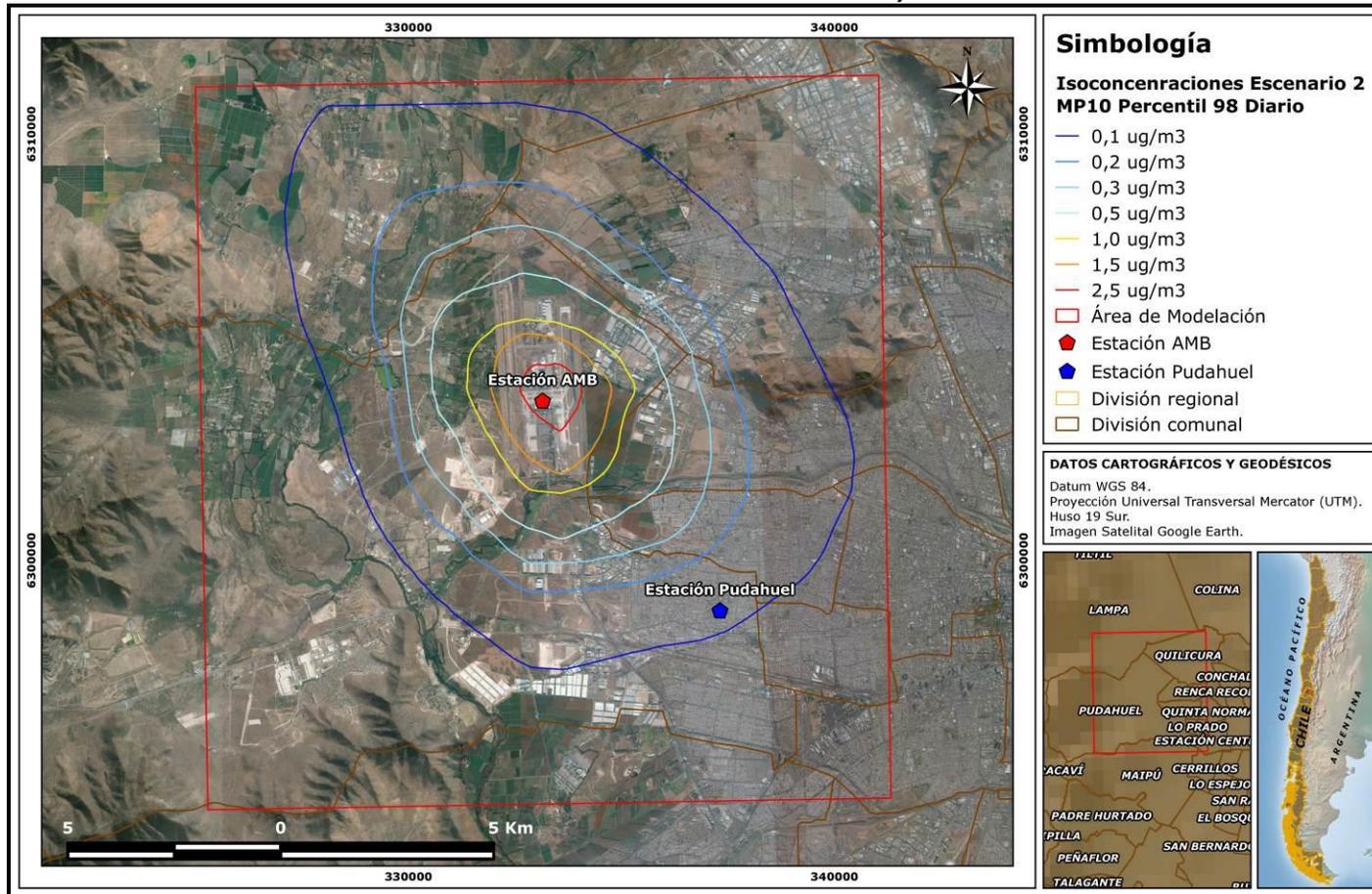
Fuente: Algoritmos, 2015.

De la Tabla anterior, se aprecia que el mayor porcentaje de aporte a la situación actual se presenta en el percentil 99, de los valores máximos horarios de NO₂ con un 8,6% en el Escenario 1 y 2. Por lo tanto los aportes de Aeropuerto AMB en la Estación Pudahuel se encuentran bajo las normativas vigentes para cada contaminante.

7.4 Mapas de Isoconcentraciones

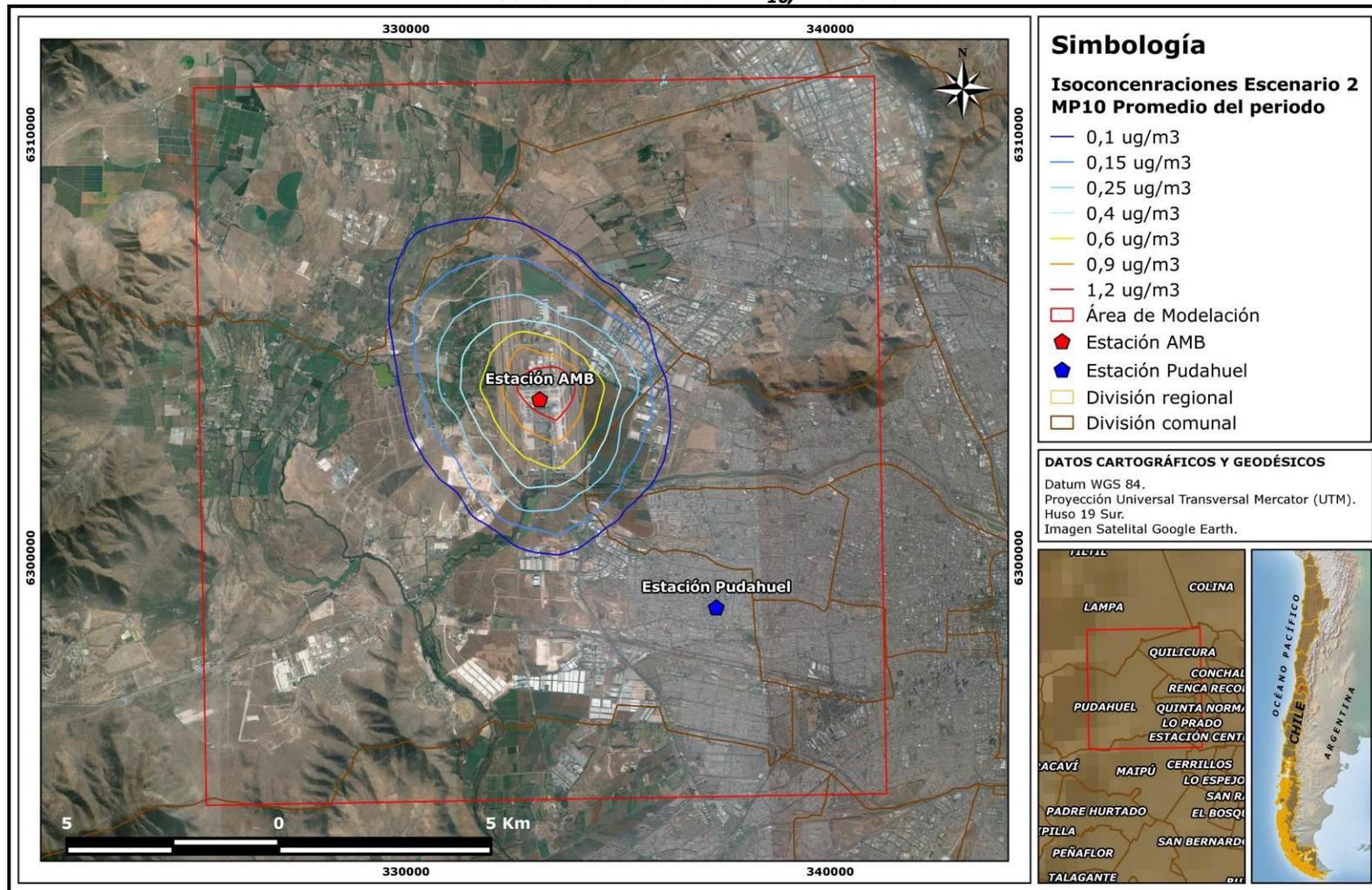
A continuación se presentan las isolíneas de concentración de MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 , CO y SO_2 en el entorno del Proyecto, para el Escenario 2 que incluye tanto las fuentes internas como externas del aeropuerto AMB.

Figura N° 18
Percentil 98 Promedio Diario de MP_{10} , Escenario 2



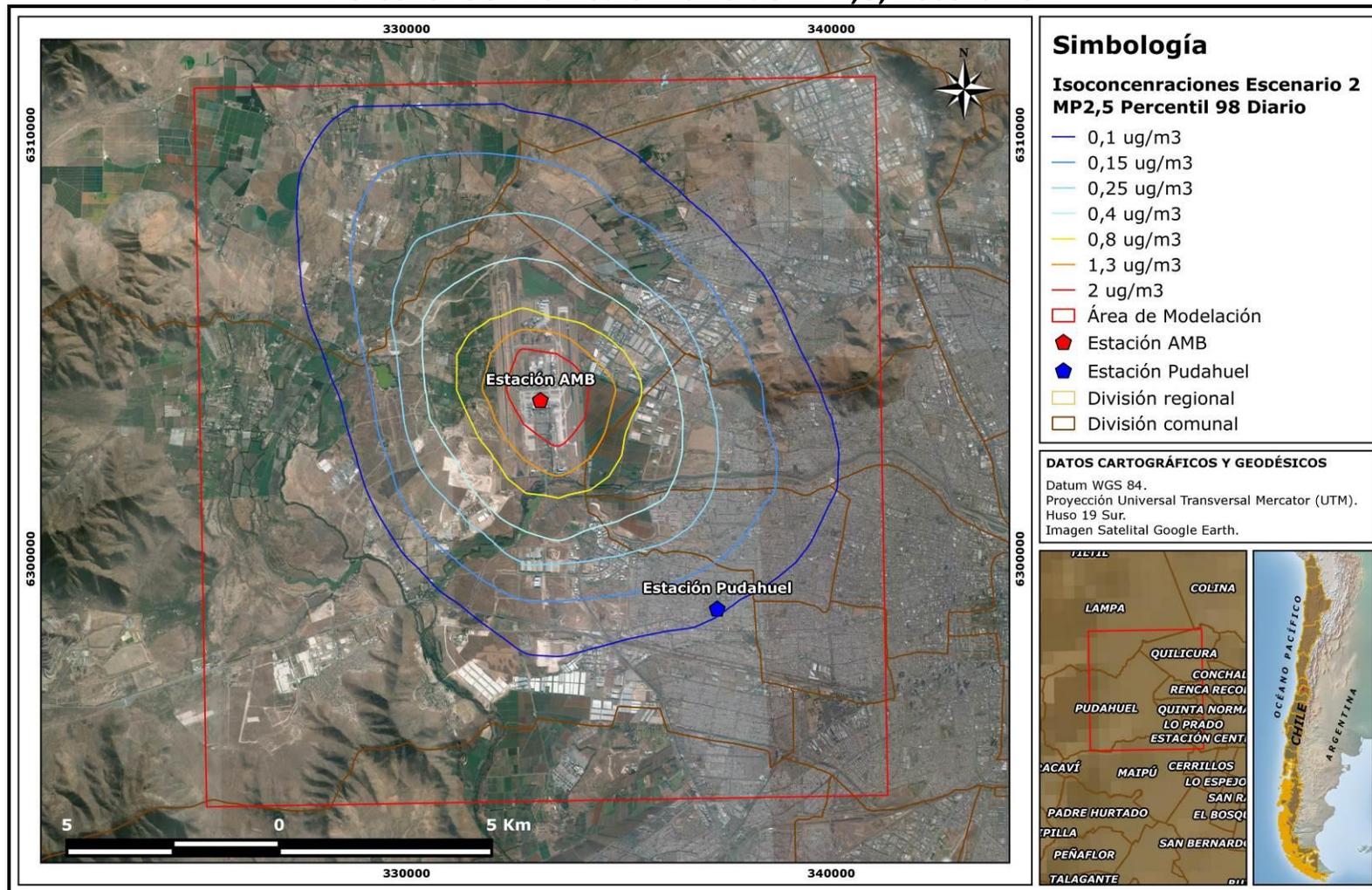
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 19
Promedio Periodo de MP₁₀, Escenario 2



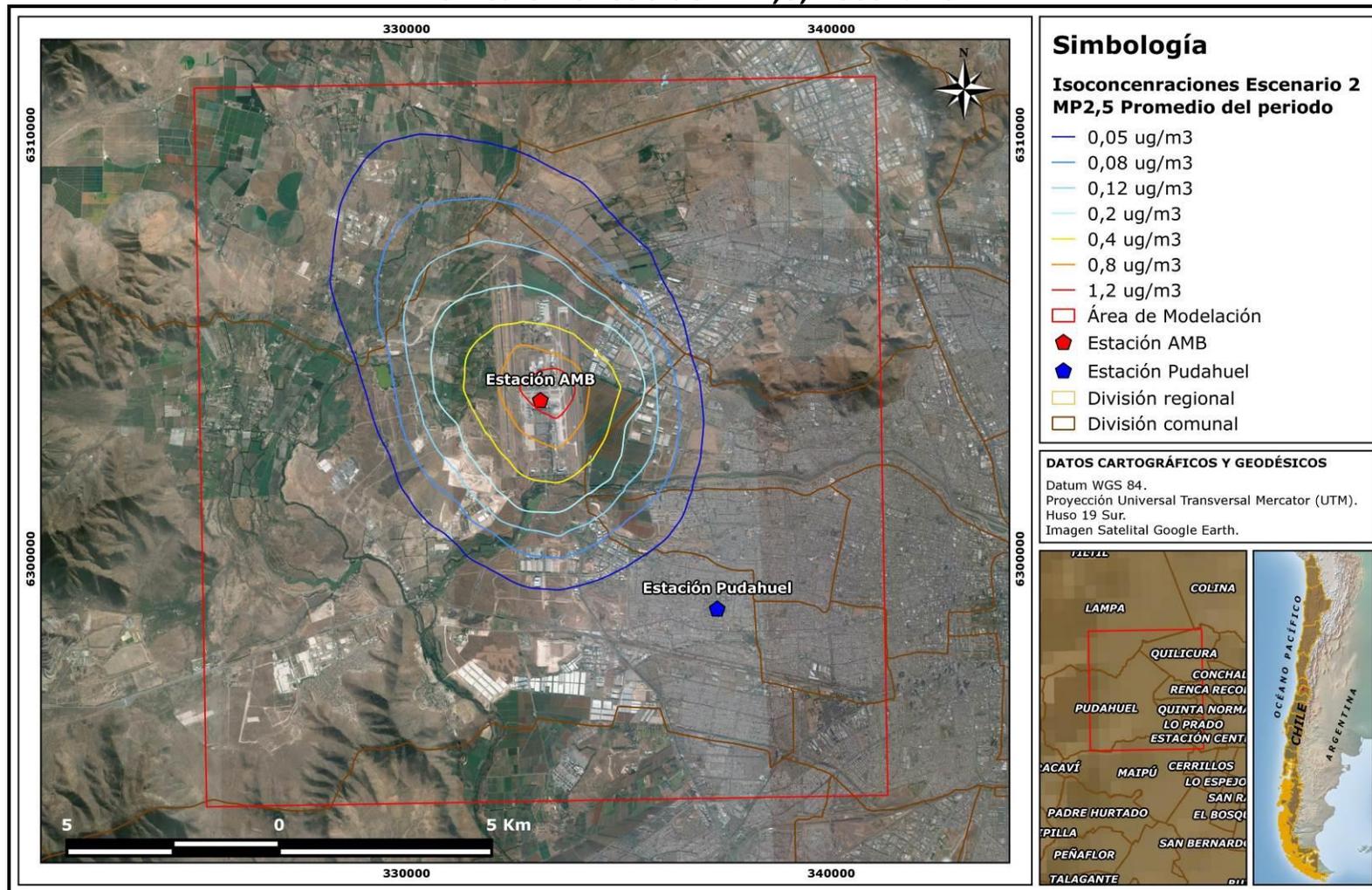
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 20
Percentil 98 Promedio Diario de MP2,5, Escenario 2



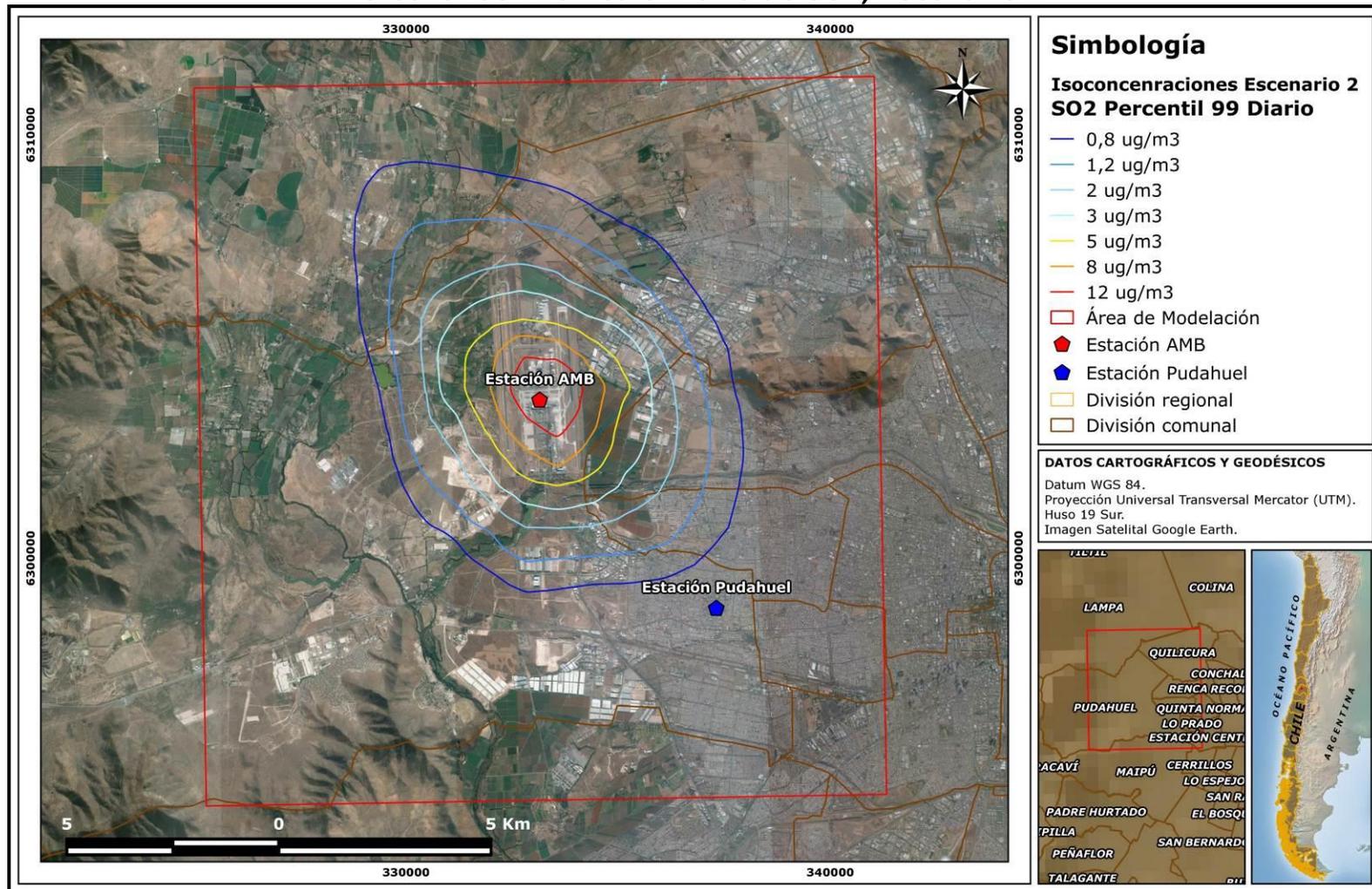
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 21
Promedio Periodo de MP2,5, Escenario 2



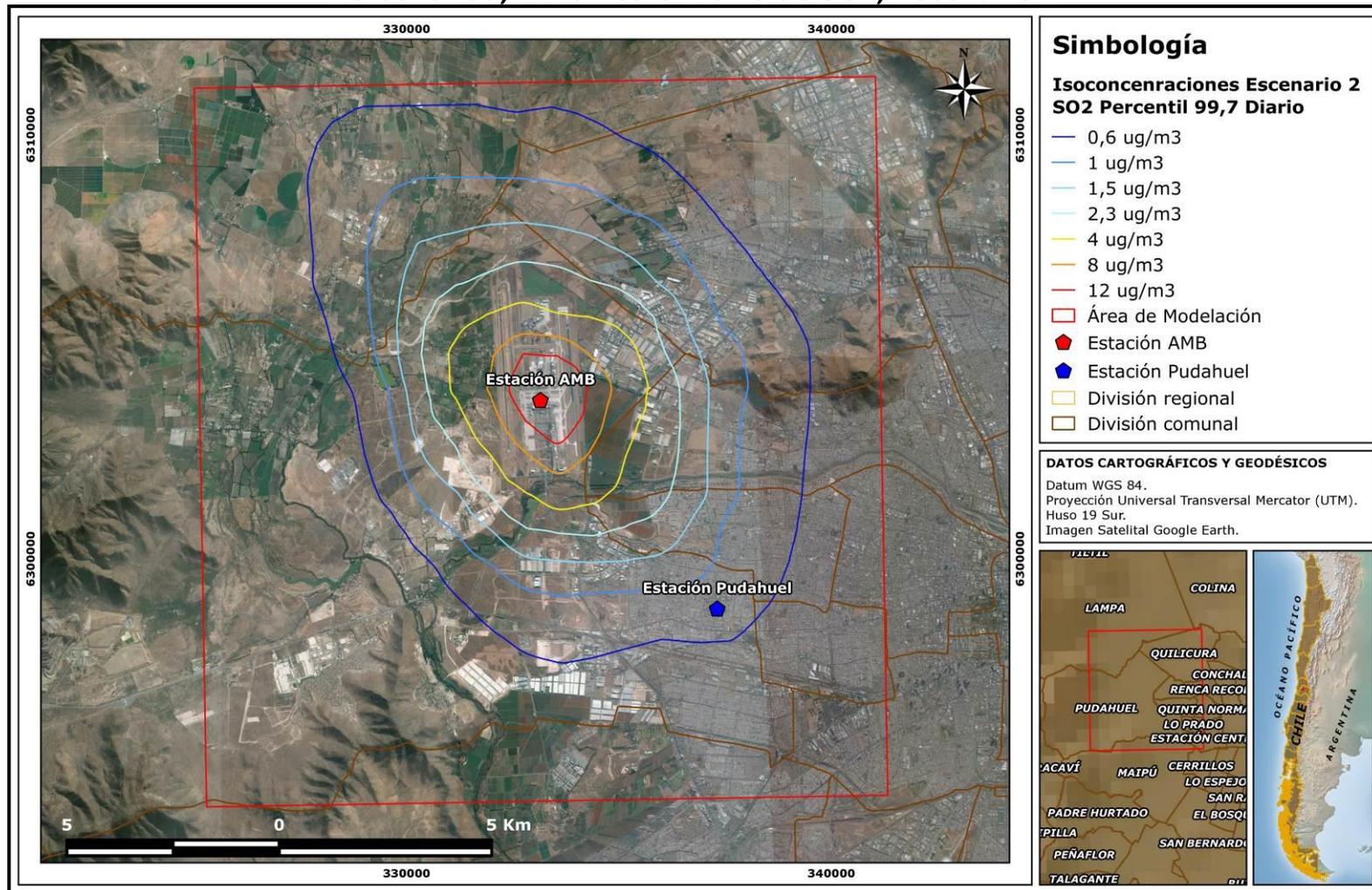
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 22
Percentil 99 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



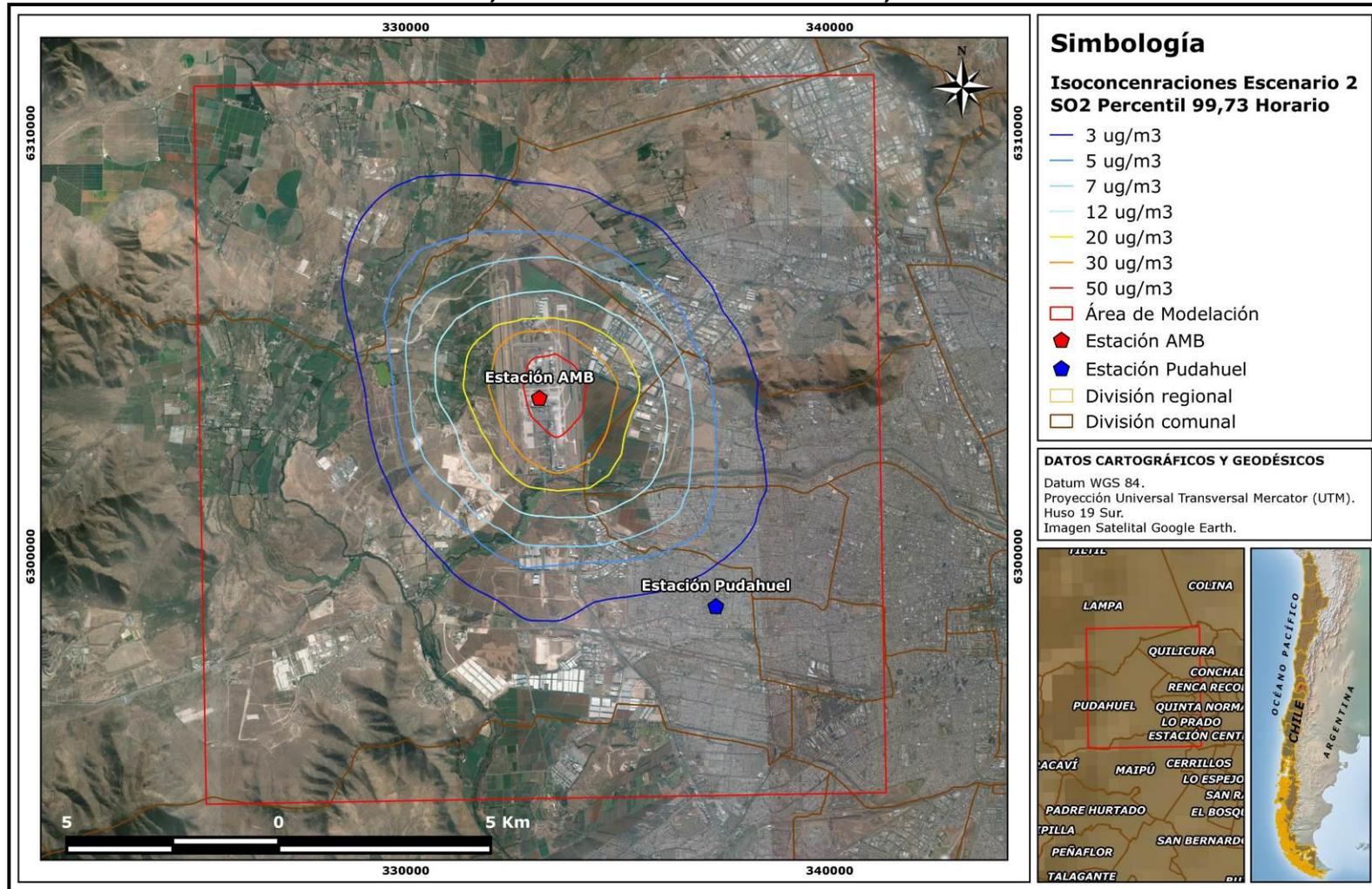
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 23
Percentil 99,7 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



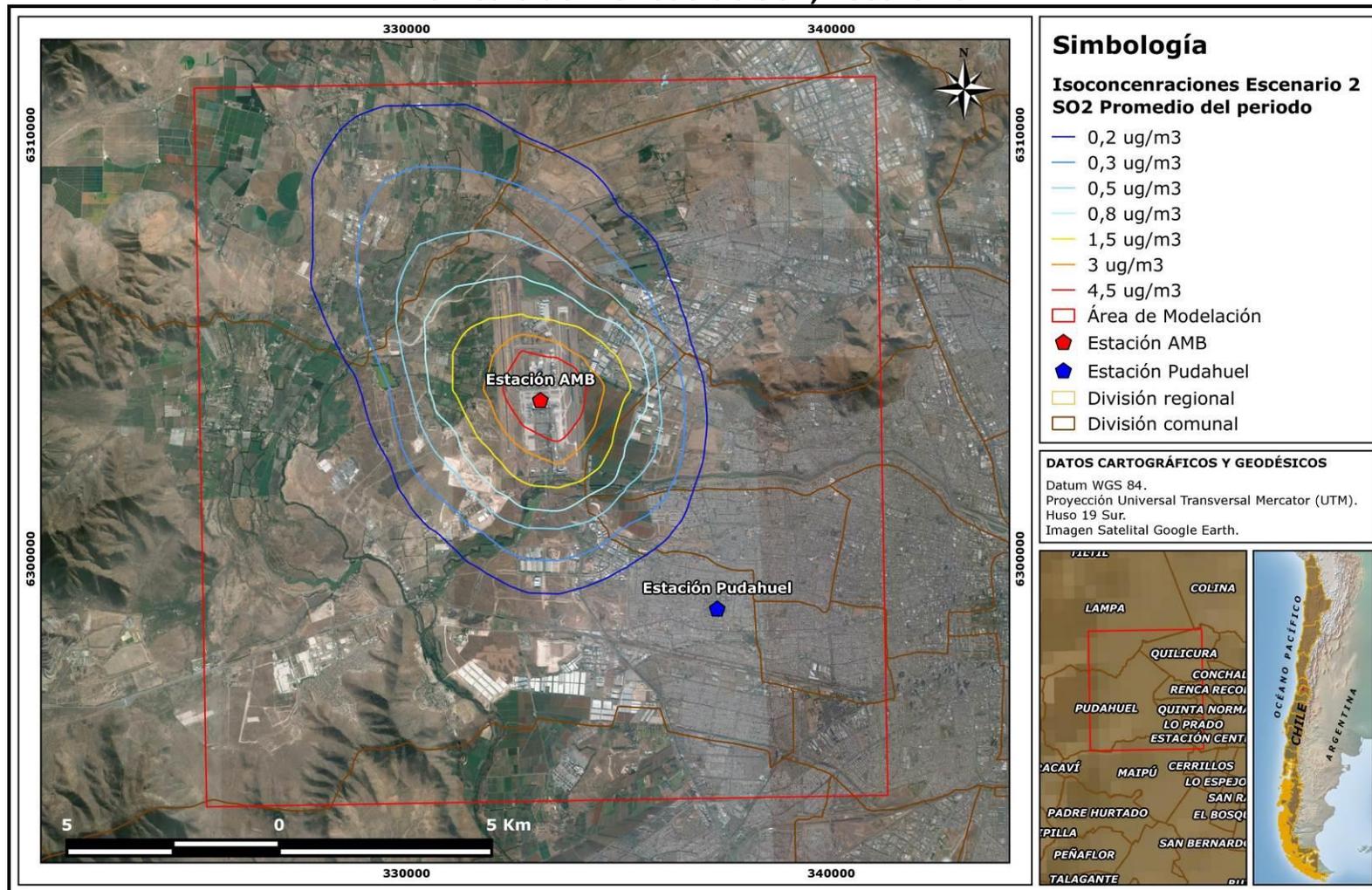
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 24
Percentil 99,73 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



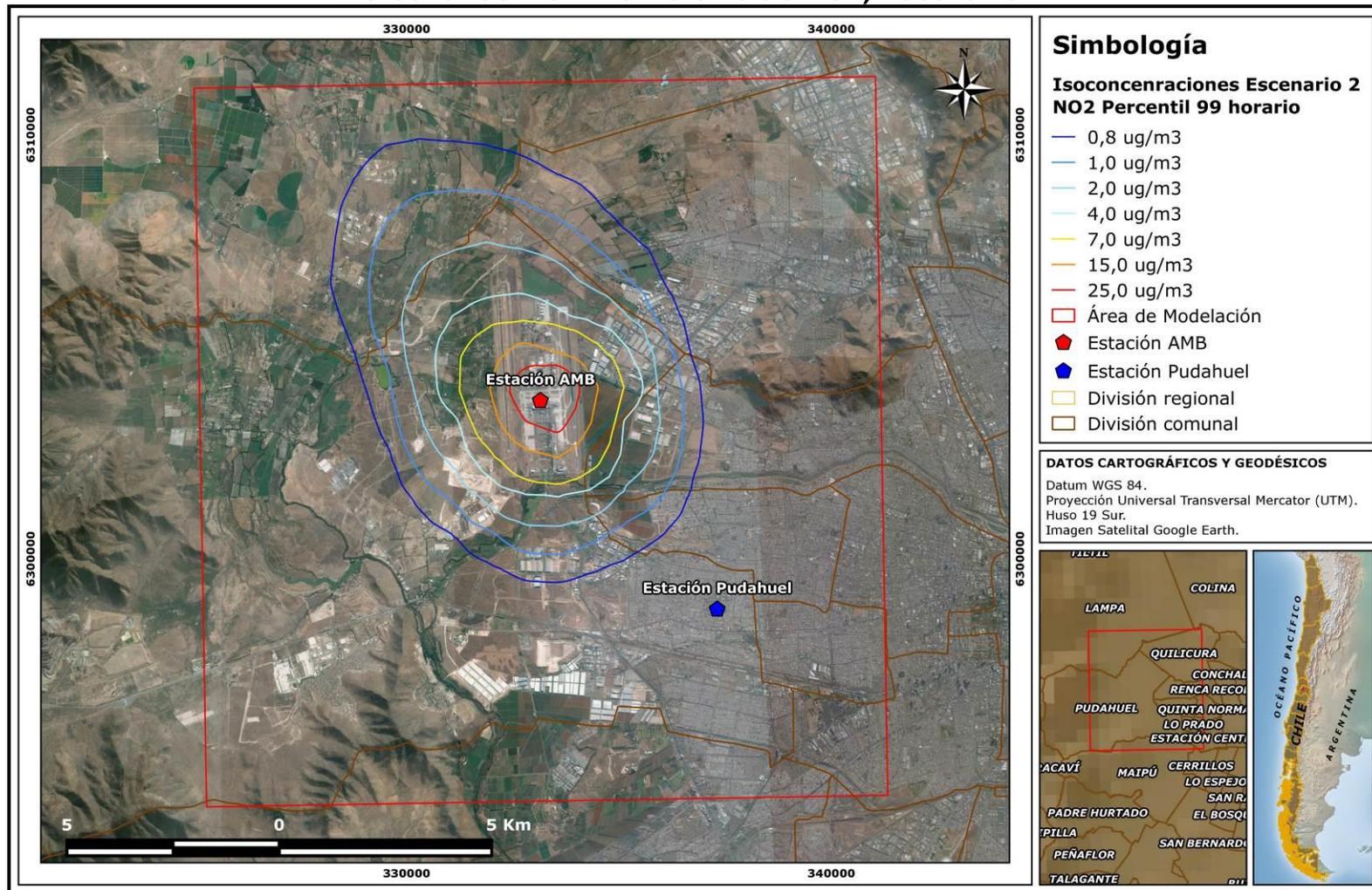
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 25
Promedio del Periodo de SO₂, Escenario 2



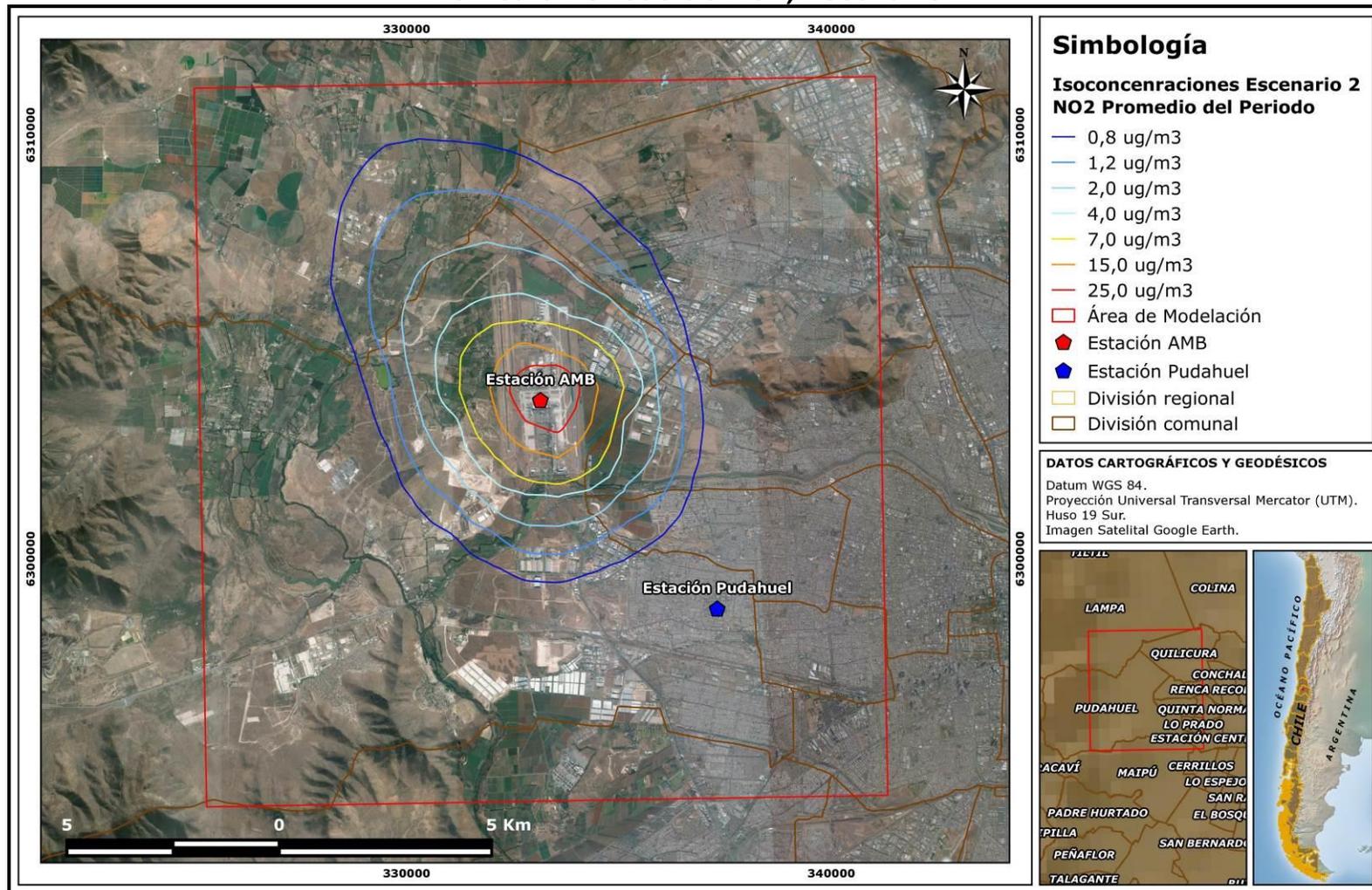
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 26
Percentil 99 Máximo Horario de NO₂, Escenario 2



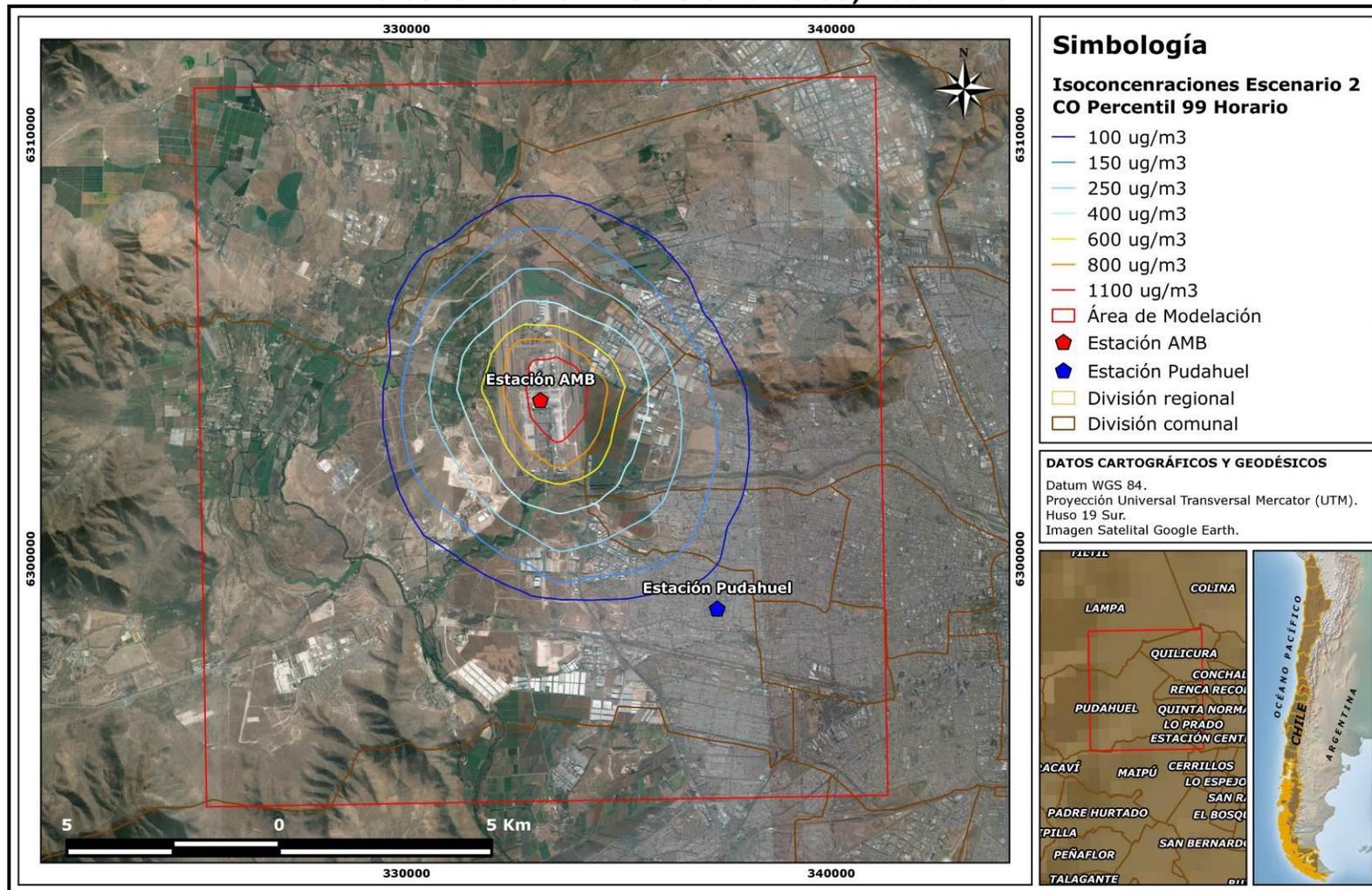
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 27
Promedio Periodo de NO₂, Escenario 2



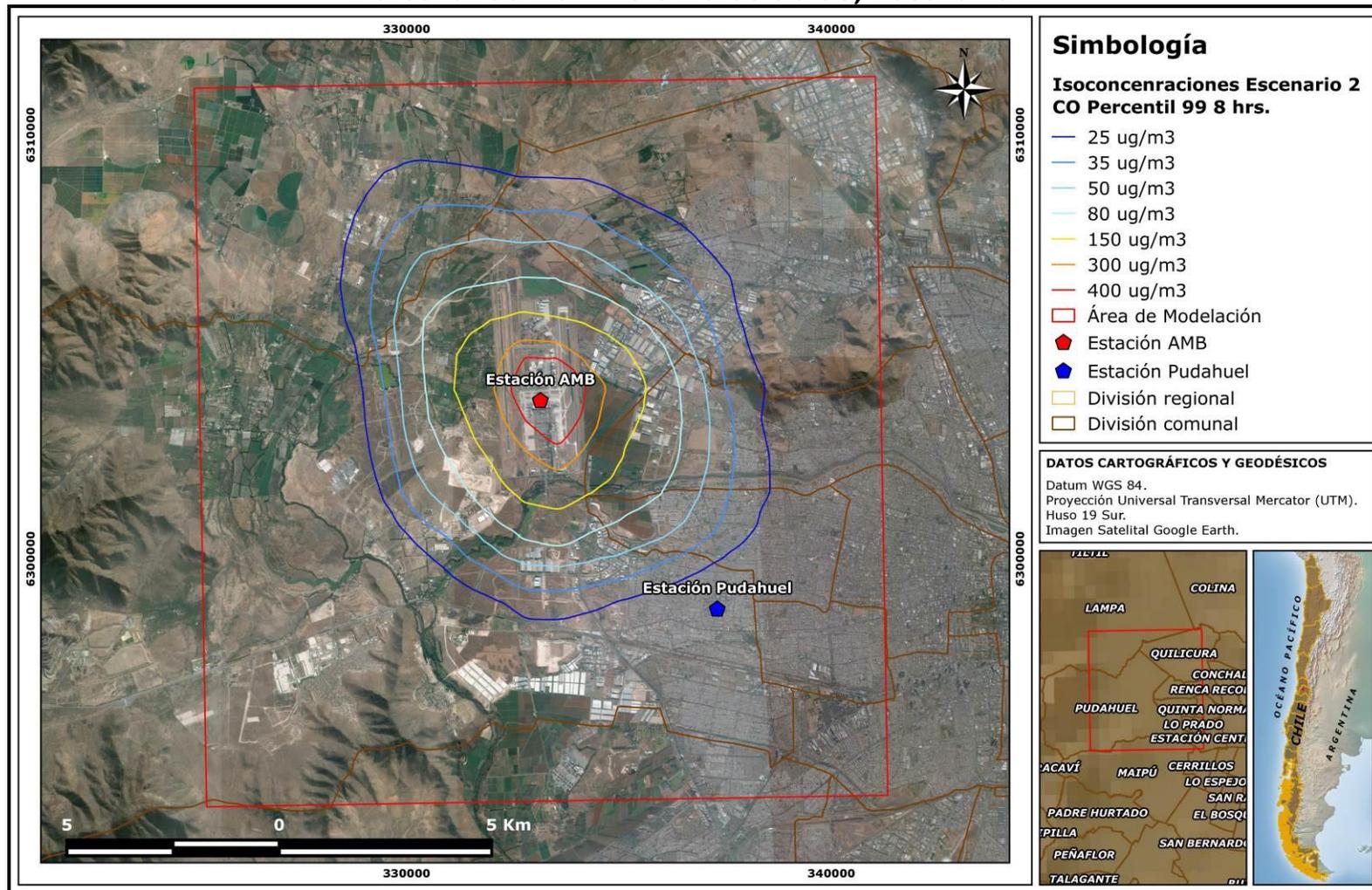
Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 28
Percentil 99 Máximo Horario de CO, Escenario 2



Fuente: Algoritmos, 2015.

Figura N° 29
Percentil 99 Máximo 8 Horas de CO, Escenario 2



Fuente: Algoritmos, 2015.

8 Conclusiones

Según lo expuesto en las secciones anteriores, las actividades desarrolladas en el Aeropuerto AMB no generan un aporte significativo sobre la calidad del aire de sus comunas aledañas puesto que:

Modelación

Estación EAMB01

- El mayor aporte de SO_2 se presenta en su percentil 99,73 de los máximos horarios, respecto a la situación actual (línea base), tanto para el escenario 1 como escenario 2 lo que representa en ambos al 35% de la situación actual.
- El NO_2 presenta un mayor aporte respecto a la situación actual (línea de base), tanto para el promedio del periodo como el percentil 99 máximo horario, en ambos escenarios y los cuales se encuentran bajo la norma vigente para este contaminante.
- El CO presenta un menor aporte respecto de la situación actual, alcanzando como máximo horario, un 23,4% en ambos escenarios.
- En el caso del material particulado respirable MP_{10} , el mayor aporte respecto a lo monitoreado se presenta en el Percentil 98 con un 0,81% en el escenario 2.
- Respecto del material particulado $\text{MP}_{2,5}$ el mayor aporte respecto a lo monitoreado lo presenta el Promedio diario 1,8% en el escenario 2.

Estación Pudahuel

- En la estación Pudahuel el mayor aporte para el SO_2 se presenta en su percentil 99,73 de los máximos horarios, respecto a la situación actual (línea base), tanto para el escenario 1 como escenario 2 alcanzando en ambos casos un 3,96%, de esta forma se evidencia un bajo aporte por parte de AMB en los sectores urbanos más cercanos.
- El NO_2 presenta un menor aporte en el percentil 99 máximos horarios respecto a lo monitoreado, con un 8,6% en ambos escenarios.
- Los aportes de CO, MP_{10} y $\text{MP}_{2,5}$ respecto de la situación actual (línea de base) en la estación Pudahuel, son poco significativos, los cuales no sobrepasan el 1% .

Finalmente, se puede concluir que los aportes generados por el Aeropuerto AMB son poco significativos en la Estación definida como Representativa Poblacional, que corresponde a la Estación Pudahuel. El monóxido de carbono, el material particulado respirable MP_{10} y material particulado respirable fino $MP_{2,5}$, no sobrepasan el 1% como aporte de la línea base o situación actual. De esta forma gran parte de las concentraciones monitoreadas en la Estación provienen de fuentes externas que no corresponden necesariamente a las generadas por la operación de Aeropuerto AMB.

Con respecto a los gases modelados, para el NO_2 de la Estación EAMB01 los resultados del aporte se encuentran sobre lo monitoreado en este punto, mientras que en la Estación Pudahuel el aporte de este contaminante es bajo comparado con el aporte de otras fuentes, principalmente las de tránsito vehicular y emisiones provenientes de industrias.