

INFORME DE RESULTADOS

LIC 04/10

**MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES
ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DEL
AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2013**

Preparado por:

Algoritmos →



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

Para:



Noviembre, 2014

INFORME DE RESULTADOS

LIC 04/10

MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DEL AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2013

Preparado Para:



Versión del Documento				A-2	
Responsable Elaboración		Responsable Revisión		Responsable Aprobación	
Nombre:	Álvaro Valenzuela S.	Nombre:	Juan Carlos Yáñez C.	Nombre:	Hugo Luarte G.
Cargo:	Ingeniero de Proyecto Modelación Ambiental	Cargo:	Jefe de Área Modelación Ambiental	Cargo:	DGAC
Fecha:	06-11-2014	Fecha:	06-11-2014	Fecha:	06-11-2014
Firma:		Firma:		Firma:	

Noviembre, 2014

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.....	19
6	Descripción Modelos Utilizados en el Estudio	21
6.1	Modelo CALMET - CALPUFF.....	21
6.1.1	Base Teórica	21
6.1.2	Descripción del Modelo	21
6.1.3	Variables de Entrada al Sistema de Modelación CALMET - CALPUFF	22
7	Resultados de la Modelación.....	24
7.1	Campos de Viento.....	24
7.2	Aportes Obtenidos en la Modelación CALPUFF.....	29
7.3	Comparación Situación Actual v/s Aportes Modelación	30
7.4	Mapas de Isoconcentraciones	33
8	Conclusiones.....	45
	Modelación	45
	Estación EAMB01	45
	Estación Pudahuel.....	45

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 2013	20
Tabla Nº 7	Localización Puntos Discretos	23
Tabla Nº 8	Aportes en Puntos de Interés ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	29
Tabla Nº 9	Aportes Modelación CALPUFF, Valor Promedio Hidrocarburos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	30
Tabla Nº 10	Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés Estación EAMB01 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).....	31
Tabla Nº 11	Situación Actual (Línea Base) v/s Aportes en Puntos de Interés Estación Pudahuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1 Área de Modelación Aeropuerto AMB	2
Figura Nº 2 Ubicación de Estaciones de Monitoreo Calidad del Aire	7
Figura Nº 3 Rosa de Viento Ciclo Completo Estación Aeropuerto A.M.B.	9
Figura Nº 4 Rosas de Viento según periodo del día – Estación Aeropuerto A.M.B.....	10
Figura Nº 5 Ciclo Estacional del Viento Estación Aeropuerto A.M.B.	12
Figura Nº 6 Ciclo Diario Velocidad del Viento (m/s) - Estación Aeropuerto A.M.B.	13
Figura Nº 7 Ciclo Diario Dirección del Viento (°) – Estación Aeropuerto A.M.B.	14
Figura Nº 8 Ciclo Diario de la Temperatura (°C) – Estación Aeropuerto A.M.B.	15
Figura Nº 9 Ciclo Diario de la Humedad Relativa (%) – Estación Aeropuerto A.M.B.	16
Figura Nº 10 Ciclo Diario de la radiación Solar (W/m ²) – Estación Aeropuerto A.M.B.	17
Figura Nº 11 Precipitación Mensual Acumulada (mm) – Estación Aeropuerto A.M.B.....	18
Figura Nº 12 Topografía del área de modelación	23
Figura Nº 13 Campos de viento a las 00:00 horas.....	25
Figura Nº 14 Campos de viento a las 06:00 horas.....	26
Figura Nº 15 Campos de viento a las 12:00 horas.....	27
Figura Nº 16 Campos de viento a las 18:00 horas.....	28
Figura Nº 17 Percentil 98 Promedio Diario de MP ₁₀ , Escenario 2.....	33
Figura Nº 18 Promedio Periodo de MP ₁₀ , Escenario 2	34
Figura Nº 19 Percentil 98 Promedio Diario de MP _{2,5} , Escenario 2	35
Figura Nº 20 Promedio Periodo de MP _{2,5} , Escenario 2	36
Figura Nº 21 Percentil 99 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2.....	37
Figura Nº 22 Percentil 99,7 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2	38
Figura Nº 23 Percentil 99,73 Promedio Diario de SO ₂ , Escenario 2	39
Figura Nº 24 Promedio del Periodo de SO ₂ , Escenario 2	40
Figura Nº 25 Percentil 99 Máximo Horario de NO ₂ , Escenario 2.....	41
Figura Nº 26 Promedio Periodo de NO ₂ , Escenario 2.....	42
Figura Nº 27 Percentil 99 Máximo Horario de CO, Escenario 2	43
Figura Nº 28 Percentil 99 Máximo 8 Horas de CO, Escenario 2.....	44

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 12 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	6.308.584	341.402
Noroeste	6.308.584	326.402
Suroeste	6.296.584	326.402
Sureste	6.296.584	341.402

Fuente: Algoritmos, 2014.

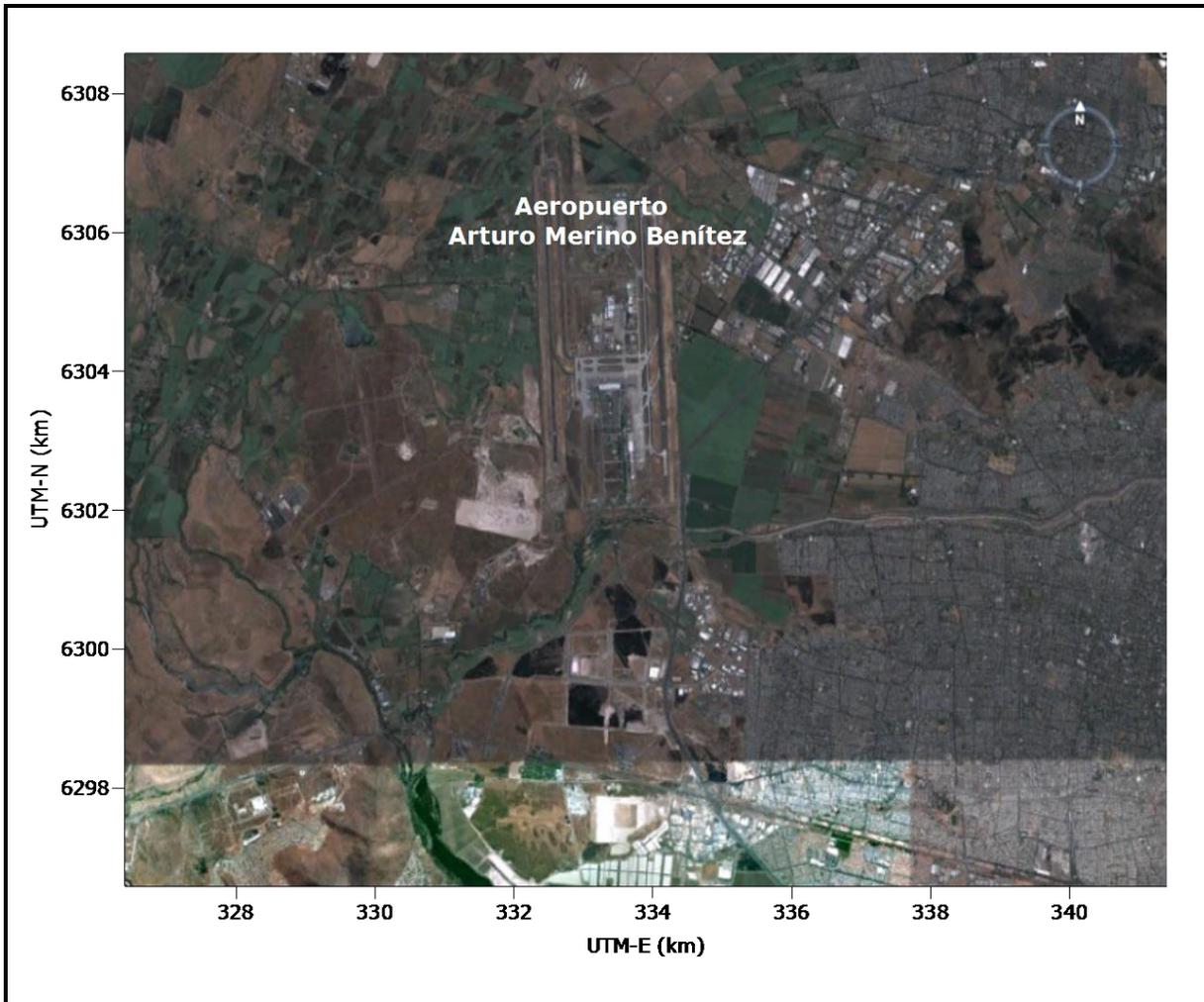
La simulación de los contaminantes asociados a las actividades tanto internas como externas del Aeropuerto AMB, fueron modeladas mediante la aplicación del sistema de modelación atmosférica "CALMET – CALPUFF", definido por la agencia EPA como sistemas de referencia para simular la dispersión de emisiones provenientes de complejos industriales ubicados en terrenos complejos.

La meteorología utilizada en la modelación correspondió a la medida en la Estación Meteorológica perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2013.

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, 2014.

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 $MP_{2,5}$ y de gases CO y NO_2 realizadas durante el año 2013 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 2013 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° 11.386 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.

Por otra parte para los estadísticos de CO y NO_2 indicados para la Estación Pudahuel, se consideró la base de datos horaria de los años 2011, 2012 y 2013, solicitada al Ministerio de Medio Ambiente mediante la Solicitud Pública N° 11.386 a la Oficina de Transparencia y Participación ciudadana.

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	126	218	400
	Promedio Periodo	29	33	100
CO	Percentil 99 valores máximos horarios	2.519	11.451	30.000
	Percentil 99 valores máximos 8 horas	1.346	8.016	10.000
MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	104	142	150
	Promedio periodo	57	62	50
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	64	63	50
	Promedio Periodo	21	24	20

Fuente: Algoritmos, 2014.

Cabe mencionar que los estadísticos presentados en la Tabla anterior correspondientes al CO, NO₂ y SO₂, fueron calculados como lo indica la Norma de Calidad Primaria vigente la que considera tres años consecutivos de monitoreo.

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	32%	55%
	Promedio Periodo	29%	33%
CO	Percentil 99 valores máximos horarios	8%	38%
	Percentil 99 valores máximos 8 horas	13%	80%
MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	69%	95%
	Promedio periodo	114%	124%
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	128%	126%
	Promedio Periodo	105%	120%

Fuente: Algoritmos, 2014.

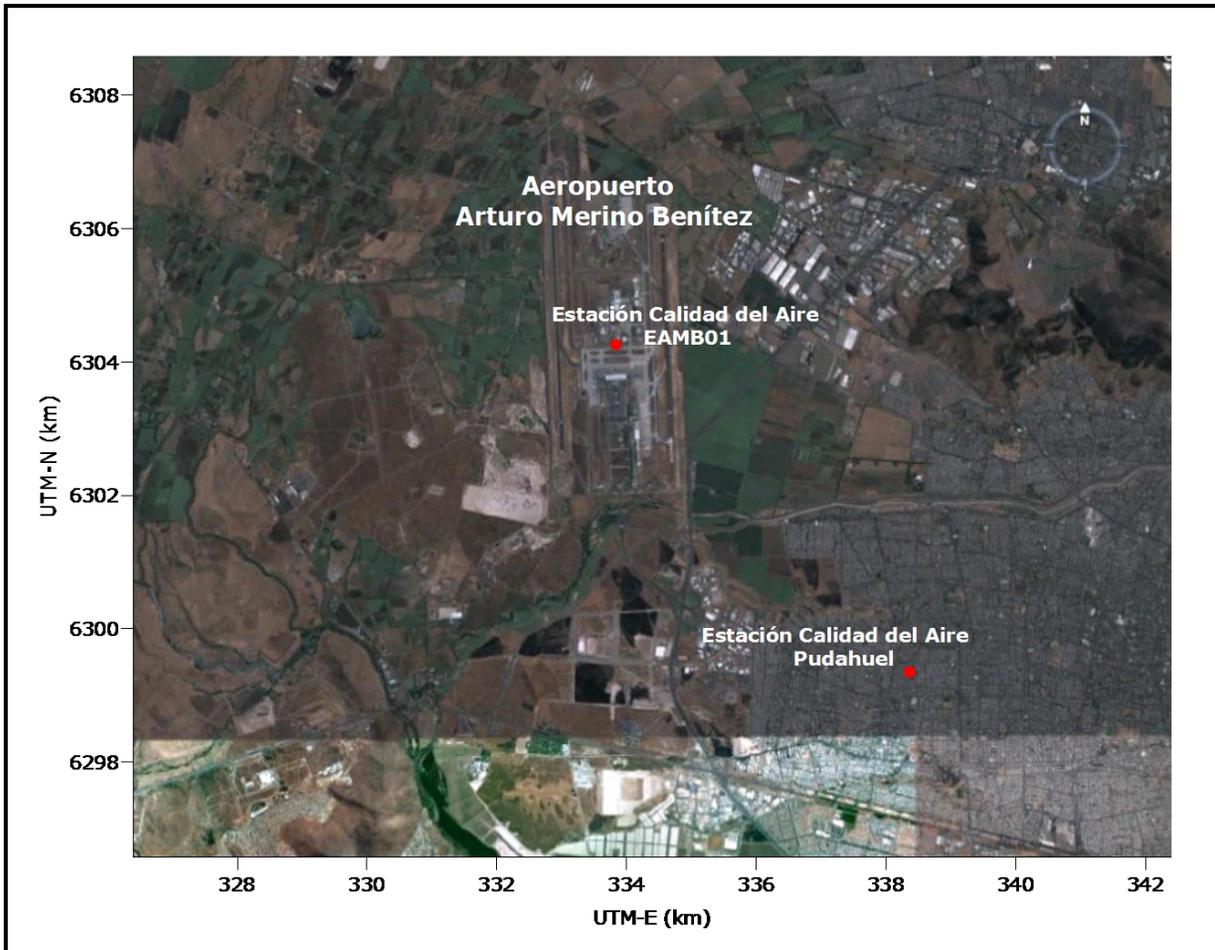
De la tabla anterior se puede indicar que los gases contaminantes se mantienen dentro de la normativa a excepción del material particulado MP₁₀ y MP_{2,5}. Situación presente en la Región Metropolitana.

Para determinar el estado de superación de norma en la Estación AMB se consideró para cada contaminante lo monitoreado el año 2013.

Por otra parte para la Estación Pudahuel calificada como EMRP, el estado de superación de norma se calculó con los datos monitoreados los años 2011, 2012 y 2013.

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, 2014.

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 2013 en la Estación Aeropuerto A.M.B.

La Tabla N°5 presenta las coordenadas de localización y las variables meteorológicas registradas y utilizadas en la modelación.

Tabla N° 5
Localización de Referencia y Variables Meteorológicas Monitoreadas

Estación	Coordenadas UTM ^a		Variables ¹	Periodo 2013
	Este (m)	Norte (m)		
Aeropuerto A.M.B.	333.148	6.303.728	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del Viento • Dirección del Viento • Sigma Theta • Temperatura • Humedad Relativa • Radiación Solar • Precipitación 	Enero - Diciembre

Fuente: AMB – DGAC.

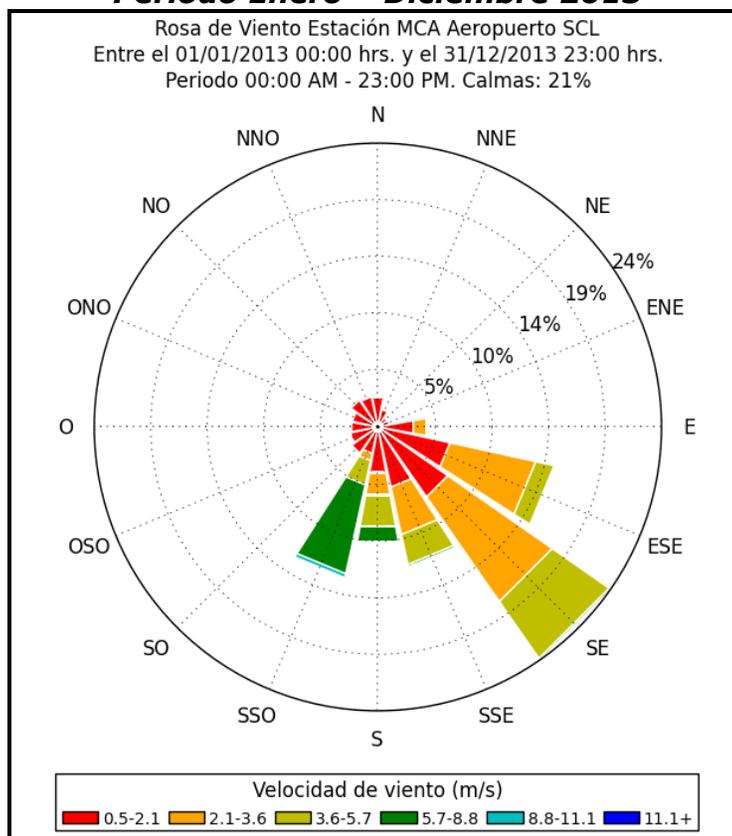
En las siguientes secciones se presenta un análisis cualitativo de las variables meteorológicas de velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación para describir y determinar las características propias de la meteorología en el Aeropuerto AMB, a través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

^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 2013) para la Estación Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 3
Rosa de Viento Ciclo Completo Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013

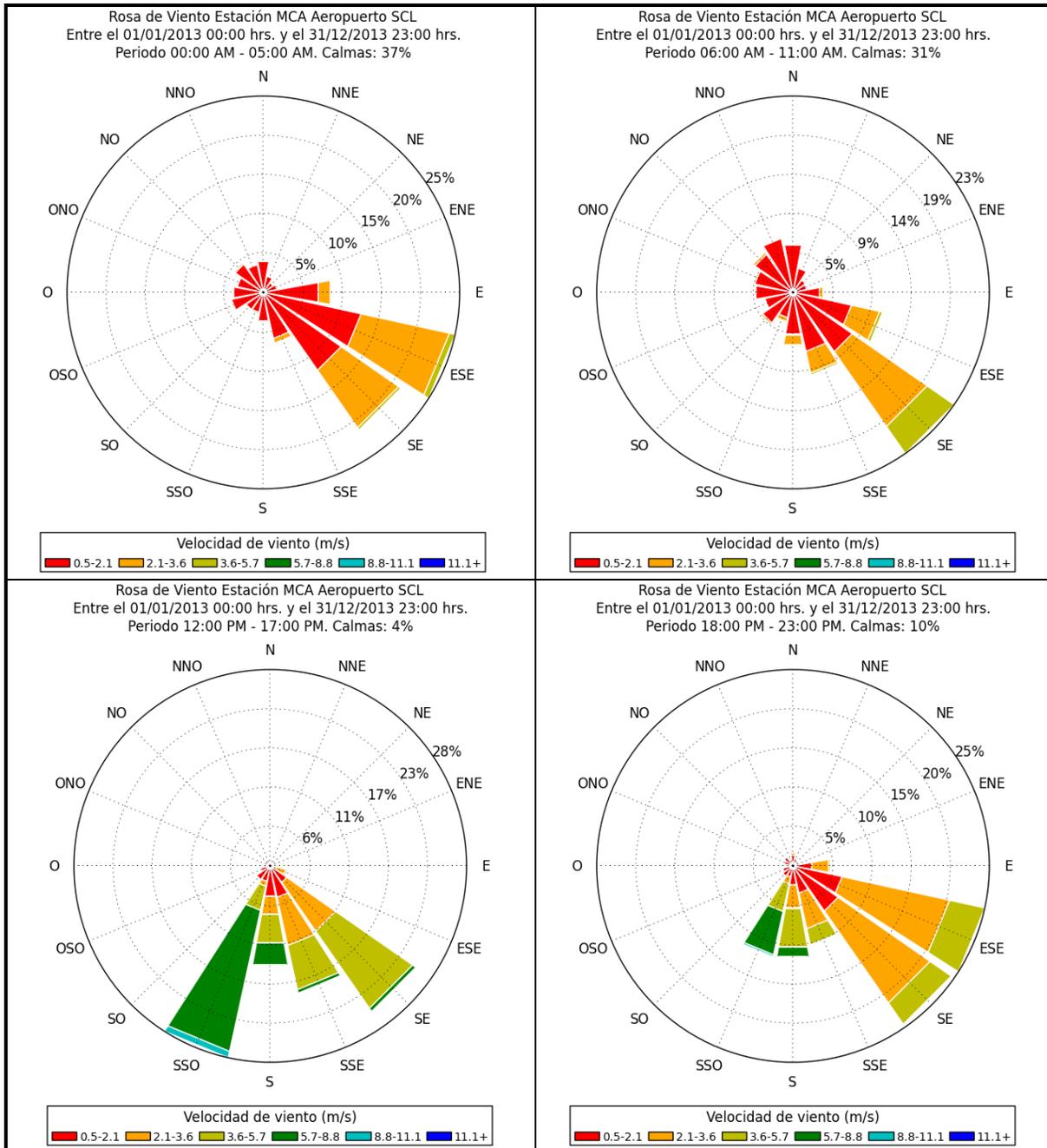


Fuente: Algoritmos, 2014.

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 24% 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 (S) y 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 Aeropuerto A.M.B. representativo del área de influencia del Proyecto asociados a diferentes periodos del día.

Figura N° 4
Rosas de Viento según periodo del día – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



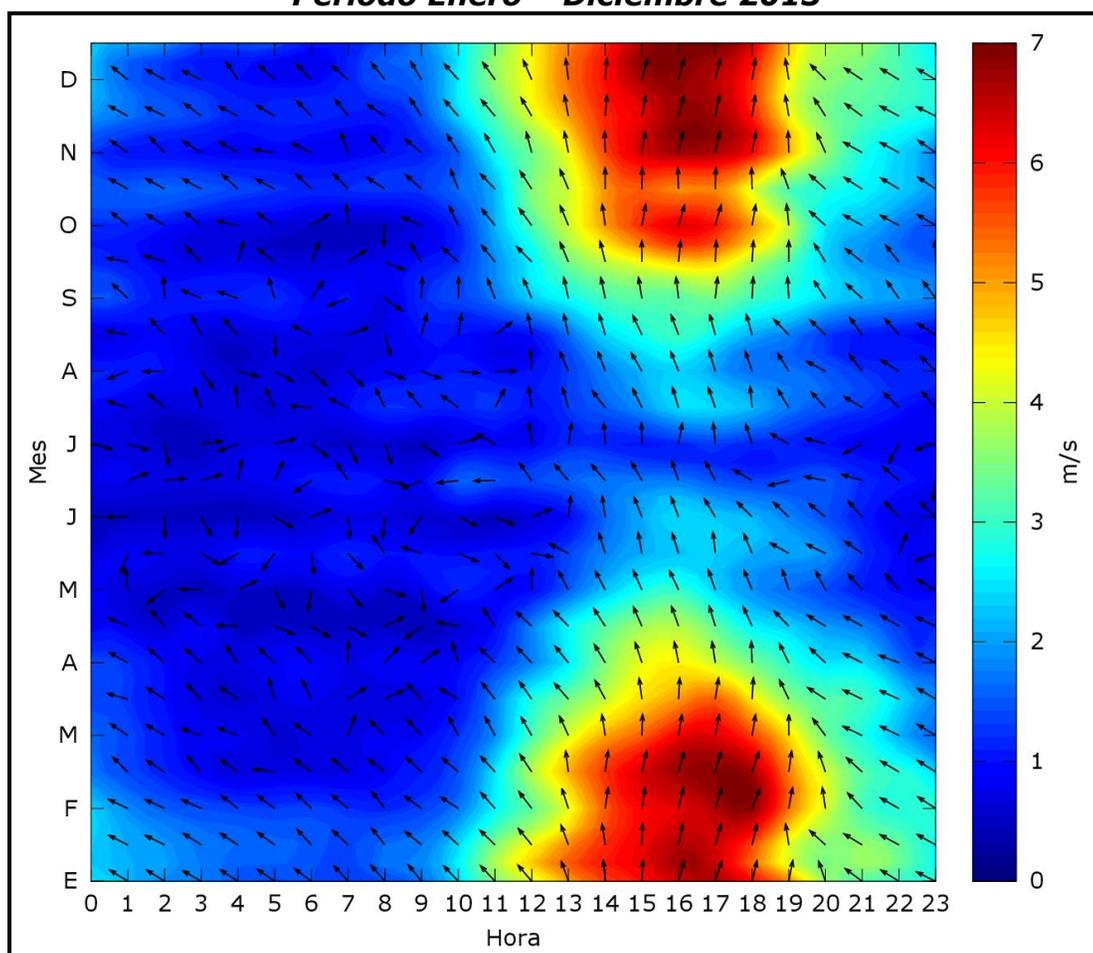
Fuente: Algoritmos, 2014.

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 46% y 49% 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 la dirección Sur - suroeste (SSO).

4.2 Ciclo Estacional del Viento

A continuación, la siguiente Figura representa el ciclo estacional del viento para el periodo analizado (año 2013) para la Estación Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 5
Ciclo Estacional del Viento Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



Fuente: Algoritmos, 2014.

Al observar el ciclo estacional de la Estación Aeropuerto A.M.B. (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.

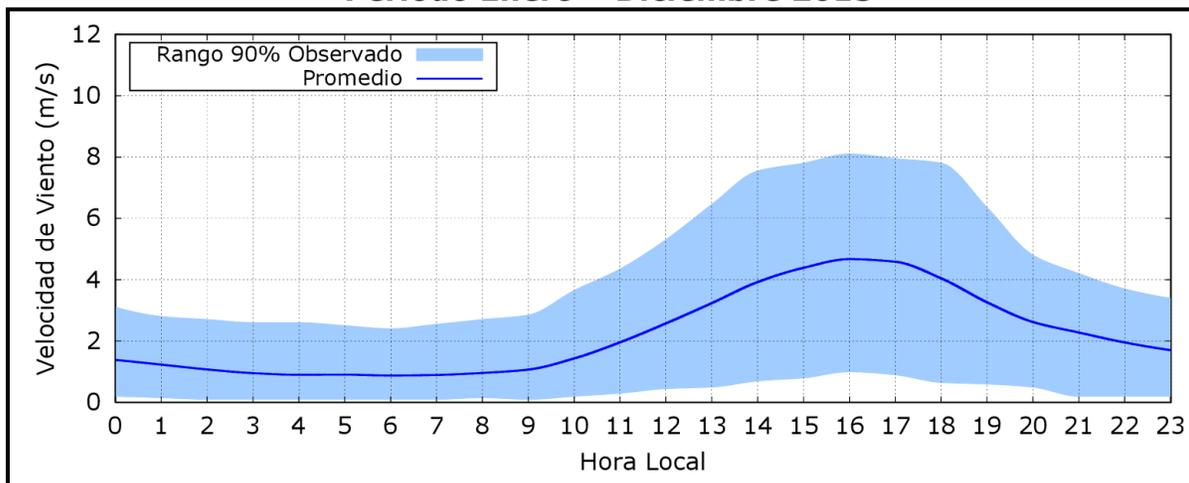
4.3 Ciclos Diarios

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 2013.

4.3.1 Velocidad del Viento

La siguiente Figura, representa el ciclo diario promedio de la velocidad del viento para la Estación Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 6
Ciclo Diario Velocidad del Viento (m/s) - Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero - Diciembre 2013



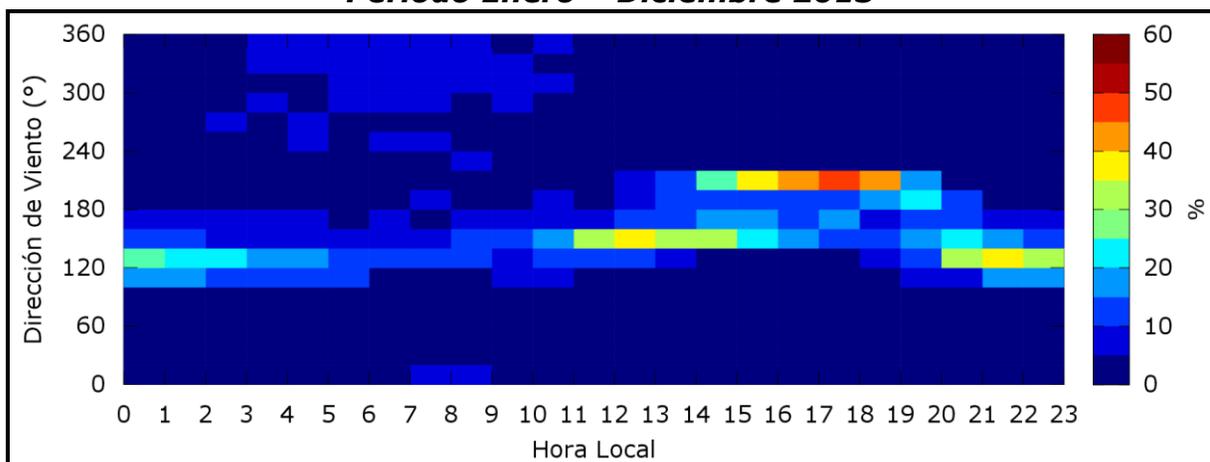
Fuente: Algoritmos, 2014.

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 Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 7
Ciclo Diario Dirección del Viento (°) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



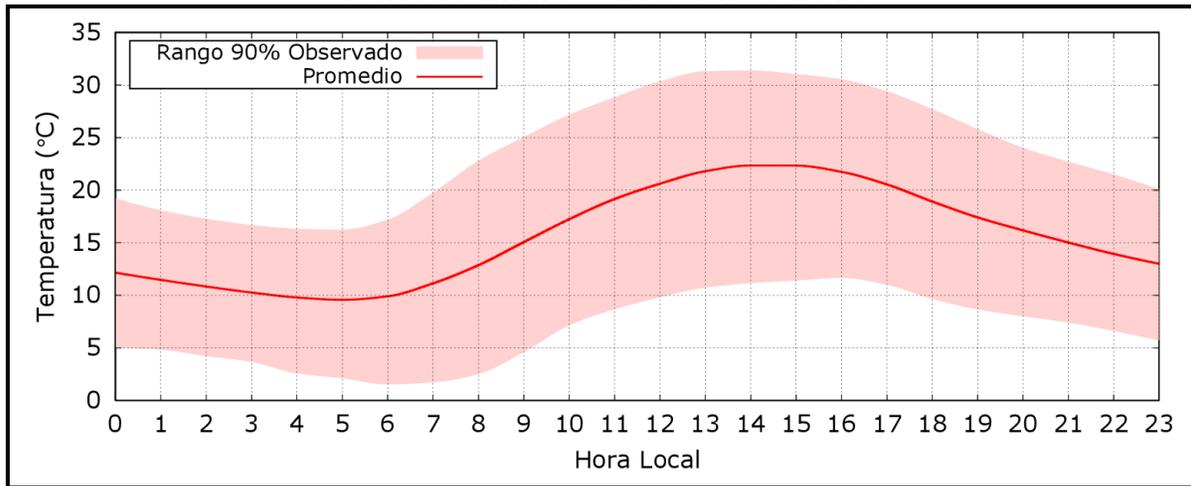
Fuente: Algoritmos, 2014.

De la Figura N°7 se observa la procedencia de vientos del rango Este - sureste (ESE, 110°) y del Sur - suroeste (SSO, 200°) durante el periodo diurno; y con un menor porcentaje de ocurrencia se generan vientos del Sureste (SE, 130°) 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 Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 8
Ciclo Diario de la Temperatura (°C) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



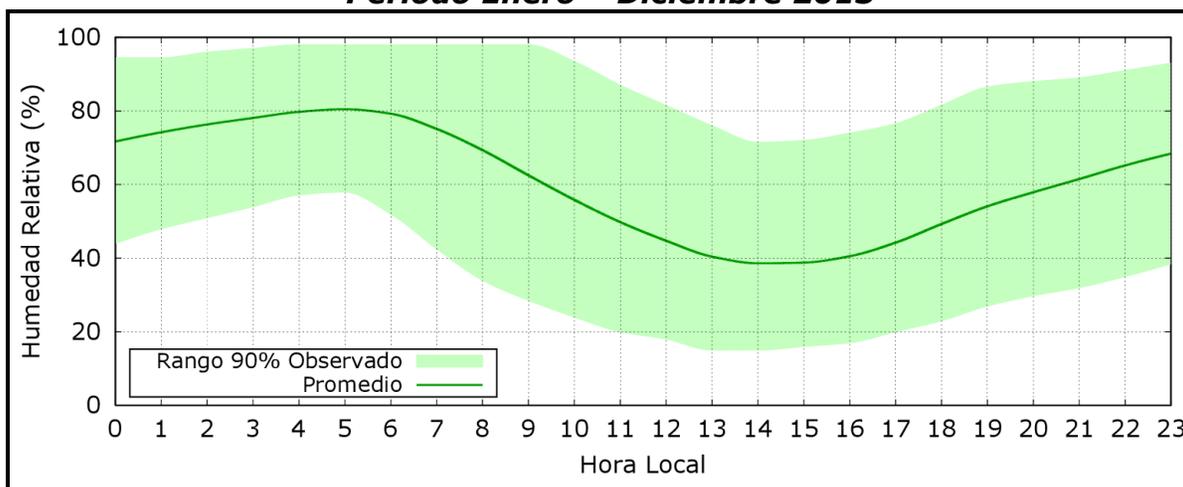
Fuente: Algoritmos, 2014.

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 14:00 horas; en cuanto a la temperatura mínima ésta se produce a las 05:00 horas no superando los 10 °C.

4.3.4 Humedad Relativa

La Figura N°9 presenta 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 – Diciembre 2013



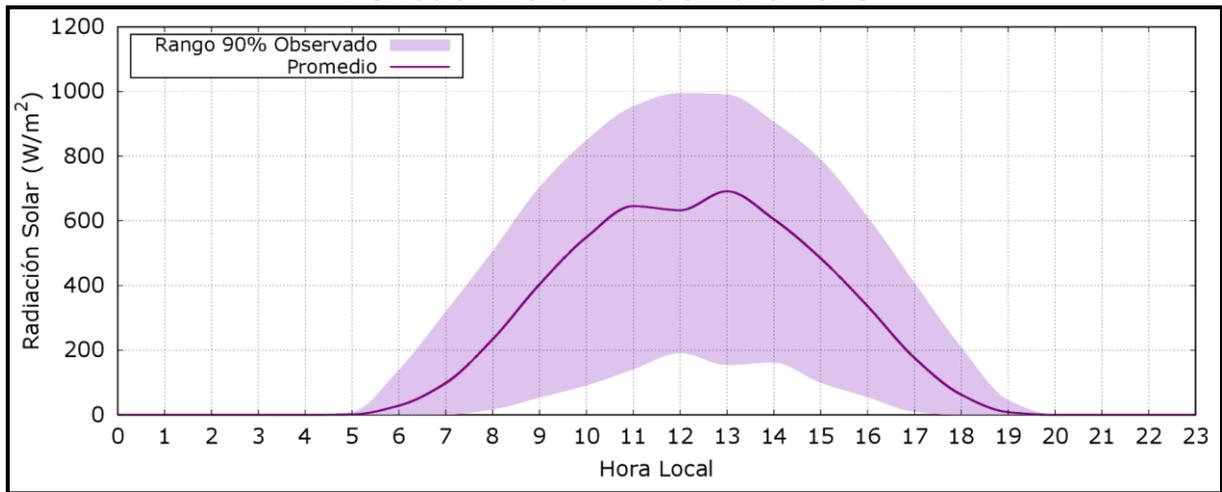
Fuente: Algoritmos, 2014.

En la Figura N°9, se observa que el máximo promedio diario de la humedad relativa es de un 80% produciéndose a las 05:00 horas. En cuanto al mínimo registrado ocurre durante las 14:00 y 15:00 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 Aeropuerto A.M.B.

Figura N° 10
Ciclo Diario de la radiación Solar (W/m^2) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



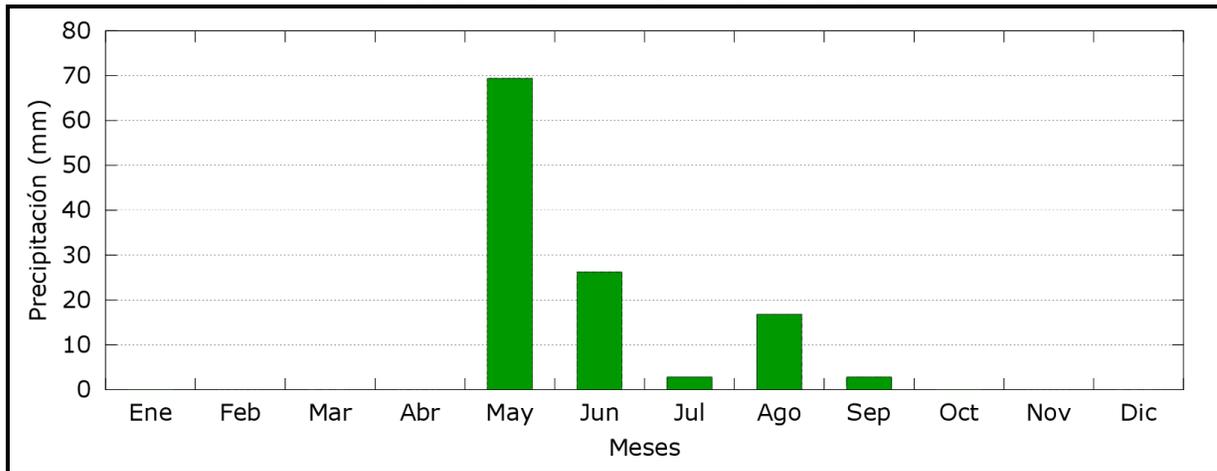
Fuente: Algoritmos, 2014.

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 $690 W/m^2$, 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 MCA Aeropuerto SCL.

Figura N° 11
Precipitación Mensual Acumulada (mm) – Estación Aeropuerto A.M.B.
Periodo Enero – Diciembre 2013



Fuente: Algoritmos, 2014.

Tal como se observa en la Figura N°11, se presentan precipitaciones durante los meses de Mayo a Septiembre, siendo el mes de Mayo el que presenta la máxima precipitación acumulada con 69,4 mm, seguido por el mes de Junio con 26,2 mm.

4.3.7 Análisis de Parámetros Meteorológicos Monitoreados

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) 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 118 mm, lo cual nos indica que el año 2013 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 2013" 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
- Unidad de Energía Auxiliar
- 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 2013

Actividad Emisora	Tasas de Emisión (ton/año)								
	CO	THC	NMHC	VOC	TOG	NOx	SOx	MP ₁₀	MP _{2,5}
Aeronaves	104,844	19,811	22,901	22,781	22,903	330,049	22,047	2,009	2,009
Grupo de Soporte Terrestre	245,954	N/A	8,120	8,465	9,308	27,939	0,617	0,978	0,936
Unidad de Energía Auxiliar	3,393	0,260	0,301	0,300	0,301	8,694	0,919	0,685	0,685
Estacionamientos	3,718	0,000	0,421	0,423	0,435	0,089	0,007	0,013	0,007
Tránsito por Caminos de Acceso	65,122	0,000	1,679	1,706	1,800	1,315	0,142	0,508	0,238
Fuentes Estacionarias	6,781	N/A	2,193	2,270	2,650	17,432	10,459	1,038	0,981
Total Tasas de Emisión Fuentes Interior Aeropuerto AMB	429,812	20,071	35,615	35,945	37,397	385,518	34,191	5,231	4,856
Quemas Agrícolas	0,7864	N/A	N/A	0,0745	N/A	0,0304	0,0046	0,1095	0,1049
Erosión Eólica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,97	N/A
Total Tasas de Emisión Fuentes Exterior Aeropuerto AMB	0,7864	N/A	N/A	0,0745	N/A	0,0304	0,0046	2,0795	0,1049
Total Tasas de Emisión Aeropuerto AMB	430,5984	20,071	35,615	36,0195	37,397	385,5484	34,1956	7,3105	4,9609

Fuente: LIC 04-10 Memoria de Cálculo de Emisiones 2013 vA-3.
N/A: No Aplica

6 Descripción Modelos Utilizados en el Estudio

6.1 Modelo CALMET - 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 Descripción del Modelo

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

CALMET es un modelo meteorológico que simula campos de viento y temperatura en un dominio de modelación engrillado y tridimensional. CALMET también

produce campos en dos dimensiones como son: Altura de la capa mezcla, características de superficie y propiedades de dispersión.

CALPUFF modela el transporte y dispersión de contaminantes emitidos por las fuentes emisoras en forma de paquetes o "PUFF" 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 los resultados.

6.1.3 Variables de Entrada al Sistema de Modelación CALMET - CALPUFF

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

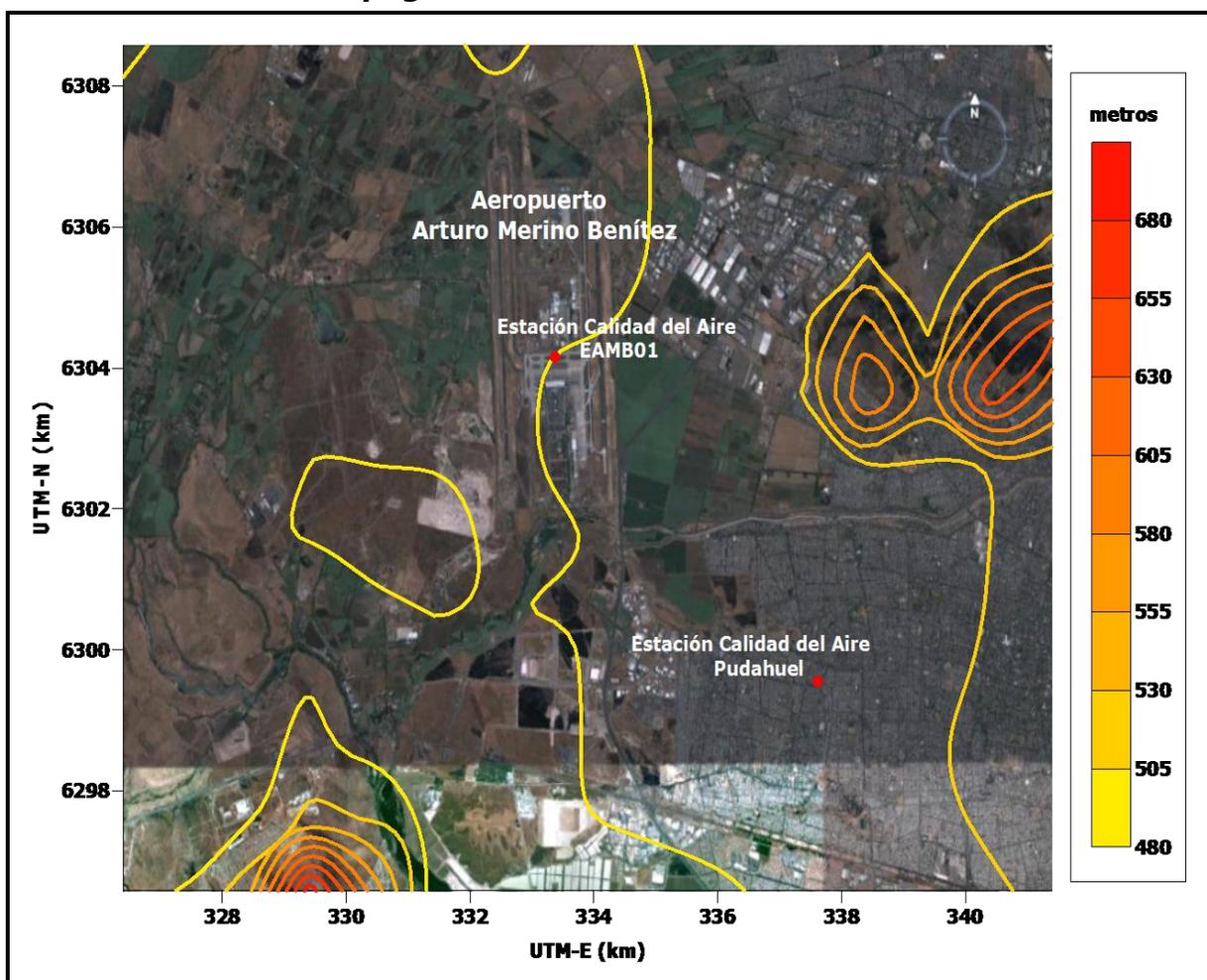
- Topografía del área de modelación. Obtenida de datos satelitales de la zona con una resolución de 90 metros. La Figura N° 12 presenta las curvas topográficas obtenidas para la zona.
- Uso de suelo del área de modelación. Obtenido de datos satelitales de la zona con una resolución de 900 metros.
- Meteorología de superficie. Obtenida de datos de la Estación Meteorológica del Aeropuerto AMB para el año 2013.
- Meteorología de altura. Obtenida de datos de radiosondeos realizados en la zona de Santo Domingo para el mismo período de datos del cual se dispone de información meteorológica.
- Data de emisiones. Correspondiente a las emisiones 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.

Tabla N° 7
Localización Puntos Discretos²

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (m)		Elevación [m]
	Este	Norte	
EAMB01	333.147	6.303.727	473
Pudahuel	337.514	6.299.135	493

Fuente: Algoritmos, 2013.

Figura N° 12
Topografía del área de modelación



Fuente: Algoritmos, 2014.

² Datum WGS84, coordenadas UTM.

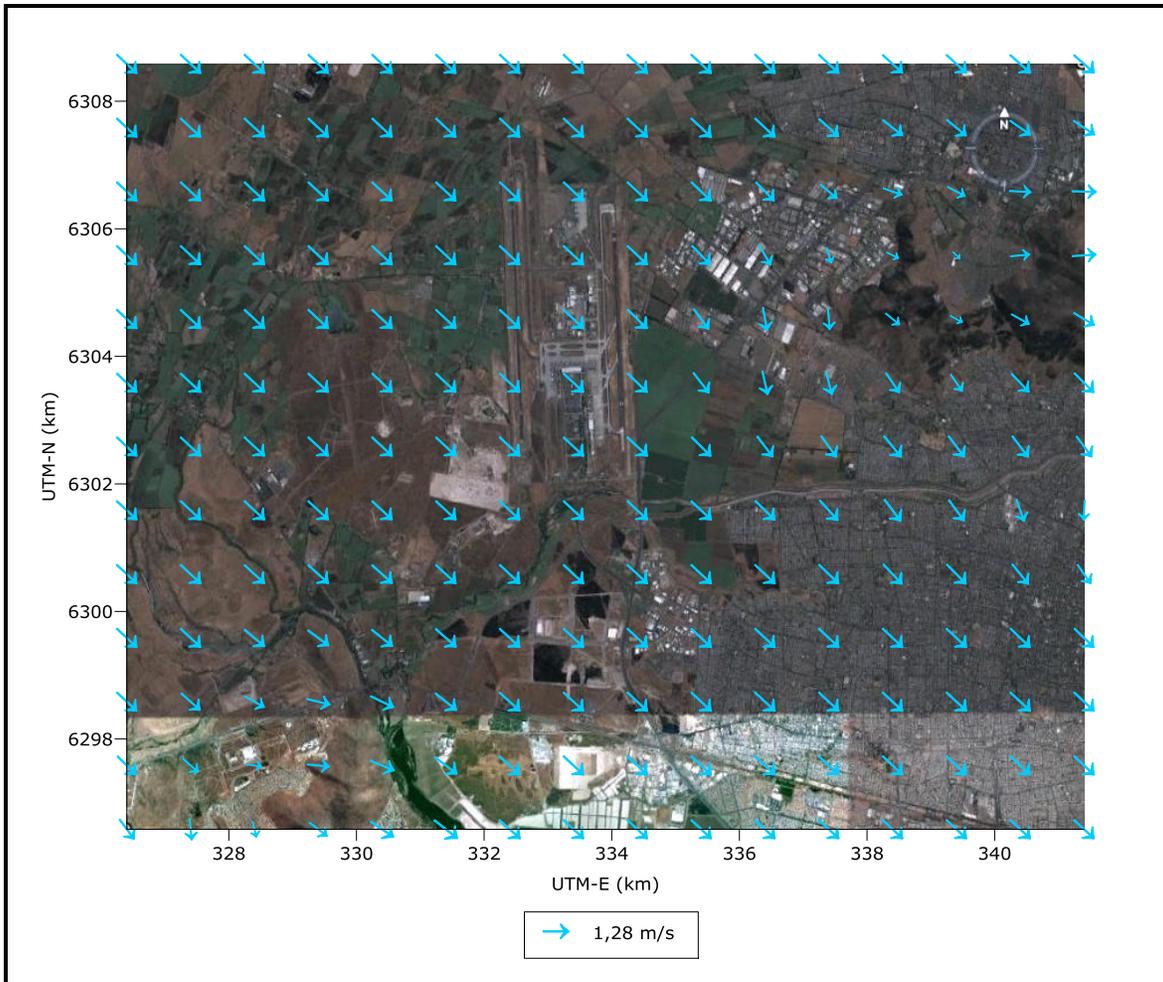
7 Resultados de la Modelación

7.1 Campos de Viento

Mediante la aplicación del modelo CALMET 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.

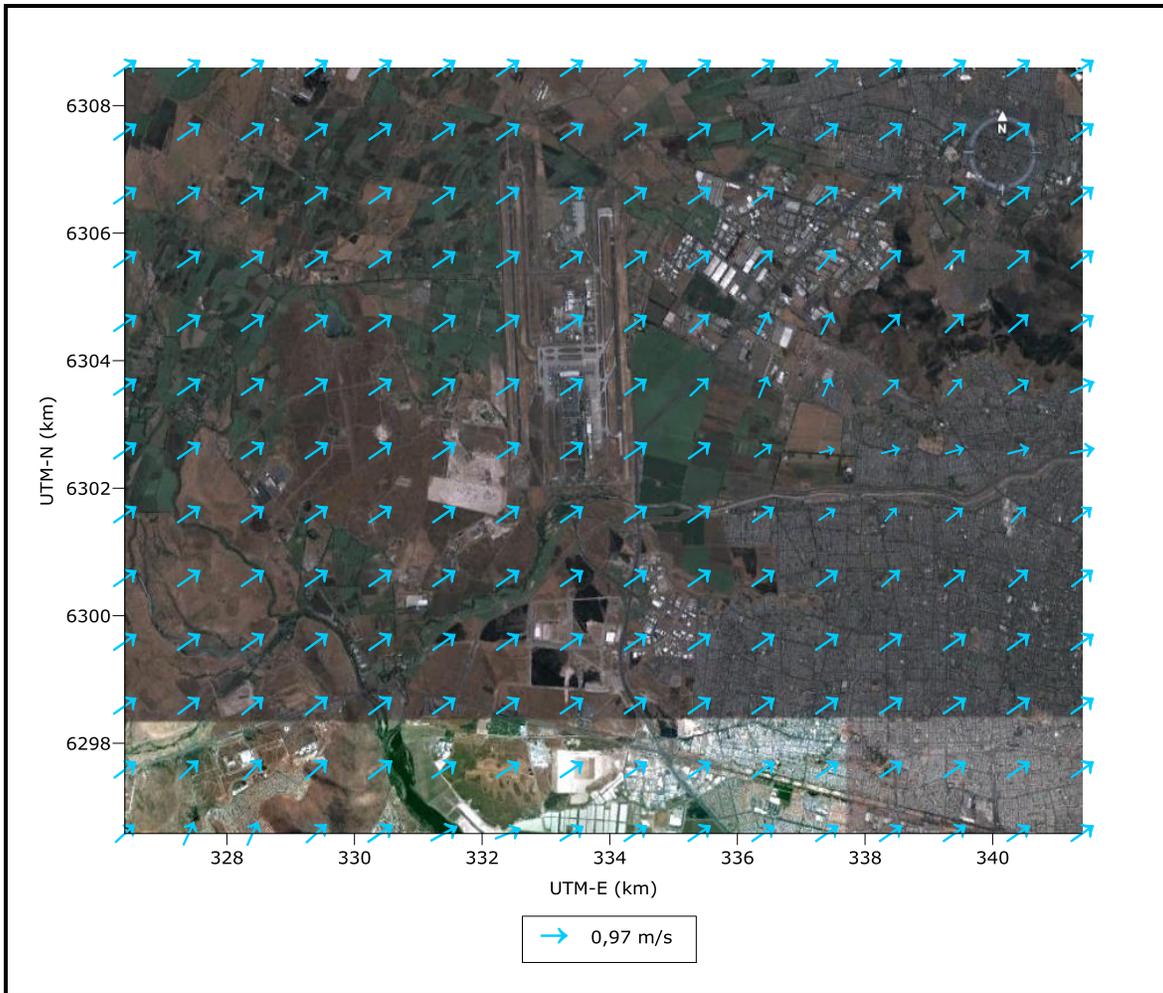
A modo de ejemplo, se seleccionó el día 10 de Julio de 2013 para representar el comportamiento de los vientos superficiales en horas representativas del día, en la madrugada (06:00 hrs.), a medio día (12:00 hrs.), durante la tarde (18:00 hrs.) y en la noche (00:00 hrs.), en las cuales es posible apreciar las variaciones espaciales de los campos de viento. Cabe señalar que se escogió el día del punto de máximo impacto para el material particulado respirable MP₁₀.

Figura N° 13
Campos de viento a las 00:00 horas



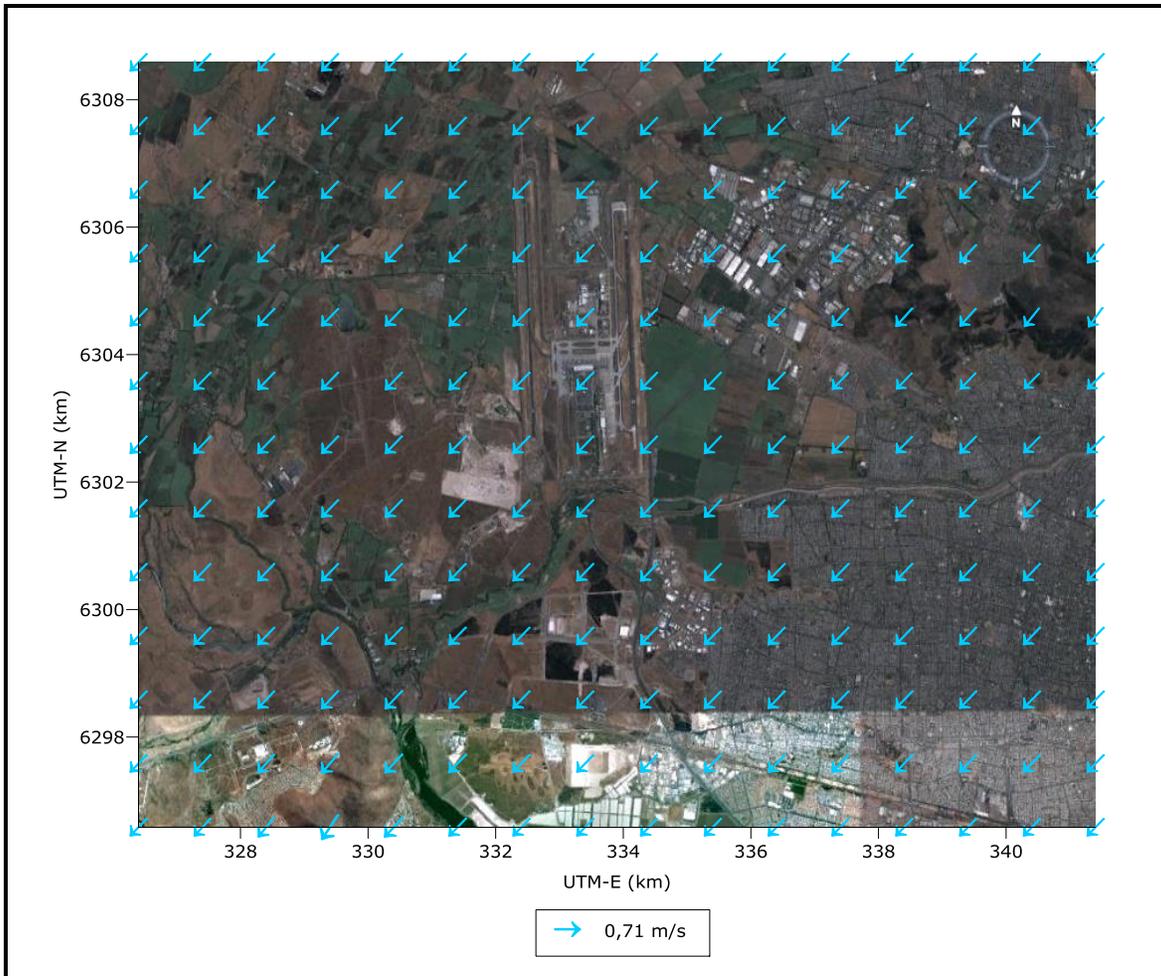
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 14
Campos de viento a las 06:00 horas



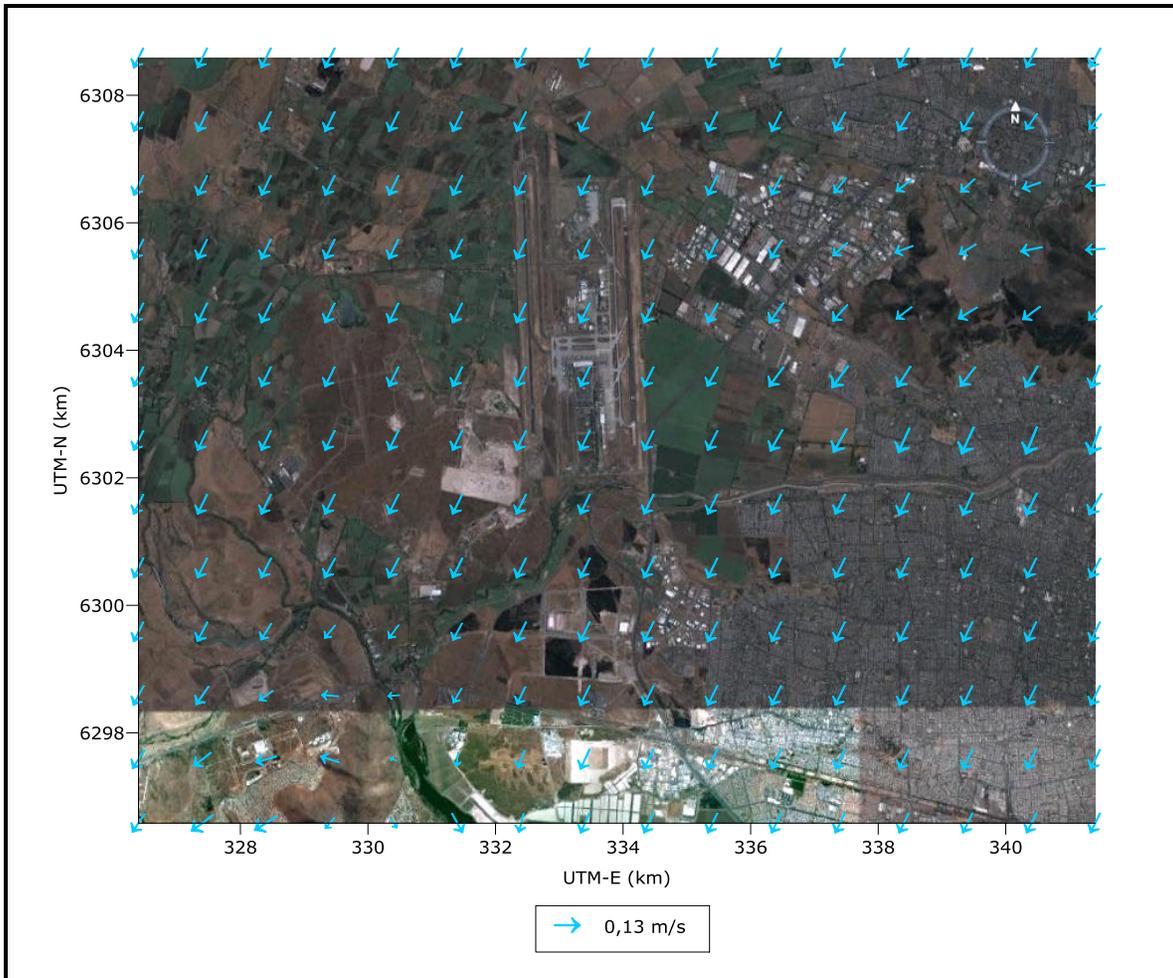
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 15
Campos de viento a las 12:00 horas



Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 16
Campos de viento a las 18:00 horas



Fuente: Algoritmos, 2014.

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, para cada una de las 8.760 horas simuladas mediante el modelo CALMET.

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

Tabla N° 8
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	23,25	1,56	1.000
		Percentil 99,7 promedio diario	9,23	0,52	365
		Percentil 99 promedio diario	8,48	0,46	250
		Promedio Periodo	3,30	0,12	80
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	390,31	25,25	400
		Promedio Periodo	43,02	1,37	100
	CO	Percentil 99 máximo horario	401,16	25,59	30.000
		Percentil 99 máximos 8 horas	251,58	8,17	10.000
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	1,74	0,09	150
		Promedio Periodo	0,87	0,03	50
	MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	1,67	0,09	50
		Promedio Periodo	0,84	0,03	20
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	27,65	2,40	1.000
		Percentil 99,7 promedio diario	9,23	0,52	365
		Percentil 99 promedio diario	8,48	0,46	250
		Promedio Periodo	3,30	0,12	80
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	390,33	25,25	400
		Promedio Periodo	43,03	1,37	100
	CO	Percentil 99 máximo horario	401,40	25,77	30.000
		Percentil 99 máximos 8 horas	252,08	8,31	10.000
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	1,94	0,16	150
		Promedio Periodo	0,97	0,05	50
	MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	1,74	0,11	50
		Promedio Periodo	0,88	0,03	20

Fuente: Algoritmos, 2014.

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° 9
Aportes Modelación CALPUFF, Valor Promedio Hidrocarburos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Escenario	Parámetro	Estación de Monitoreo	
		EAMB01	Pudahuel
Escenario 1	THC	2,12	0,08
	VOC	4,85	0,14
	NMHC	5,49	0,15
	TOG	5,89	0,16
Escenario 2	THC	2,12	0,08
	VOC	4,87	0,14
	NMHC	5,49	0,15
	TOG	5,89	0,16

Fuente: Algoritmos, 2014.

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 2013, 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.

Tabla N° 10
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	23,25	52
		Percentil 99,7 promedio diario	25	9,23	37
		Percentil 99 promedio diario	27	8,48	31
		Promedio Periodo	10	3,30	33
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	126	390,31	310
		Promedio Periodo	29	43,02	148
	CO	Percentil 99 máximo horario	2519	401,16	16
		Percentil 99 máximos 8 horas	1346	251,58	19
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	104	1,74	2
		Promedio Periodo	57	0,87	2
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	64	1,67	3	
	Promedio Periodo	21	0,84	4	
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	27,65	61
		Percentil 99,7 promedio diario	25	9,23	37
		Percentil 99 promedio diario	27	8,48	31
		Promedio Periodo	10	3,30	33
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	126	390,33	310
		Promedio Periodo	29	43,03	148
	CO	Percentil 99 máximo horario	2519	401,40	16
		Percentil 99 máximos 8 horas	1346	252,08	19
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	104	1,94	2
		Promedio Periodo	57	0,97	2
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	64	1,74	3	
	Promedio Periodo	21	0,88	4	

Fuente: Algoritmos, 2014.

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 310% y 148%, respectivamente para ambos escenarios, demostrando que existen fuentes emisoras no captadas por el monitoreo de esta Estación.

Tabla N° 11
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 AMB(AA)	% de la Situación Actual
Escenario 1	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	1,56	3,5
		Percentil 99,7 promedio diario	25	0,52	2,1
		Percentil 99 promedio diario	27	0,46	1,7
		Promedio Periodo	10	0,12	1,2
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	218	25,25	11,6
		Promedio Periodo	33	1,37	4,2
	CO	Percentil 99 máximo horario	11.451	25,59	0,2
		Percentil 99 máximos 8 horas	8.016	8,17	0,1
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	142	0,09	0,1
		Promedio Periodo	62	0,03	0,0
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	63	0,09	0,1	
	Promedio Periodo	24	0,03	0,1	
Escenario 2	SO ₂	Percentil 99,73 máximo horario	45	2,40	5,3
		Percentil 99,7 promedio diario	25	0,52	2,1
		Percentil 99 promedio diario	27	0,46	1,7
		Promedio Periodo	10	0,12	1,2
	NO ₂	Percentil 99 máximo horario	218	25,25	11,6
		Promedio Periodo	33	1,37	4,2
	CO	Percentil 99 máximo horario	11.451	25,77	0,2
		Percentil 99 máximos 8 horas	8.016	8,31	0,1
	MP ₁₀	Percentil 98 promedio diario	142	0,16	0,1
		Promedio Periodo	62	0,05	0,1
MP _{2,5}	Percentil 98 promedio diario	63	0,11	0,2	
	Promedio Periodo	24	0,03	0,1	

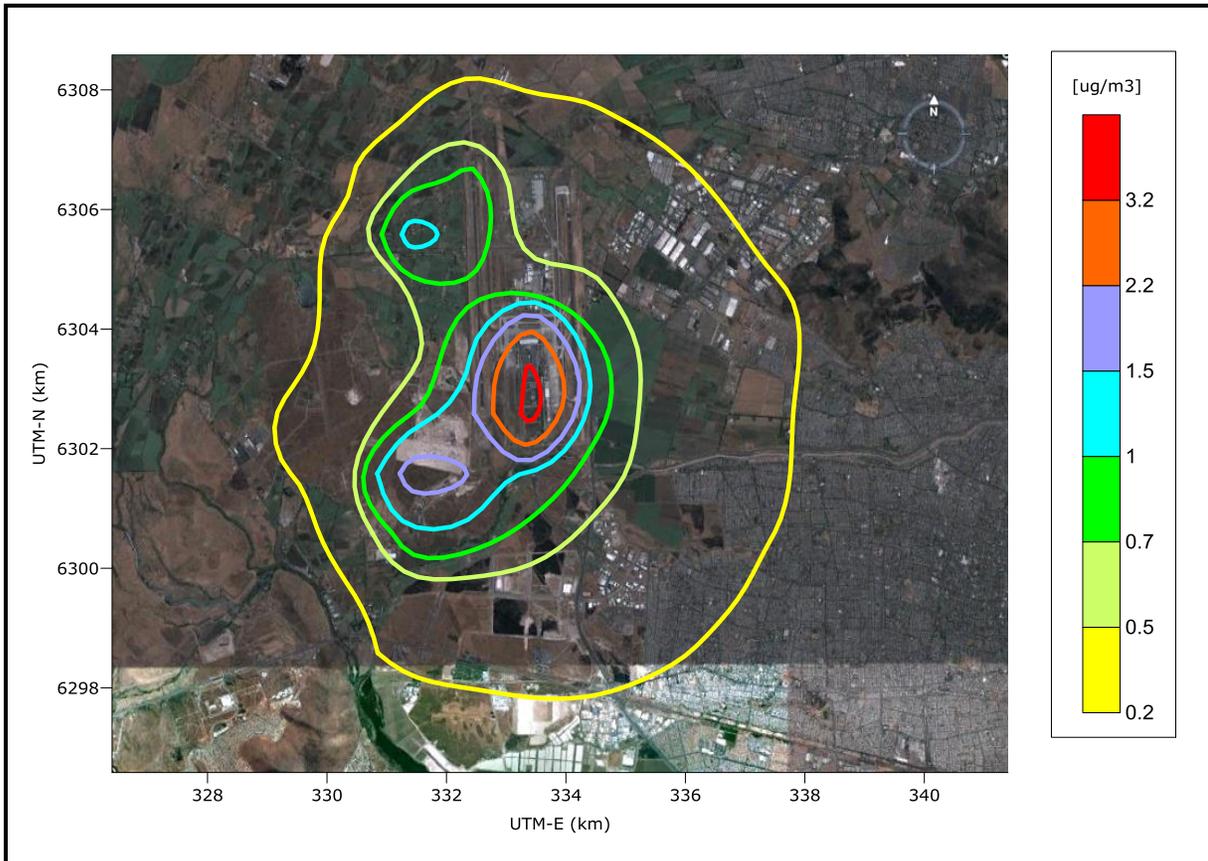
Fuente: Algoritmos, 2014.

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 11,6% 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

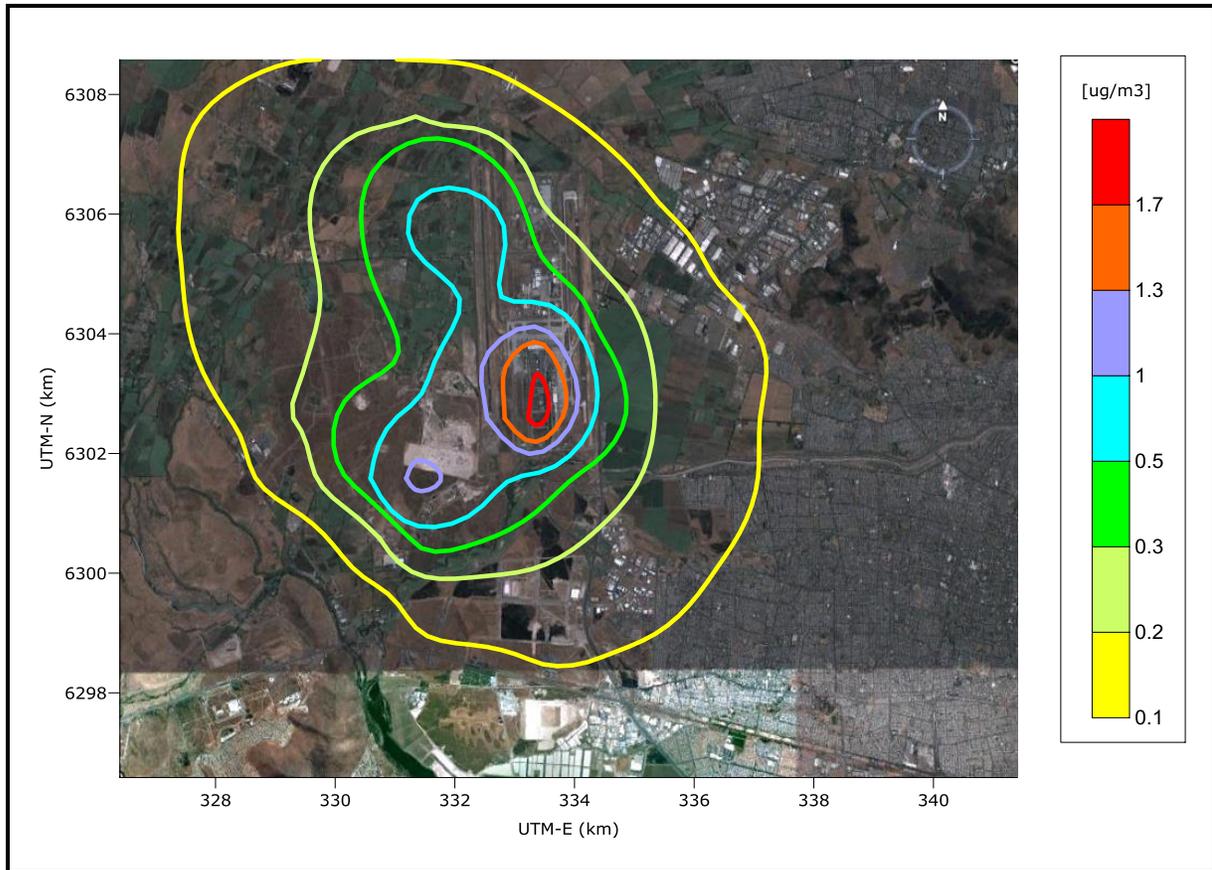
A continuación se presentan las isolíneas de concentración de MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 , CO y SO_2 en el entorno del Proyecto, para el Escenario 2 que incluye tanto las fuentes internas como externas del aeropuerto AMB.

Figura N° 17
Percentil 98 Promedio Diario de MP_{10} , Escenario 2



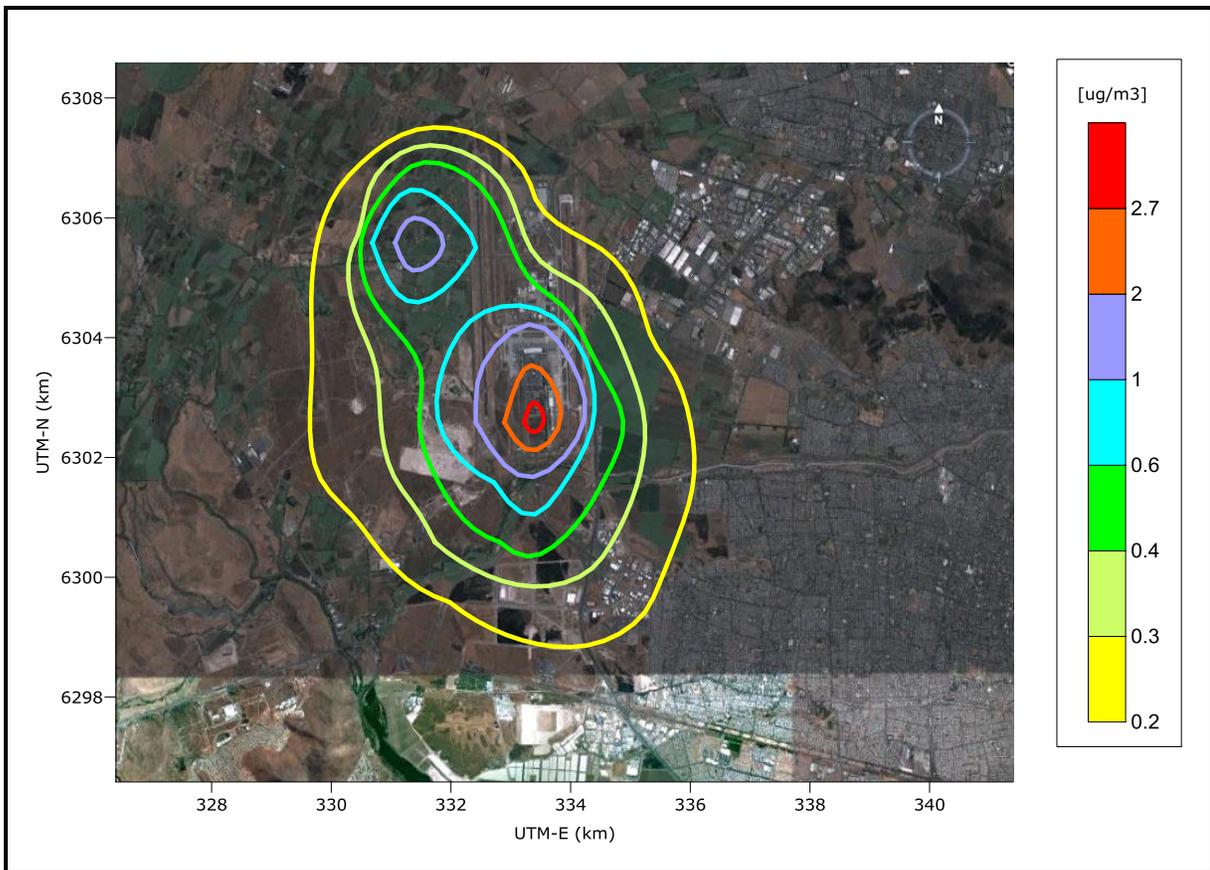
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 18
Promedio Periodo de MP₁₀, Escenario 2



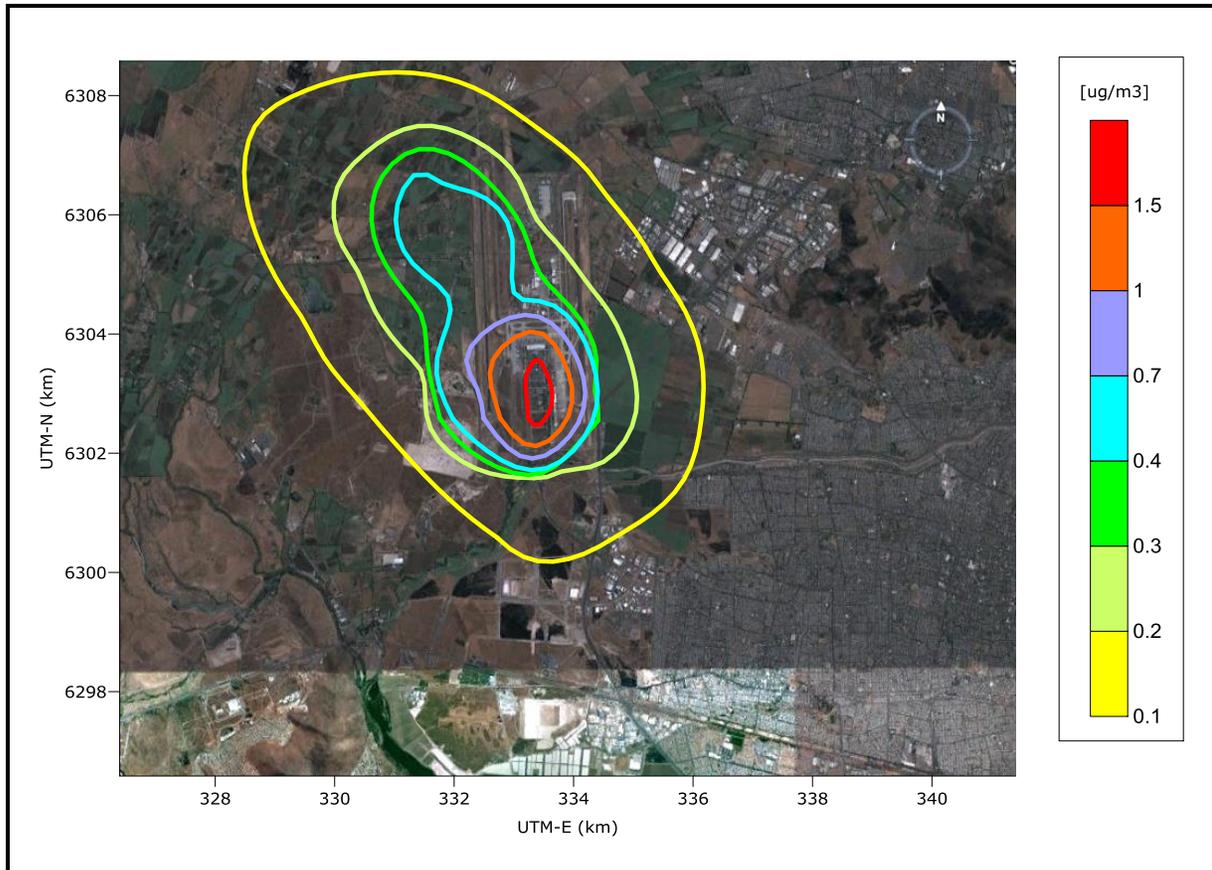
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 19
Percentil 98 Promedio Diario de MP_{2,5}, Escenario 2



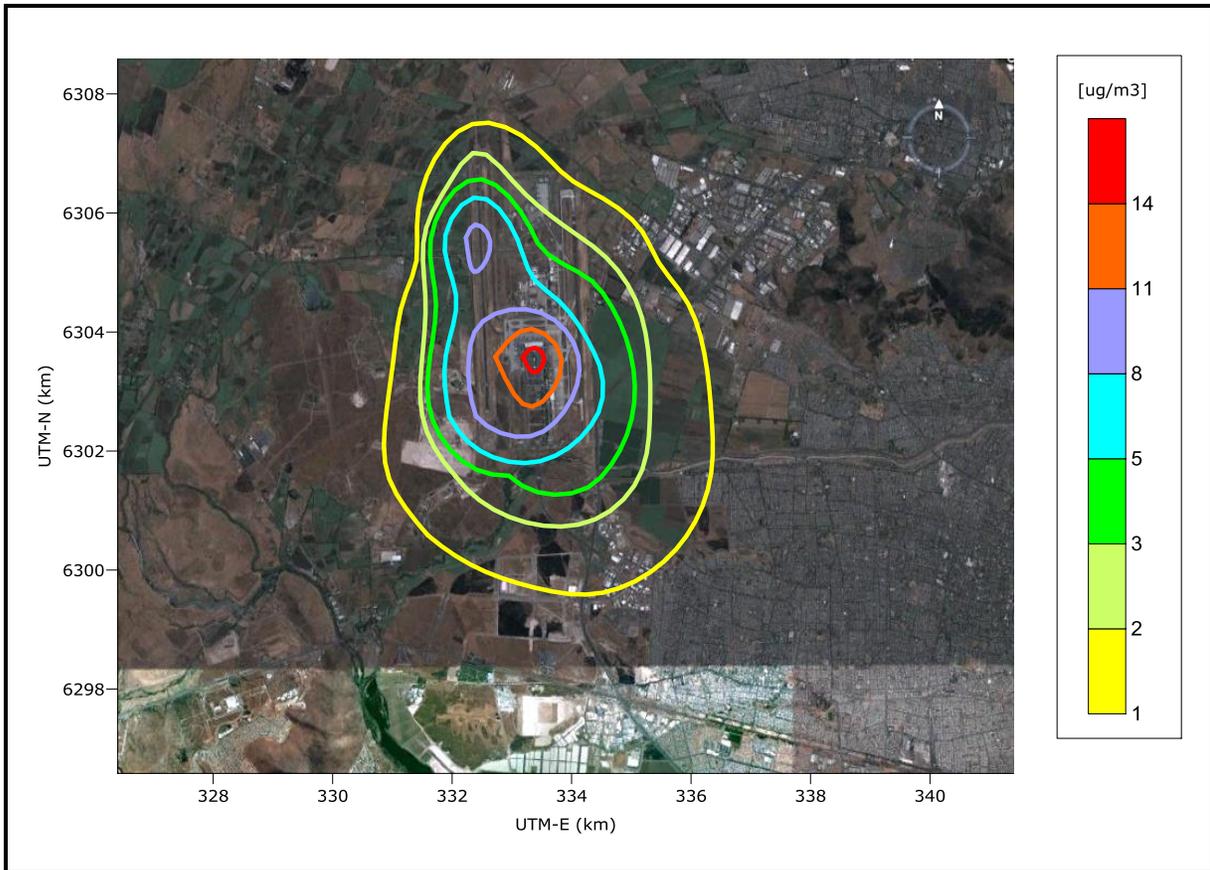
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 20
Promedio Periodo de MP_{2,5}, Escenario 2



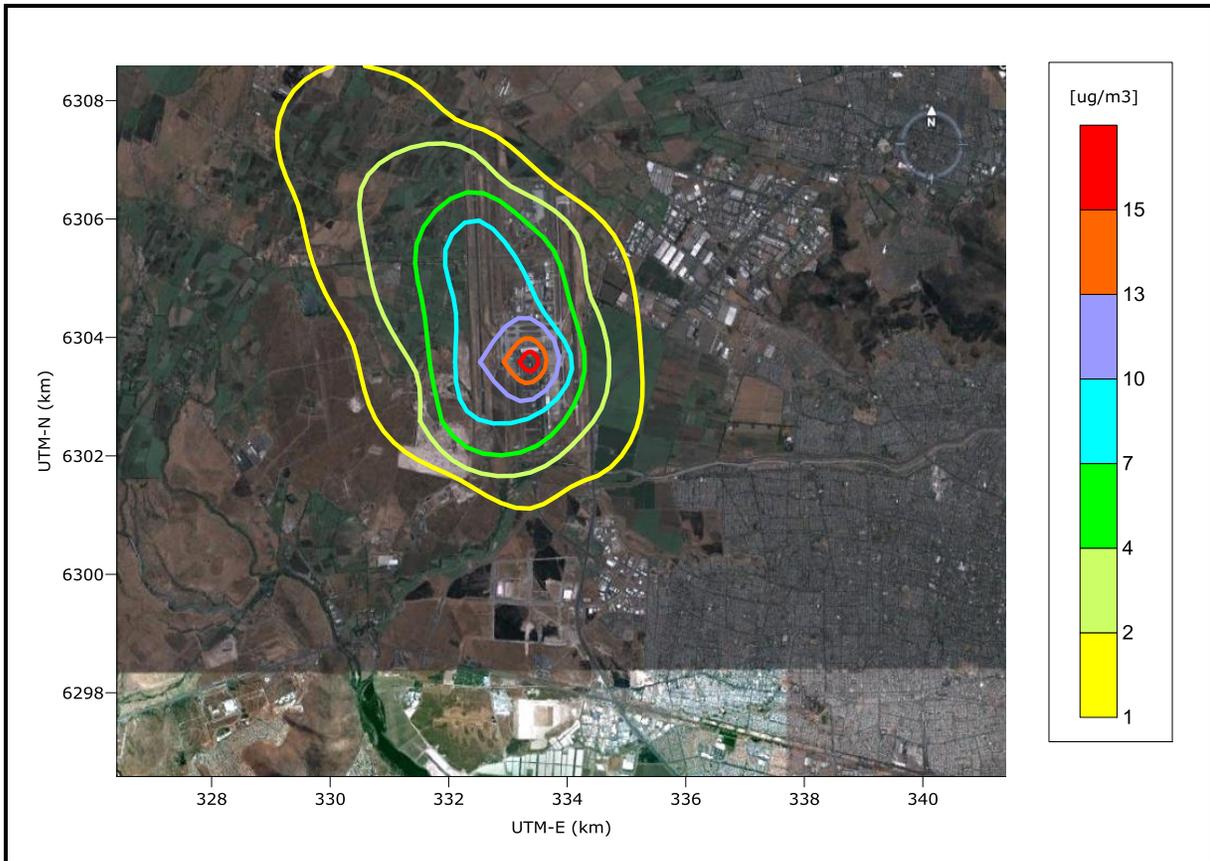
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 21
Percentil 99 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



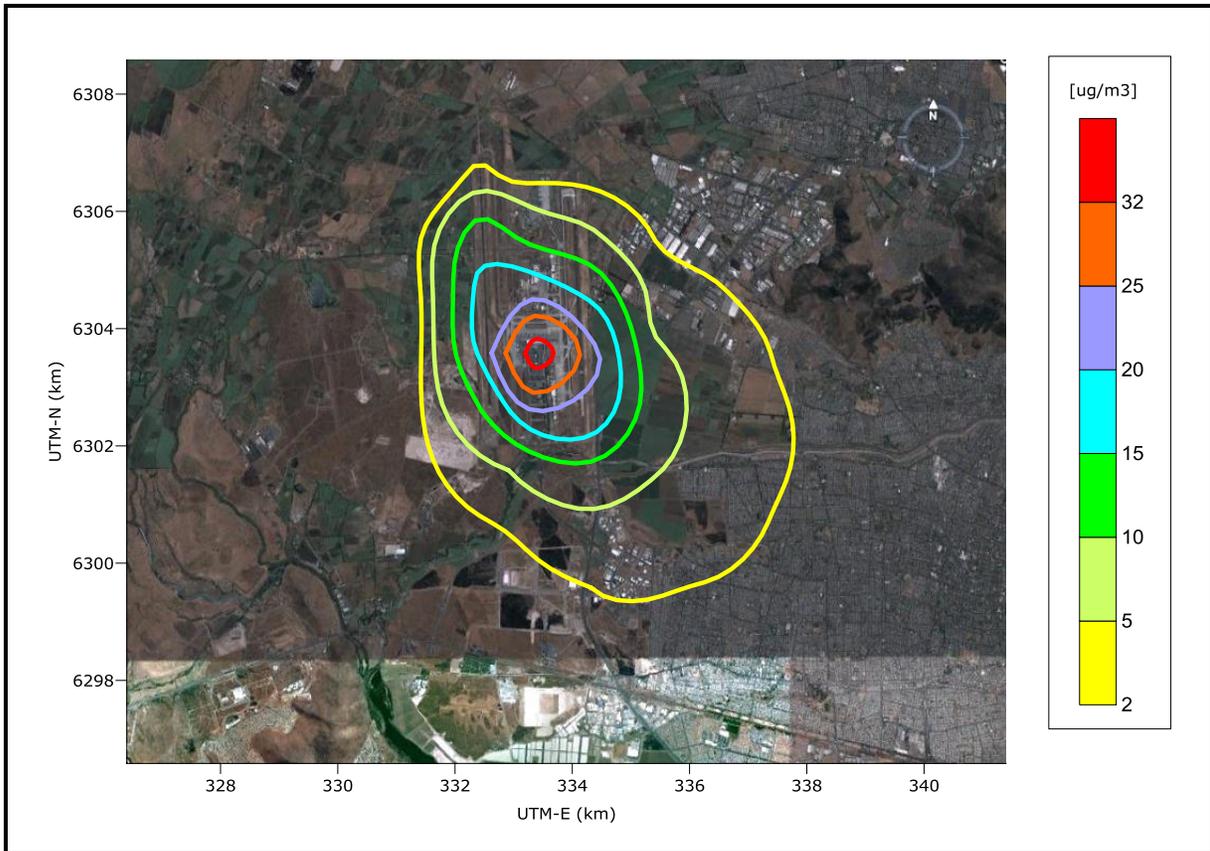
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 22
Percentil 99,7 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



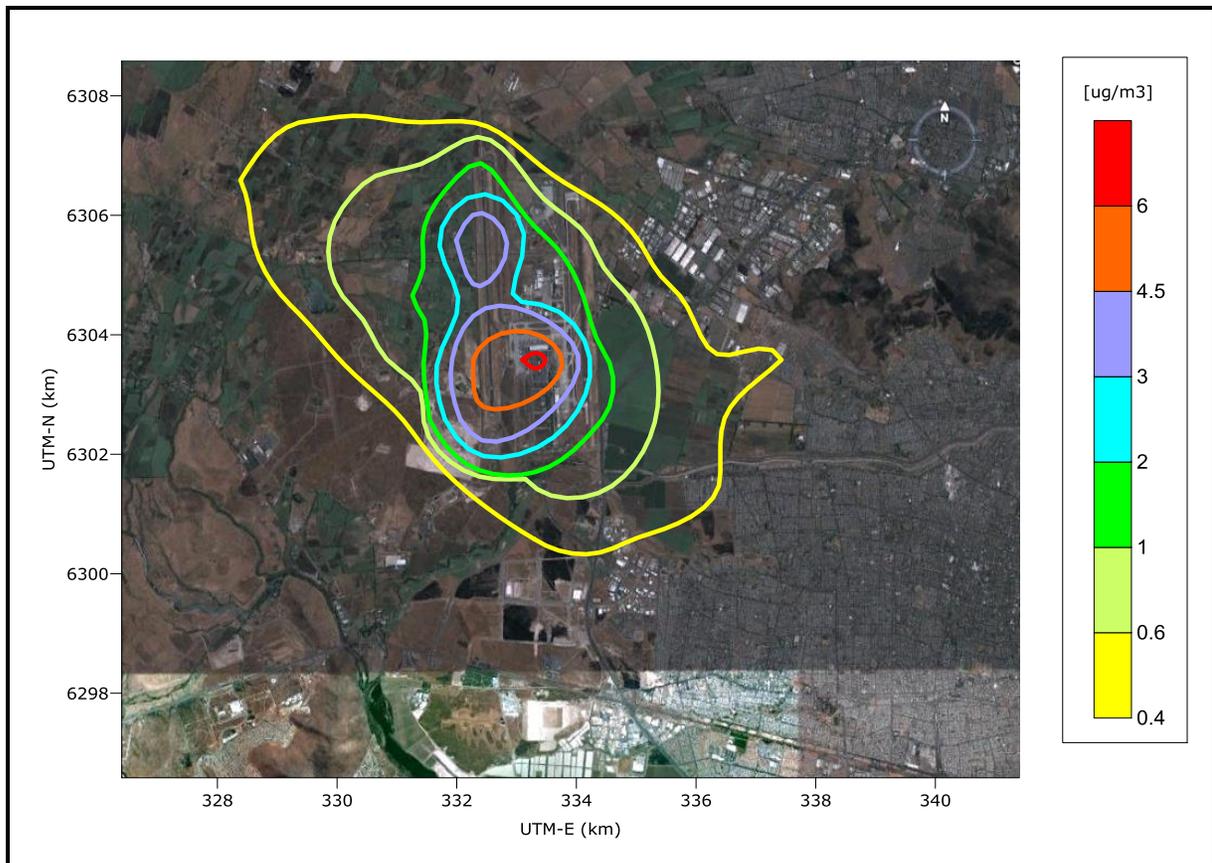
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 23
Percentil 99,73 Promedio Diario de SO₂, Escenario 2



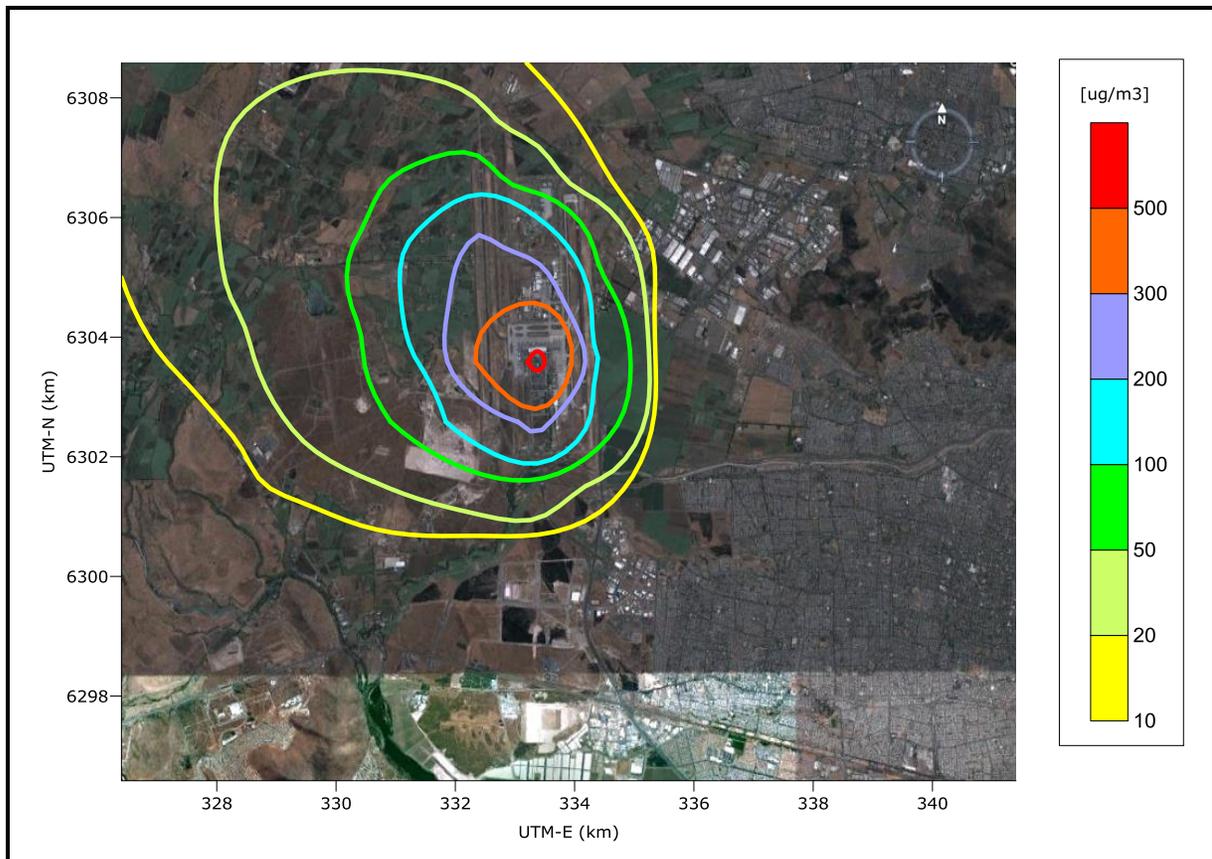
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 24
Promedio del Periodo de SO₂, Escenario 2



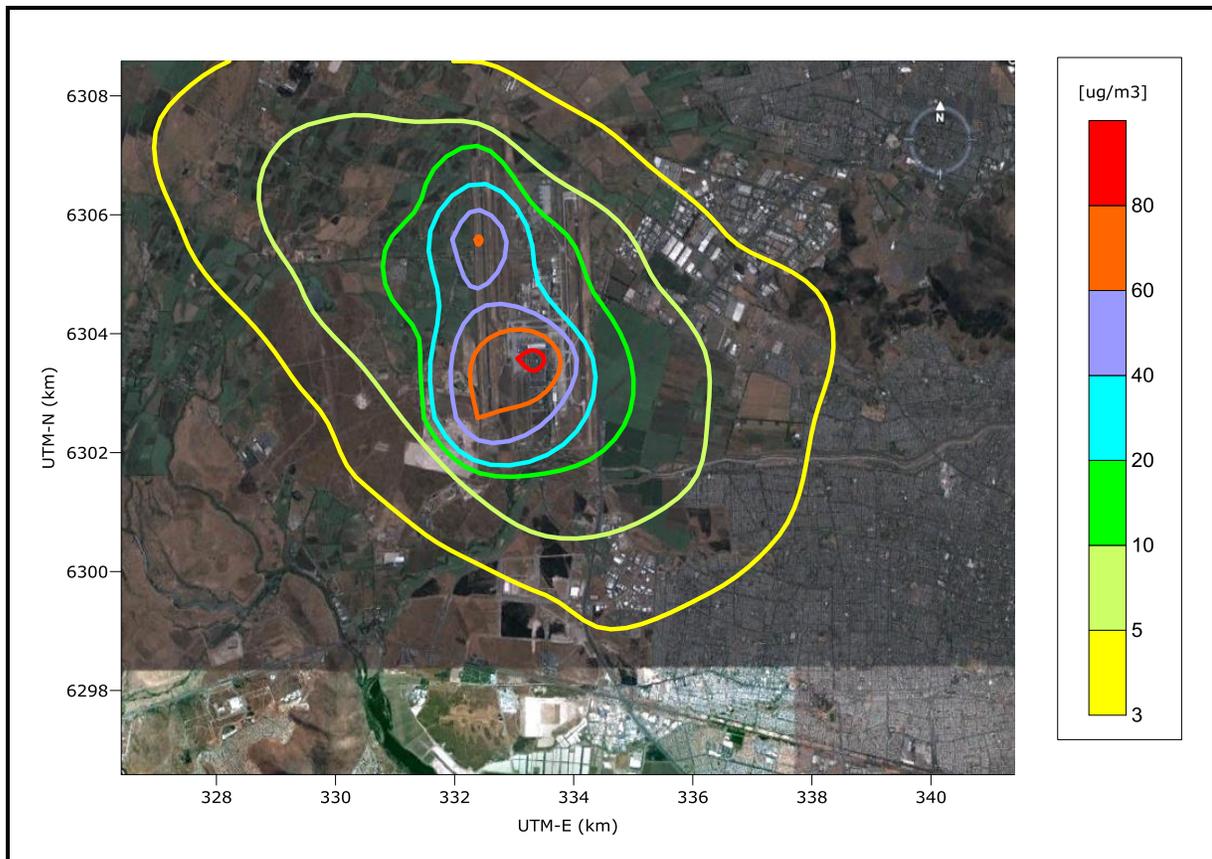
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 25
Percentil 99 Máximo Horario de NO₂, Escenario 2



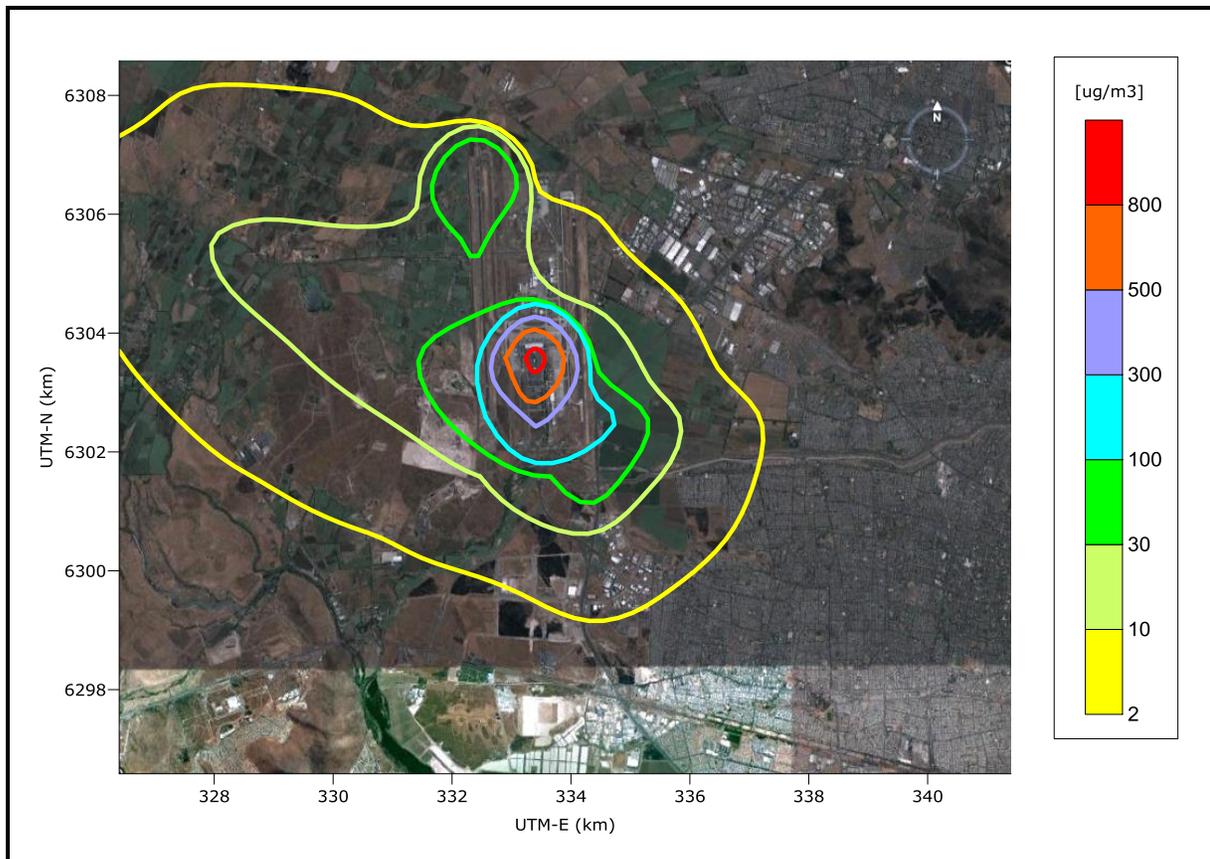
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 26
Promedio Periodo de NO₂, Escenario 2



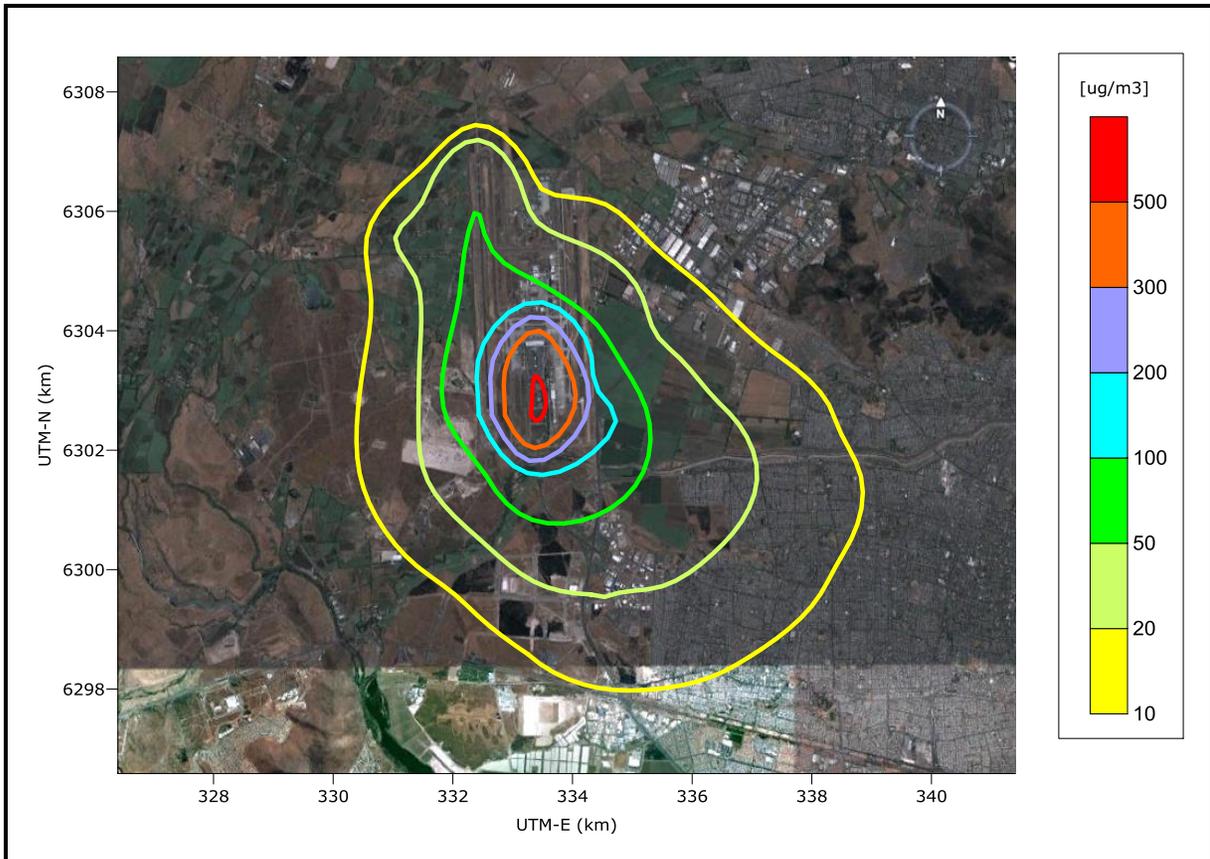
Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 27
Percentil 99 Máximo Horario de CO, Escenario 2



Fuente: Algoritmos, 2014.

Figura N° 28
Percentil 99 Máximo 8 Horas de CO, Escenario 2



Fuente: Algoritmos, 2014.

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 N° 1 como escenario N° 2 lo que representa en ambos al 61% de la situación actual.
- El NO_2 presenta un mayor aporte respecto a la situación actual, tanto para el promedio del periodo como el percentil 99 máximo horario, en ambos escenarios y los cuales se encuentran sobre la norma vigente para este contaminante.
- El CO presenta un menor aporte respecto de la situación actual, alcanzando como máximo, un 19% en ambos escenarios.
- En el caso del material particulado respirable MP_{10} , el mayor aporte respecto a lo monitoreado se presenta en el promedio del periodo, con un 2% en los dos escenarios.
- Respecto del material particulado $\text{MP}_{2,5}$ el mayor aporte respecto a lo monitoreado lo presenta el promedio del periodo, con un 4% en ambos escenarios.

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 N° 1 como escenario N° 2 alcanzando en ambos casos un 5,3%, 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 11,6% en ambos escenarios.

- Los aportes de CO, MP₁₀ y MP_{2,5} respecto de la situación actual, 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 y que corresponde a la Estación Pudahuel. El monóxido de carbono, el material particulado respirable MP₁₀ 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 NO₂ 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.