ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

PARQUE EÓLICO VIENTO PACIFICO VERDE

ANEXO 1.4: MODELACIÓN ATMOSFÉRICA

Región del Maule
2026

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN 1
2. INTRODUCCIÓN 2
3. OBJETIVOS 2
4. METODOLOGÍA 2
5. NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE 3
6. CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA 4
6.1 VELOCIDAD DEL VIENTO 5
6.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO 6
6.3 TEMPERATURA 9
6.4 HUMEDAD RELATIVA 10
6.5 PRESIÓN ATMOSFÉRICA 11
7. MODELO METEOROLÓGICO 12
7.1 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO METEOROLÓGICO 12
7.2 DOMINIO MODELACIÓN 12
7.3 EVALUACIÓN MODELO METEOROLÓGICO 16
7.3.1 VELOCIDAD DEL VIENTO 17
7.3.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO 19
7.3.3 TEMPERATURA 23
8 MODELO DE DISPERSIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS 26
8.1 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DEL AIRE 26
8.2 DOMINIO DE MODELACIÓN 26
8.3 RECEPTORES SENSIBLES 28
8.4 MODELO DE DISPERSIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS 33
8.5 RESULTADOS 35
8.5.1 RECEPTORES SENSIBLES 35
8.5.2 PUNTOS DE MÁXIMO IMPACTO 42
8.5.3 CURVAS DE CONCENTRACIÓN 43
8.5.4 SINERGIA EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS 60
8.5.5 ÁREA DE INFLUENCIA DE CALIDAD DEL AIRE 62
9 CONCLUSIONES 63
10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Normativa ambiental de calidad del aire 3

Tabla 6-1: Normativa primaria de calidad del aire 4

Tabla 6-2: Resumen estadístico monitoreo meteorológico estación Torre meteorológica VPV año 2024 5

Tabla 7-1: Características dominio de modelación WRF 12

Tabla 7-2: Definición usos de suelo dominio de modelación WRF 15

Tabla 7-3: Evaluación estadística velocidad del viento 19

Tabla 7-4: Evaluación estadística temperatura 25

Tabla 8-1: Coordenadas de receptores sensibles 29

Tabla 8-2: Emisiones totales del proyecto 33

Tabla 8-3: Emisiones atmosféricas fase de construcción – Año 1 33

Tabla 8-4: Concentración MPS, fase de construcción Año 1 35

Tabla 8-5: Concentración MP10, fase de construcción Año 1 36

Tabla 8-6: Concentración MP2.5, fase de construcción Año 1 37

Tabla 8-7: Concentración NO_2, fase de construcción Año 1 38

Tabla 8-8: Concentración CO, fase de construcción Año 1 39

Tabla 8-9: Concentración SO_2 primario, fase de construcción Año 1 40

Tabla 8-10: Concentración SO_2 secundario, fase de construcción Año 1 41

Tabla 8-11: Puntos de Máximo Impacto, fase de construcción Año 1 42

Tabla 8-12: Máximos aportes modelados sobre receptores – Proyecto Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA 60

Tabla 8-13: Máximos aportes modelados sobre receptores – Proyecto Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18 60

Tabla 8-14: Evaluación efecto sinérgico considerando los máximos aportes en los receptores del proyecto en evaluación y de los proyectos Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA. y Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/8 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6-1: Localización estación Torre meteorológica VPV 4

Figura 6-2: Serie de tiempo velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024 5

Figura 6-3: Ciclo diario velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024 6

Figura 6-4: Serie de tiempo dirección del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024 6

Figura 6-5: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, año 2024 7

Figura 6-6: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, año 2024 8

Figura 6-7: Serie de tiempo temperatura estación Torre meteorológica VPV, año 2024..... 9

Figura 6-8: Ciclo diario temperatura estación Torre meteorológica VPV, año 2024 9

Figura 6-9: Serie de tiempo humedad estación Torre meteorológica VPV, año 2024.....10

Figura 6-10: Ciclo diario humedad relativa estación Torre meteorológica VPV, año 2024 10

Figura 6-11: Serie de tiempo presión atmosférica estación Torre meteorológica VPV, año 2024 11

Figura 6-12: Ciclo diario presión atmosférica estación Torre meteorológica VPV, año 2024 11

Figura 7-1: Dominio de modelación WRF 13

Figura 7-2: Topografía dominio de modelación WRF 14

Figura 7-3: Usos de suelo dominio de modelación WRF 15

Figura 7-4: Serie de tiempo velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado.....17

Figura 7-5: Ciclo diario velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado.....18

Figura 7-6: Serie de tiempo dirección del viento estación Torre meteorológica VPV.....19

Figura 7-7: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado.....20

Figura 7-8: Serie de tiempo temperatura estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado 23

Figura 7-9: Ciclo diario temperatura estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado....24

Figura 8-1: Dominios de Modelación Calpuff 27

Figura 8-2: Dominios de Modelación Calpuff, acercamiento grilla 1 y grilla 2 28

Figura 8-3: Distribución espacial receptores sensibles Habitacionales 31

Figura 8-4: Distribución espacial receptores sensibles Fauna - Vegetación 32

Figura 8-5: Fuentes emisoras modeladas fase de construcción, sector proyecto 34

Figura 8-6: Puntos de máximo impacto, fase de construcción.....43

Figura 8-7: Curvas de concentración promedio anual diario de MPS, fase de construcción – Año 1 44

Figura 8-8: Curvas de concentración percentil 98 24 horas MP10, fase de construcción – Año 1...45

Figura 8-9: Curvas de concentración promedio anual MP10 área del proyecto, fase de construcción – Año1.....46

Figura 8-10: Curvas de concentración percentil 98 24 horas MP2.5, fase de construcción – Año1.47

Figura 8-11: Curvas de concentración promedio anual MP2.5, fase de construcción – Año1.....48

Figura 8-12: Curvas de concentración percentil 99 1 hora NO_2, fase de construcción – Año1.....49

Figura 8-13: Curvas de concentración percentil 99 24 horas NO_2, fase de construcción – Año1 50

Figura 8-14: Curvas de concentración anual NO_2, fase de construcción – Año1 51

Figura 8-15: Curvas de concentración percentil 99 1 hora CO, fase de construcción – Año1.....52

Figura 8-16: Curvas de concentración percentil 99 8 horas CO, fase de construcción – Año1 53

Figura 8-17: Curvas de concentración percentil 99 1 hora SO_2, fase de construcción – Año1.....54

Figura 8-18: Curvas de concentración percentil 99 24 horas SO_2, fase de construcción – Año1.....55

Figura 8-19: Curvas de concentración anual SO_2, fase de construcción – Año1.....56

Figura 8-20: Curvas de concentración percentil 99,7 en 24 horas SO_2, fase de construcción – Año1 57

Figura 8-21: Curvas de concentración percentil 99,73 en 1 hora SO_2, fase de construcción – Año1 58

Figura 8-22: Curvas de concentración anual SO_2, fase de construcción – Año1.....59

Figura 8-23: Área de Influencia Calidad del Aire 62

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1.4.1: Parametrización WRF (archivo digital)

Apéndice 1.4.2: Tasa de Emisión Calpuff (formato Excel)

Apéndice 1.4.3: Archivos de Modelación (archivo digital)

Apéndice 1.4.4: Curvas de concentración (formato kmz)

1. RESUMEN

En el presente informe se exponen los objetivos, metodología y resultados obtenidos para la modelación atmosférica para la fase de mayor emisión del proyecto “Parque Eólico Viento Pacifico Verde” emplazado en las comunas de Constitución y Chanco en la Región del Maule.

Las emisiones modeladas corresponden a las máximas emisiones de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) del proyecto, las cuales se generan en la fase de construcción (año 1). Para la fase de operación y fase de cierre, las emisiones serán inferiores y por lo tanto los aportes en concentración y depositación también serán menores.

La modelación de la dispersión de emisiones atmosféricas de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) se realizó en base a la utilización del modelo CALPUFF, aprobado por la Agencia de Protección Ambiental US-EPA y recomendado por la “Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023). El modelo meteorológico utilizado como input para realizar la modelación de calidad del aire del Proyecto, corresponde al Modelo WRF.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los aportes en concentración y depositación de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) obtenidos en los receptores sensibles para la fase de construcción del proyecto, se encuentran bajo los valores de la norma de calidad del aire primaria para cada contaminante evaluado.

Respecto del aporte en los puntos de máximo impacto, tanto para material particulado como para gases, no superan el valor de la norma respectiva.

Al evaluar el efecto sinérgico con los proyecto aprobados “Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA” y “Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18”, se observa que las concentraciones no superan los valores normados para cada contaminante evaluado, considerando como peor condición la suma de las máximas concentraciones aportadas por cada proyecto.

En base a lo anterior se descarta la generación o presencia de efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 5 y 6 del D.S N°40/ 2012 (última modificación D.S. 30/2023) por parte de las emisiones atmosféricas del proyecto Parque Eólico Viento Pacifico Verde”.

2. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exponen los objetivos, metodología y resultados obtenidos para la modelación atmosférica de las máximas emisiones generadas correspondiente al año 1 de la fase de construcción del proyecto "Parque Eólico Viento Pacifico Verde".

El Proyecto se emplazará en las comunas de Constitución y Chanco en la Región del Maule. El Proyecto considera la habilitación de un parque eólico compuesto por 22 aerogeneradores de hasta 7 MW de potencia cada uno, proyectando una potencia total instalada de 154 MW

La modelación de la dispersión de emisiones atmosféricas de material particulado se realizó en base a la utilización del modelo CALPUFF, aprobado por la Agencia de Protección Ambiental US-EPA y recomendado por la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

3. OBJETIVOS

Estimar el impacto de las concentraciones y depositación de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) producto de las emisiones generadas durante el año 1 de la fase de construcción del proyecto "Parque Eólico Viento Pacifico Verde" en los receptores sensibles más cercanos al Proyecto.

4. METODOLOGÍA

Para estimar las concentraciones y depositación de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) que serán percibidas en los receptores sensibles más cercanos al Proyecto, se consideró la siguiente metodología:

- Analizar la normativa ambiental aplicable para los contaminantes en evaluación.
- Caracterizar las condiciones meteorológicas del entorno del Proyecto.
- Describir y justificar el modelo meteorológico utilizado por el modelo de dispersión de emisiones atmosféricas.
- Describir y justificar el modelo de dispersión de emisiones atmosféricas.
- Describir y caracterizar las emisiones atmosféricas que serán utilizadas en el modelo de dispersión de emisiones atmosféricas.
- Analizar los resultados obtenidos del modelo de dispersión de emisiones atmosféricas, tomando en consideración la normativa ambiental aplicable.

5. NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE

La normativa ambiental aplicable al proyecto corresponde a la normativa primaria para material particulado (MP10 y MP2.5) y gases (CO, NO_2 y SO_2) y a la normativa secundaria de referencia para material particulado sedimentable (MPS).

En cuanto a la normativa secundaria de MPS, en el área de estudio del Proyecto no existe normativa específica que regule las concentraciones ambientales de material particulado sedimentable MPS, sin embargo, se considera como referencia lo señalado por la "Ordenanza Sobre Control de Contaminantes del Aire" de la Confederación Suiza, tomando como base a la guía "Criterio de Evaluación en el SEIA: Uso de normas de referencia" (SEA, 2024), dentro de la cual se definen los criterios para determinar el uso de norma de referencias.

Como primer criterio en orden jerárquico se considera el objeto de protección. Por definición el objeto de protección de la norma de referencia de la Confederación Suiza es proteger a los seres humanos, animales, plantas, sus comunidades biológicas y hábitats, y al suelo, de los efectos nocivos o trastornos producidos por la contaminación del aire. Lo anterior coincide con el objeto de protección del presente estudio.

En cuanto al segundo criterio que tiene relación con la actividad regulada, la norma de MPS de la Confederación Suiza, regula fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos existentes o a instalarse. Las principales emisiones del Proyecto corresponden a las generadas por el tránsito de vehículos y movimiento de tierra, cuyo principal contaminante atmosférico es el material particulado.

Tabla 5-1: Normativa ambiental de calidad del aire

Tipo de normativa	Contaminante	Estadístico	Valor límite	Referencia
Primaria	MP10	Percentil 98 promedio diario	130 µg/m^{3}N	D.S. N°12/2021 MMA
		Promedio anual	50 µg/m^{3}N	
	MP2.5	Percentil 98 promedio diario	50 µg/m^3	D.S. N°12/2011 MMA
		Promedio anual	20 µg/m^3	
	NO_2	P99 promedio horario	200 µg/m^{3}N	D.S. N°40/2023 MMA
		P99 promedio diario	100 µg/m^{3}N	
		Promedio anual	40 µg/m^{3}N	
	CO	Percentil 99 máximo horario diario	30.000 µg/m^{3}N	D.S. N°115/2002 MINSEGPRES
		Percentil 99 máximo 8 horas diario	10.000 µg/m^{3}N	
	SO_2	P99 promedio horario	350 µg/m^{3}N	D.S. N°104/2018 MMA
		P99 promedio diario	150 µg/m^{3}N	
		Promedio anual	60 µg/m^{3}N	
Secundaria	MPS	Promedio diario anual	200 mg/m^2-día	Norma de referencia de la Confederación Suiza

Fuente: ModeloSimple 2026.

6. CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA

Para realizar la caracterización meteorológica del entorno del proyecto se utilizó la información meteorológica registrada en la Torre meteorológica del proyecto. En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de la estación meteorológica.

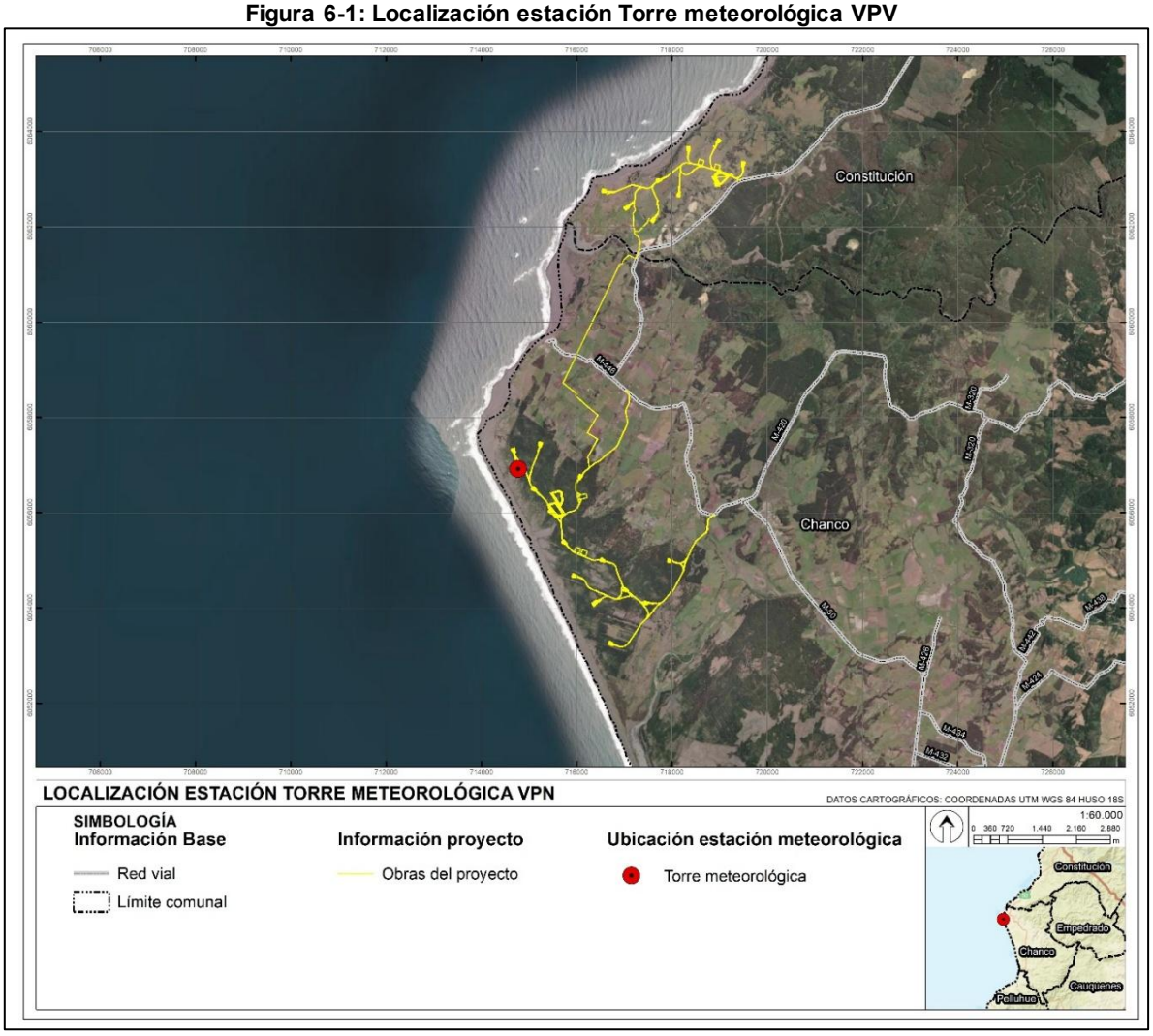
Tabla 6-1: Normativa primaria de calidad del aire

Estación	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19	
	Este (m)	Norte (m)
Torre meteorológica VPV	714.773	6.056.917

Fuente: ModeloSimple 2026.

En la siguiente figura se presenta la localización de la estación respecto del proyecto.

Figura 6-1: Localización estación Torre meteorológica VPV



Fuente: ModeloSimple 2026.

De la estación Torre meteorológica VPV se analizaron las principales variables meteorológicas,

correspondientes a velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, y presión atmosférica. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las variables meteorológicas monitoreadas para el periodo 2024.

Tabla 6-2: Resumen estadístico monitoreo meteorológico estación Torre meteorológica VPV año 2024

Estadísticas	Variables				
	Velocidad del Viento	Dirección del Viento	Temperatura	Humedad Relativa	Presión
Unidad de medición	m/s	°	°C	%	mBar
Número de registros de la estación (datos período)	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784
Número de datos medidos y validados	8.783	8.783	8.784	8.784	8.784
Porcentaje de datos válidos	99,99%	99,99%	100,00%	100,00%	100,00%
Mínimo	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	5,41	168,63	11,56	95,00	1.014,26
Máximo	20,16	360,00	19,20	107,00	1.027,20

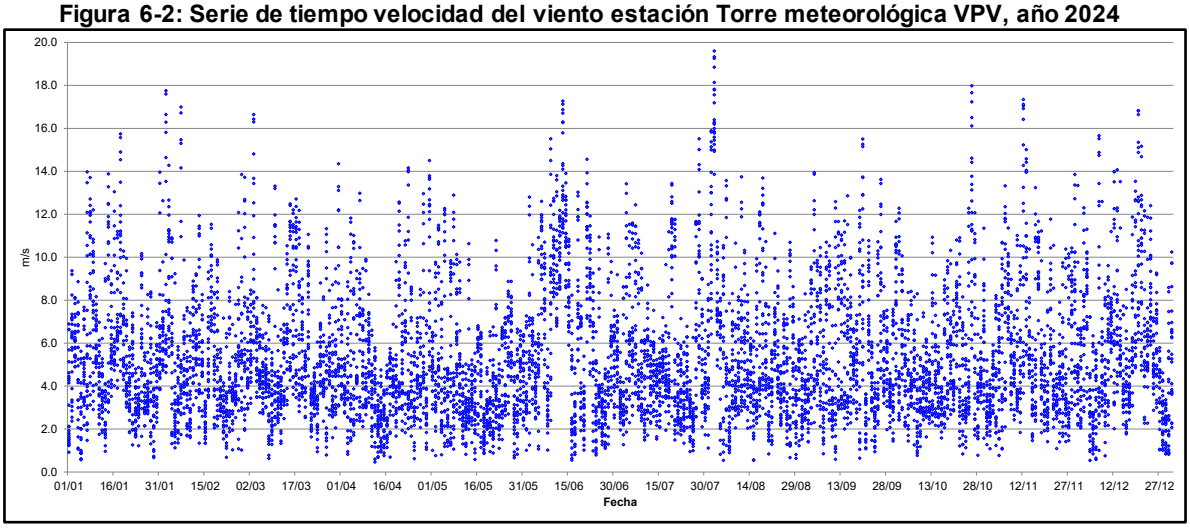
Fuente: ModeloSimple 2026.

A continuación, se presenta el análisis por cada variable meteorológica medida para el periodo enero-diciembre 2024 en la estación meteorológica Torre meteorológica VPV.

6.1 VELOCIDAD DEL VIENTO

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo de la velocidad del viento medida en la estación Torre meteorológica VPV, para el periodo enero-diciembre 2024.

Figura 6-2: Serie de tiempo velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024

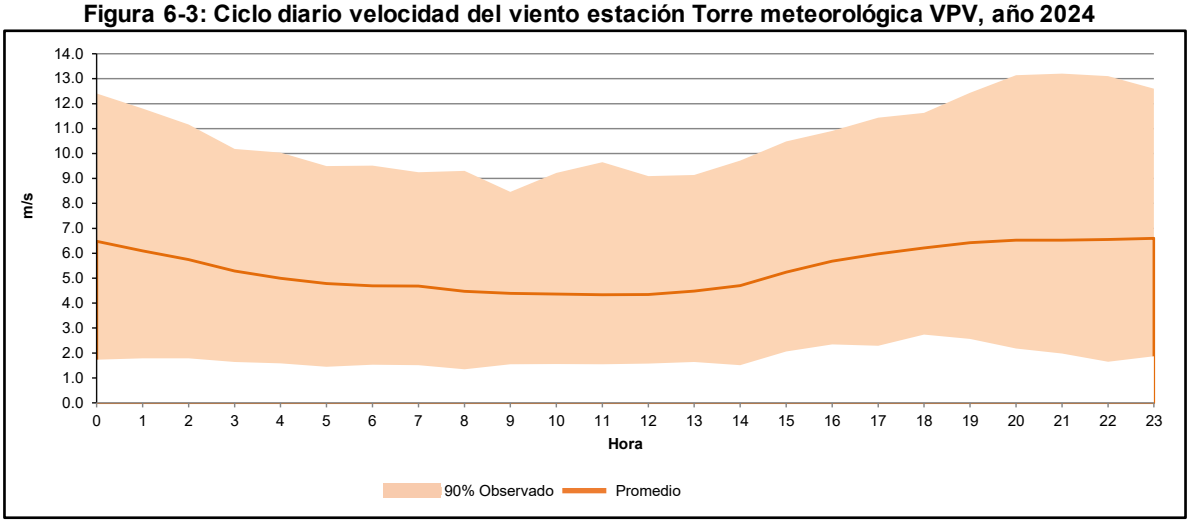


Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa en la figura anterior la tendencia general de la velocidad del viento alcanza intensidades sobre 10 m/s principalmente en el periodo de otoño invierno, mientras que en el periodo de primavera verano es un poco inferior, con promedios en torno a los 5 m/s. Se observa una alta disponibilidad de datos para el año evaluado.

En la siguiente figura se presenta el ciclo diario de la velocidad del viento monitoreado en la estación Torre meteorológica VPV para el periodo enero-diciembre 2024.

Figura 6-3: Ciclo diario velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024



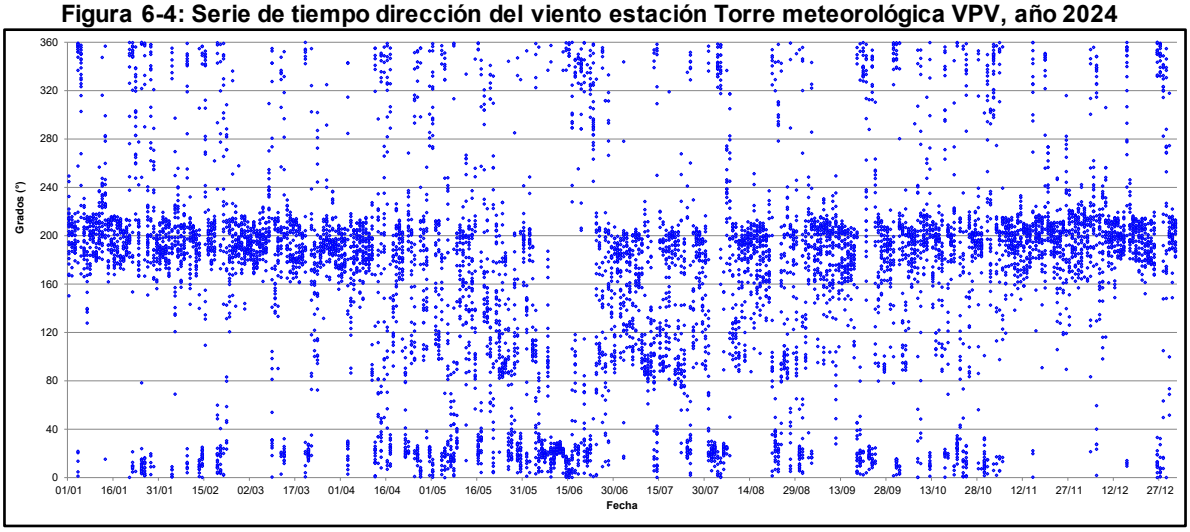
Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa en la figura anterior, el ciclo diario de la velocidad del viento en la estación presenta las menores intensidades entre la 00:00 y las 06:00 horas, posteriormente dichas intensidades aumentan levemente hasta alcanzar su valor máximo promedio de aproximadamente 6,6 (m/s) entre las 21:00 y 23:00 horas, para luego disminuir nuevamente durante la noche.

6.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo correspondiente a la dirección del viento monitoreado en la estación Torre meteorológica VPV para el periodo enero-diciembre 2024.

Figura 6-4: Serie de tiempo dirección del viento estación Torre meteorológica VPV, año 2024

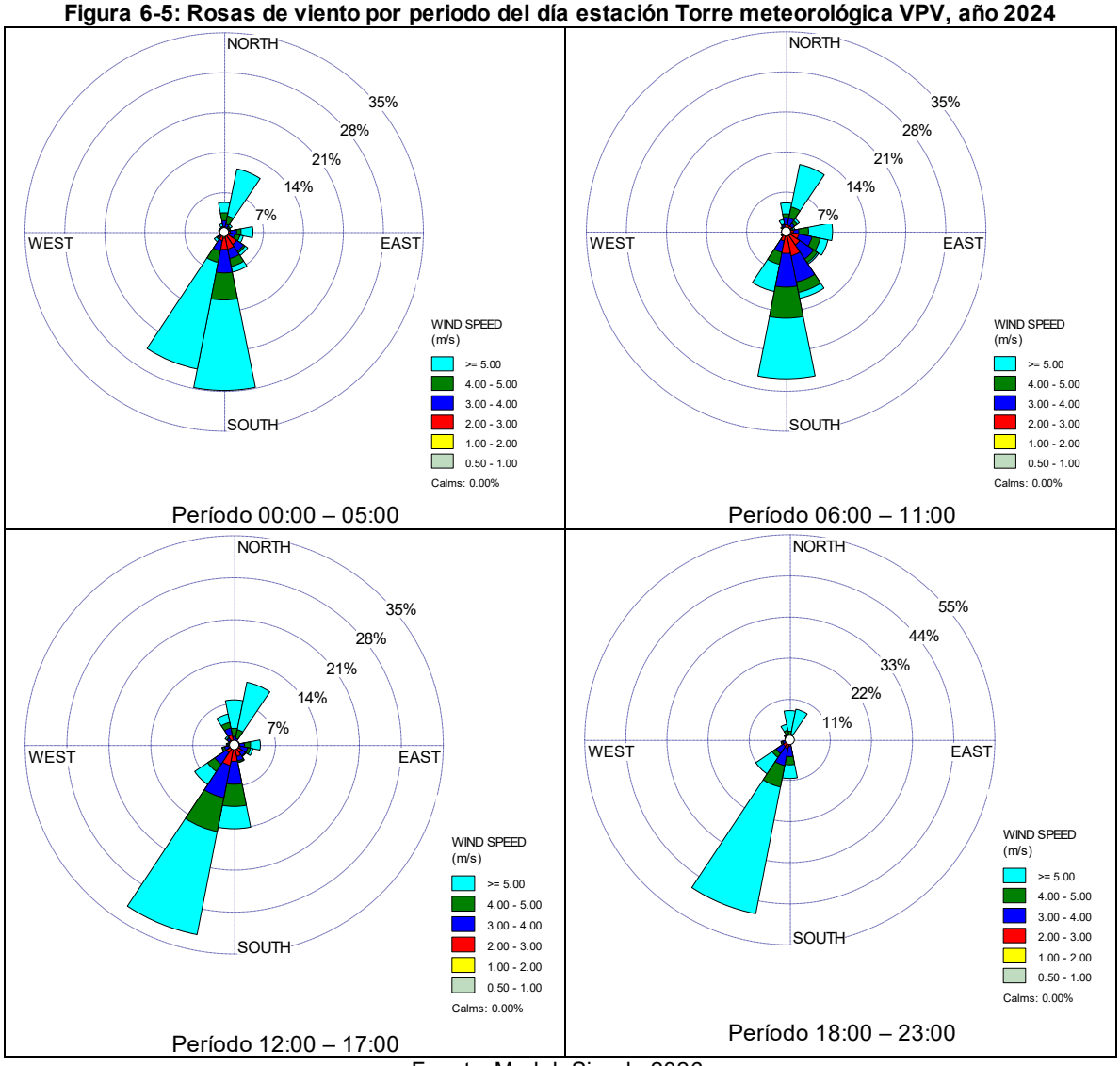


Fuente: ModeloSimple 2026.

La serie de tiempo de la dirección del viento en la estación Torre meteorológica VPV presenta una predominancia de vientos de componente principalmente sur suroeste y sur.

En la siguiente figura se presentan las rosas de viento para distintos períodos del día para la estación meteorológica Torre meteorológica VPV.

Figura 6-5: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, año 2024



Fuente: ModeloSimple 2026.

De la figura anterior, se observa que durante las primeras horas del día se presentan fuertes vientos llegando a superar los 5 m/s, con predominancia de vientos sur y sur suroeste, y algunas componentes nor noreste y sureste. No existe vientos inferiores a los 0,5 m/s (vientos calmas).

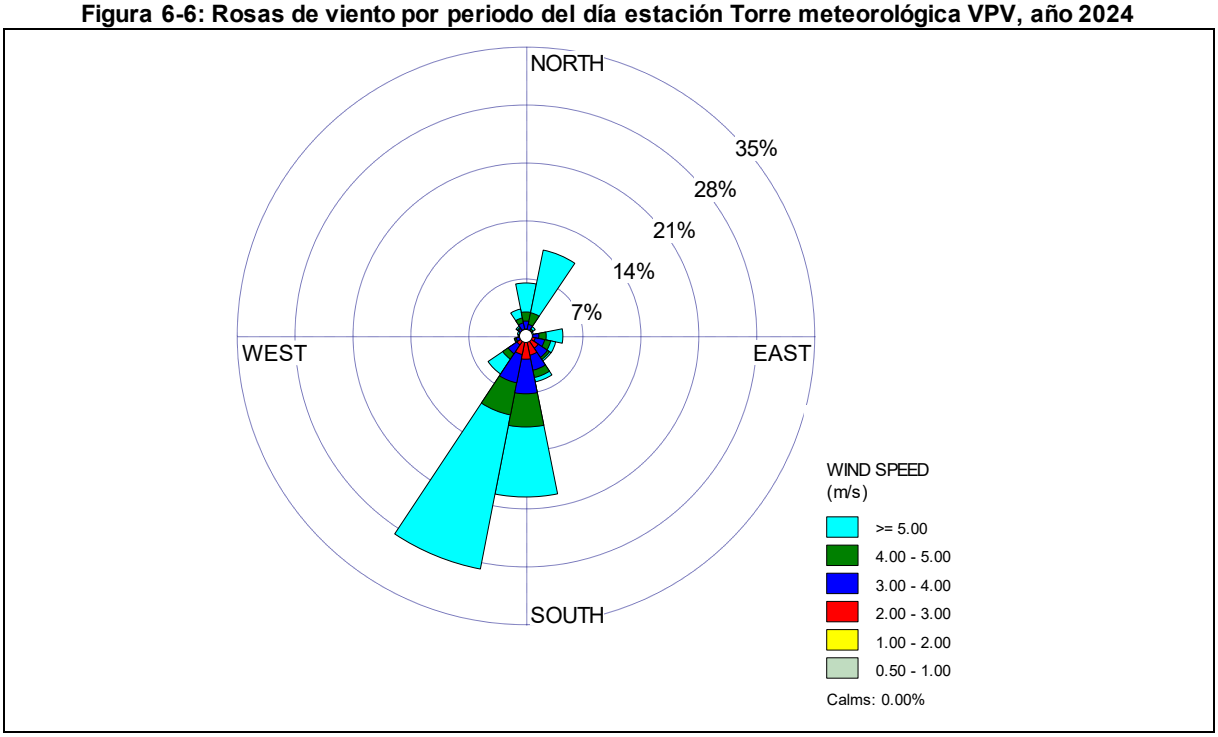
Entre las 06:00 y las 11:00 horas se observa que la intensidad del viento mantiene la predominancia de vientos de componente sur y sur suroeste incrementándose los vientos sur sureste con intensidades predominantes a partir de los 4,0 m/s.

A partir de las 12:00 y hasta las 17:00 horas se observa la predominancia de vientos sur suroeste y sur con algunas componentes norte con intensidades a partir de los 4,0 m/s.

Finalmente, para el periodo entre las 18:00 y 23:00 horas se observa predominancia de vientos sur suroeste con intensidades bastantes alto que superan los 5 m/s.

En la siguiente figura se presenta la rosa de vientos para el periodo enero – diciembre 2024 en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 6-6: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, año 2024



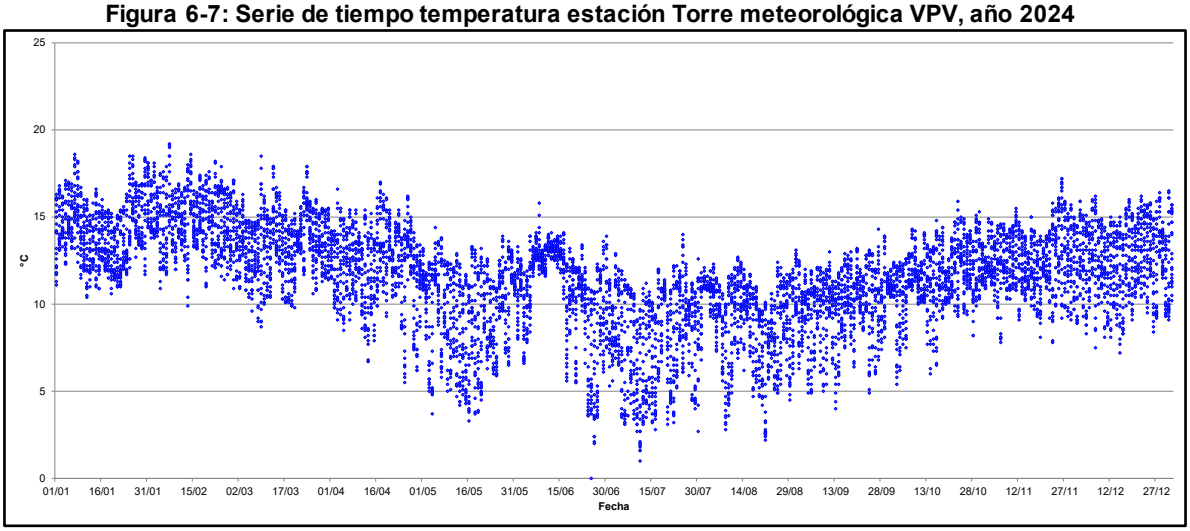
Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como muestra la rosa de vientos en la estación Torre meteorológica VPV, la dirección de viento predominante es de componente sur suroeste seguido por vientos de componente sur cuyas intensidades se encuentran principalmente sobre los 5,0 m/s. Se observan algunas componentes norte con intensidades que también superan los 5,0 m/s. No se observan vientos calmos.

6.3 TEMPERATURA

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo para los valores monitoreados de temperatura durante el año 2024 en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 6-7: Serie de tiempo temperatura estación Torre meteorológica VPV, año 2024

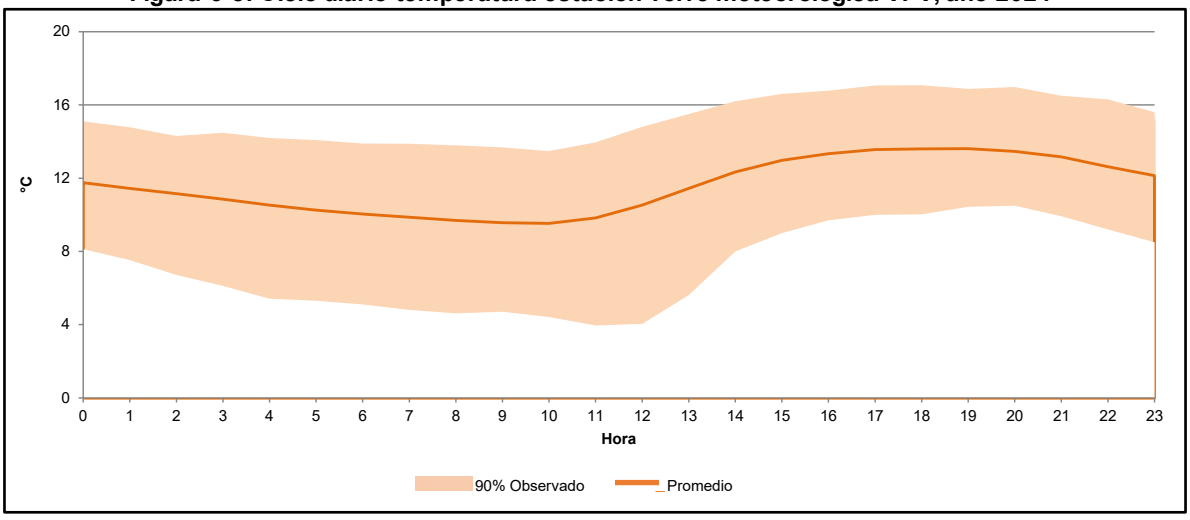


Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa el comportamiento de la temperatura ambiental durante el año 2024 muestra que los valores aumentan en los meses de primavera y verano y disminuyen durante los meses de otoño e invierno. La temperatura máxima alcanza los 19,2°C registrada en el mes de febrero, mientras que las mínimas son cercanas a los 1°C en el mes de julio.

A continuación, se presenta el ciclo diario de la temperatura durante el periodo 2024.

Figura 6-8: Ciclo diario temperatura estación Torre meteorológica VPV, año 2024



Fuente: ModeloSimple 2026.

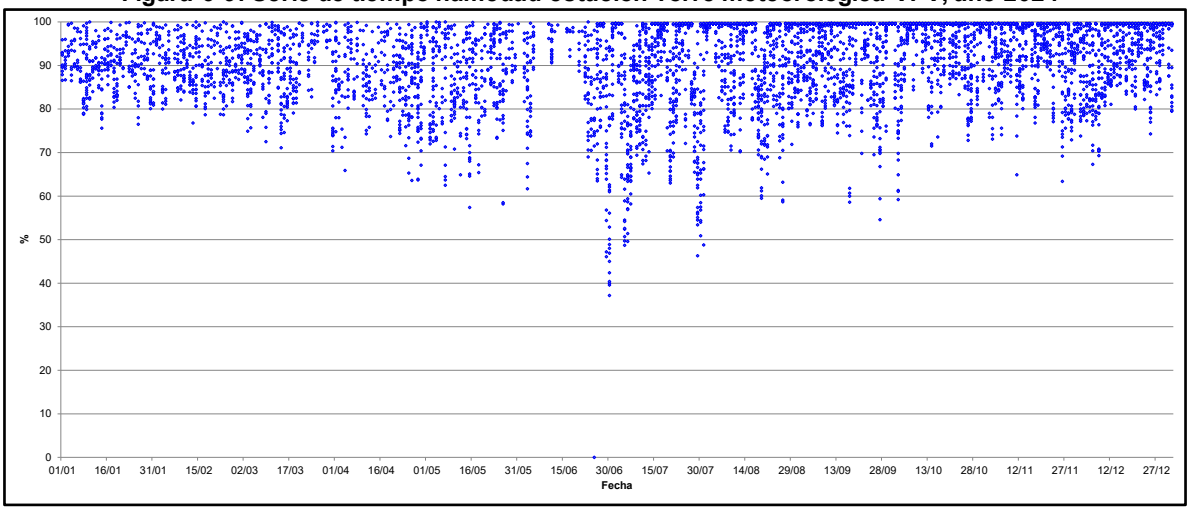
FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

En base al ciclo diario de la temperatura registrado en la estación Torre meteorológica VPV, las mínimas promedio de temperatura se presentan durante la noche, mientras que las máximas promedio se presentan entre las 15:00 y 19:00 horas, cercano a los 14°C.

6.4 HUMEDAD RELATIVA

En las siguientes figuras se presenta la serie de tiempo para los valores monitoreados de humedad relativa en la estación Torre meteorológica VPV en el período 2024.

Figura 6-9: Serie de tiempo humedad estación Torre meteorológica VPV, año 2024

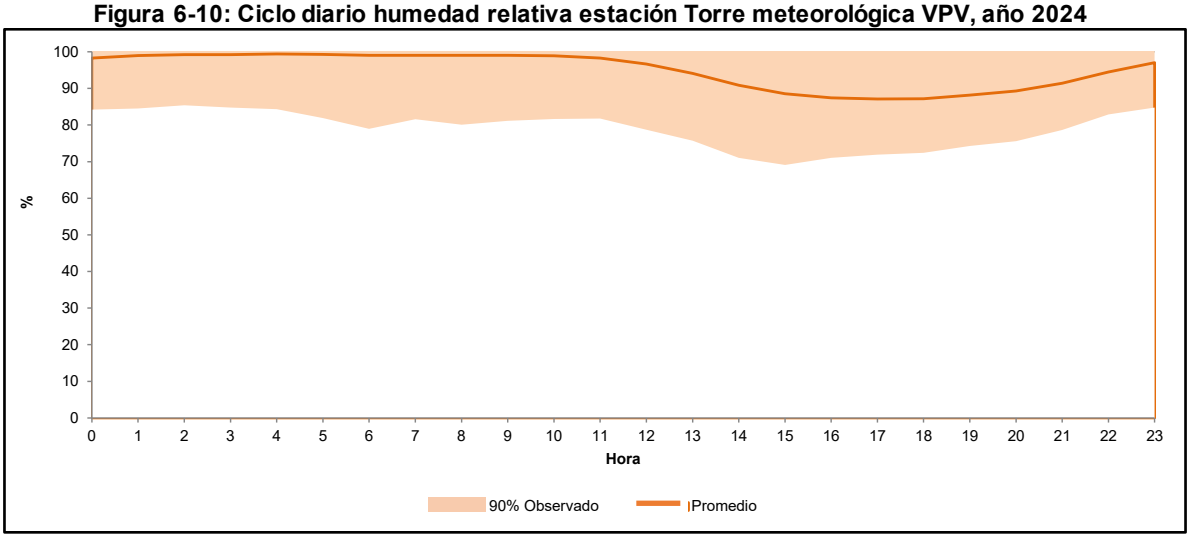


Fuente: ModeloSimple 2026.

De la humedad relativa monitoreada en el periodo 2024 en la estación Torre meteorológica VPV, se observa que en el periodo primavera verano la humedad relativa oscila entre un 70% y un 100%, mientras que en el periodo otoño invierno oscila entre 60% y 100%.

En cuanto al comportamiento diario de dicha variable, en la siguiente figura se presenta el ciclo diario en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 6-10: Ciclo diario humedad relativa estación Torre meteorológica VPV, año 2024



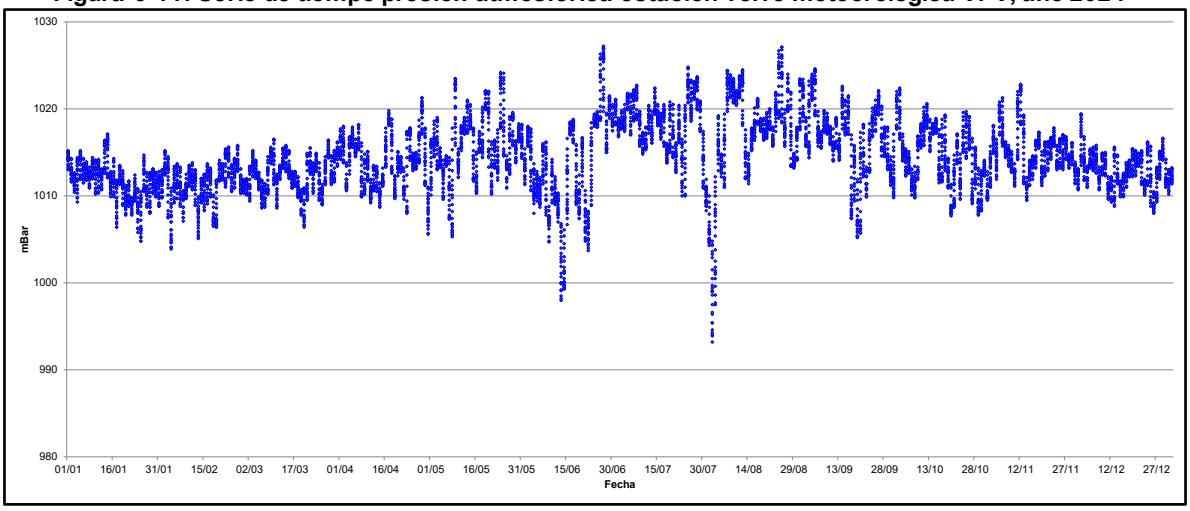
Fuente: ModeloSimple 2026.

En cuanto a la humedad relativa promedio diaria observada en la estación Torre meteorológica VPV, ésta presenta altos valores durante todas las horas del día dada la cercanía al mar, con una leve disminución a partir del mediodía, momento en el que suben las temperaturas.

6.5 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo para los valores monitoreados de presión atmosférica en la estación Torre meteorológica VPV en el período 2024.

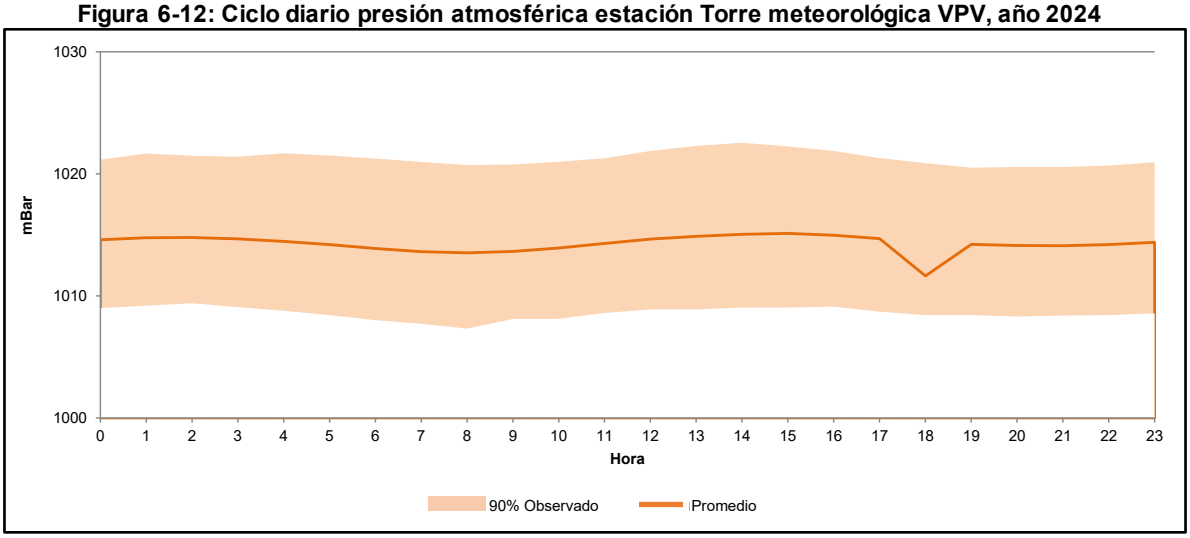
Figura 6-11: Serie de tiempo presión atmosférica estación Torre meteorológica VPV, año 2024



Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa, en la estación Torre meteorológica VPV la serie de tiempo de la presión atmosférica muestra un incremento de los valores de presión atmosférica en el periodo otoño invierno, mientras que se produce una disminución de éstos en el periodo primavera verano. En cuanto al comportamiento diario de la presión atmosférica, en la siguiente figura se presenta el ciclo diario en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 6-12: Ciclo diario presión atmosférica estación Torre meteorológica VPV, año 2024



Fuente: ModeloSimple 2026.

FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

En cuanto al ciclo diario de la presión atmosférica, se observa que en promedio ésta se mantiene en valores que oscilan entre 1.010 y 1.020 mBar.

7. MODELO METEOROLÓGICO

7.1 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO METEOROLÓGICO

El modelo meteorológico utilizado como input para realizar la modelación de calidad del aire del Proyecto, corresponde al Modelo WRF.

El modelo llamado Weather Research and Forecasting (WRF) es un modelo numérico de área limitada de última generación diseñado para la investigación y la predicción numérica del tiempo meteorológico. Este modelo permite simulaciones tanto de condiciones atmosféricas reales (a través de análisis y observaciones) como idealizadas, a diferentes escalas. Dada su flexibilidad y constantes mejoras, el modelo WRF actualmente es uno de los modelos de mayor uso en diversos centros meteorológicos y de investigación alrededor del mundo.

Se recomienda el uso del modelo WRF en la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" (2023).

7.2 DOMINIO MODELACIÓN

En la siguiente tabla se presenta el dominio de modelación del modelo WRF.

Tabla 7-1: Características dominio de modelación WRF

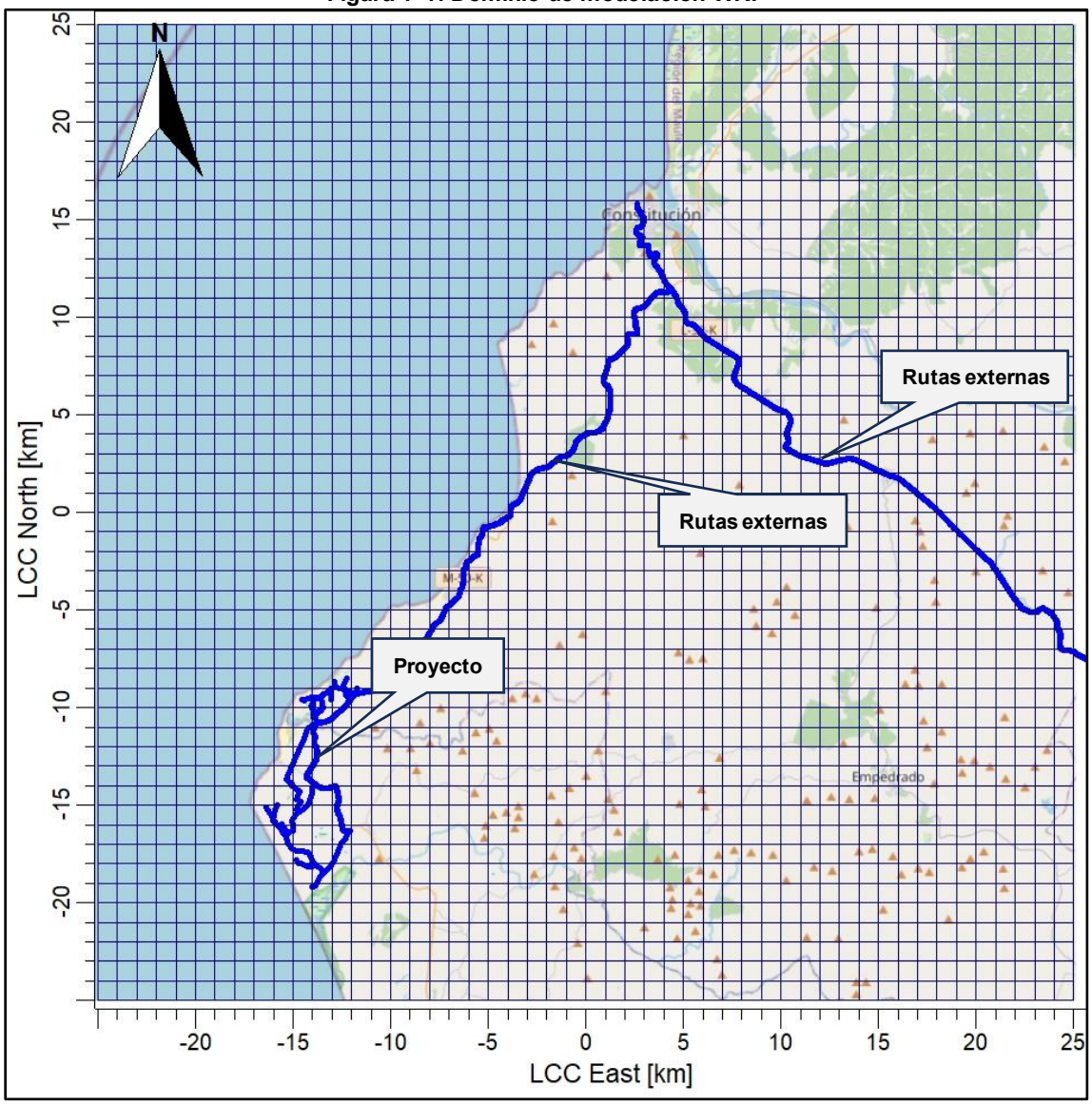
Periodo Modelado	Enero - Diciembre 2024
Latitud del origen del dominio	35,469 S
Longitud del origen del dominio	72,449 W
Proyección	LCC
Datum	NWS-84
Resolución	1 km
Tamaño del dominio	50 x 50 km

Fuente: ModeloSimple 2026.

En Apéndice 1.4.1 se adjuntan los parámetros utilizados en la configuración del modelo WRF.

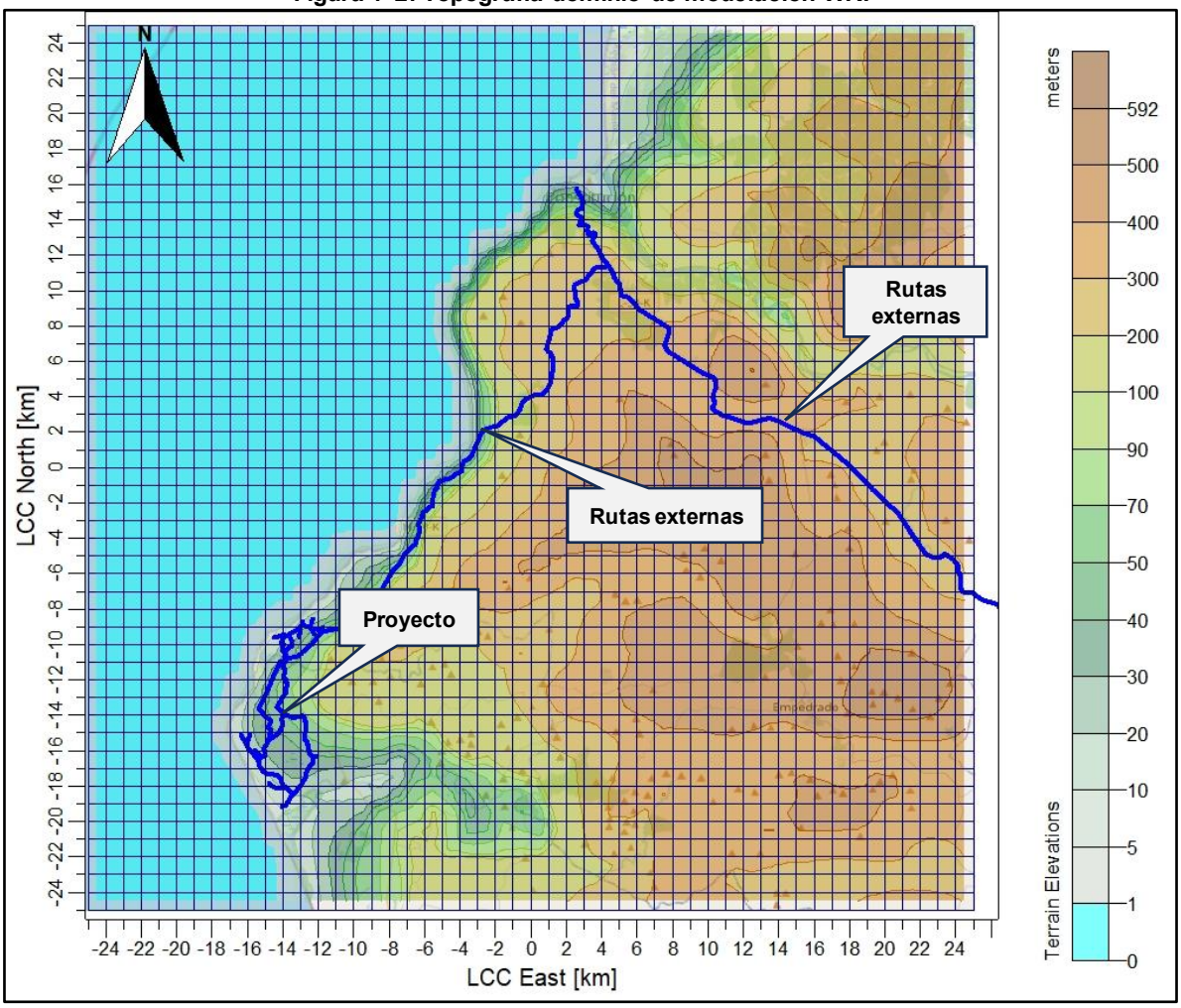
En las siguientes figuras se presenta el dominio de modelación del modelo WRF, la topografía del área modelada y los usos de suelo del área modelada.

Figura 7-1: Dominio de modelación WRF



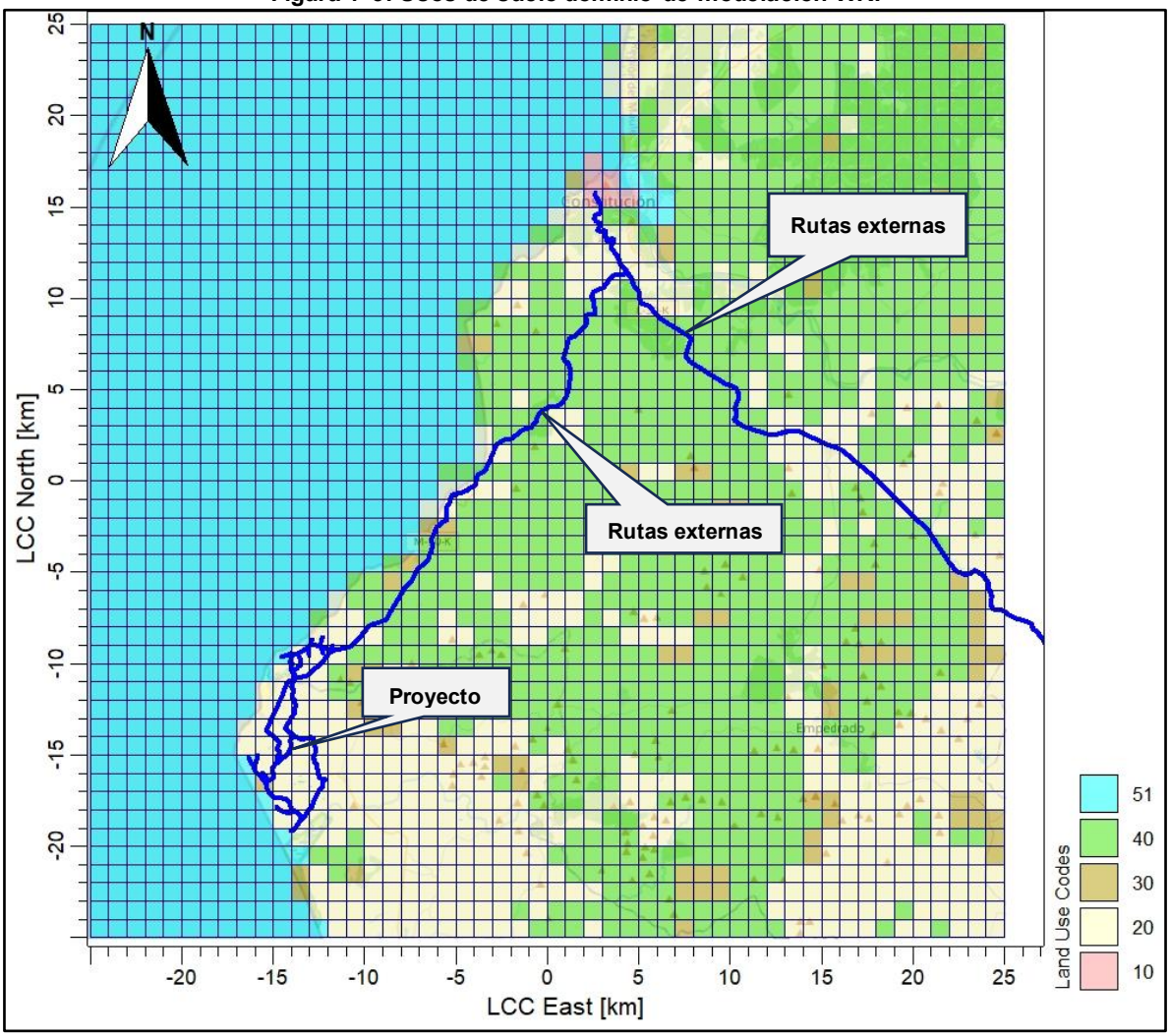
Fuente: ModeloSimple 2026.

Figura 7-2: Topografía dominio de modelación WRF



Fuente: ModeloSimple 2026.

Figura 7-3: Usos de suelo dominio de modelación WRF



Fuente: ModeloSimple 2026.

Los usos de suelo corresponden a los presentados en la siguiente tabla.

Tabla 7-2: Definición usos de suelo dominio de modelación WRF

Código	Uso de suelo	Rugosidad superficial Z0 (m)	Albedo	Razón de Bowen
10	Suelo mixto urbano o urbanizado	1,000	0,180	1,500
20	Tierras de cultivo y pastos	0,250	0,150	1.000
30	Pastizales de arbustos y matorrales	0,050	0,250	1,000
40	Terreno forestal mixto	1,000	0,100	1,000
51	Agua	0,001	0,100	0,000

Fuente: ModeloSimple 2026.

7.3 EVALUACIÓN MODELO METEOROLÓGICO

Para evaluar el desempeño de la modelación meteorológica realizada mediante el modelo WRF, se analizan los datos medidos en la estación Torre meteorológica VPV y se comparan con los datos modelados para la coordenada (x,y) dentro de la grilla de modelación en la cual se emplaza la estación Torre meteorológica VPV. Las variables meteorológicas evaluadas corresponden a velocidad y dirección del viento y temperatura.

Para la evaluación cualitativa se presentan gráficos con la serie de tiempo y ciclos diarios, mientras que para la evaluación cuantitativa se evalúan las métricas estadísticas tales como el sesgo (S), error cuadrático medio (ECM) y el coeficiente de correlación (r), los cuales se describen a continuación:

Sesgo (S): Representa la tendencia del modelo a sobrestimar o subestimar las condiciones reales. Para valores negativos el modelo tiende a subestimar el valor de las variables modeladas, mientras que, para valores positivos, el modelo tiende a sobreestimar.

$$S = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(M_i - O_i)$$

Error absoluto medio (MAE): Corresponde a la diferencia entre el valor pronosticado y el valor observado en cada punto pronosticado.

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|M_i - O_i|$$

Error cuadrático medio (ECM): Estima la frecuencia de las diferencias entre los valores observados y modelados, siendo especialmente sensible a los valores atípicos, por lo tanto, a mayor diferencia entre estos valores menor será el grado de ajuste de este estadístico.

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

Coeficiente de Correlación (r): Entrega una medida de la relación lineal entre la variable modelada y la observada. El valor del coeficiente se encuentra entre -1 y 1. Para el caso de la modelación, entre más cercano a 1, mejor es la capacidad del modelo de representar las condiciones atmosféricas.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})^2}}$$

Donde:

Mi : Variable modelada.

Oi : Variable observada.

$\bar{M}$: Promedio variables modeladas.

$\bar{O}$: Promedio variables observadas.

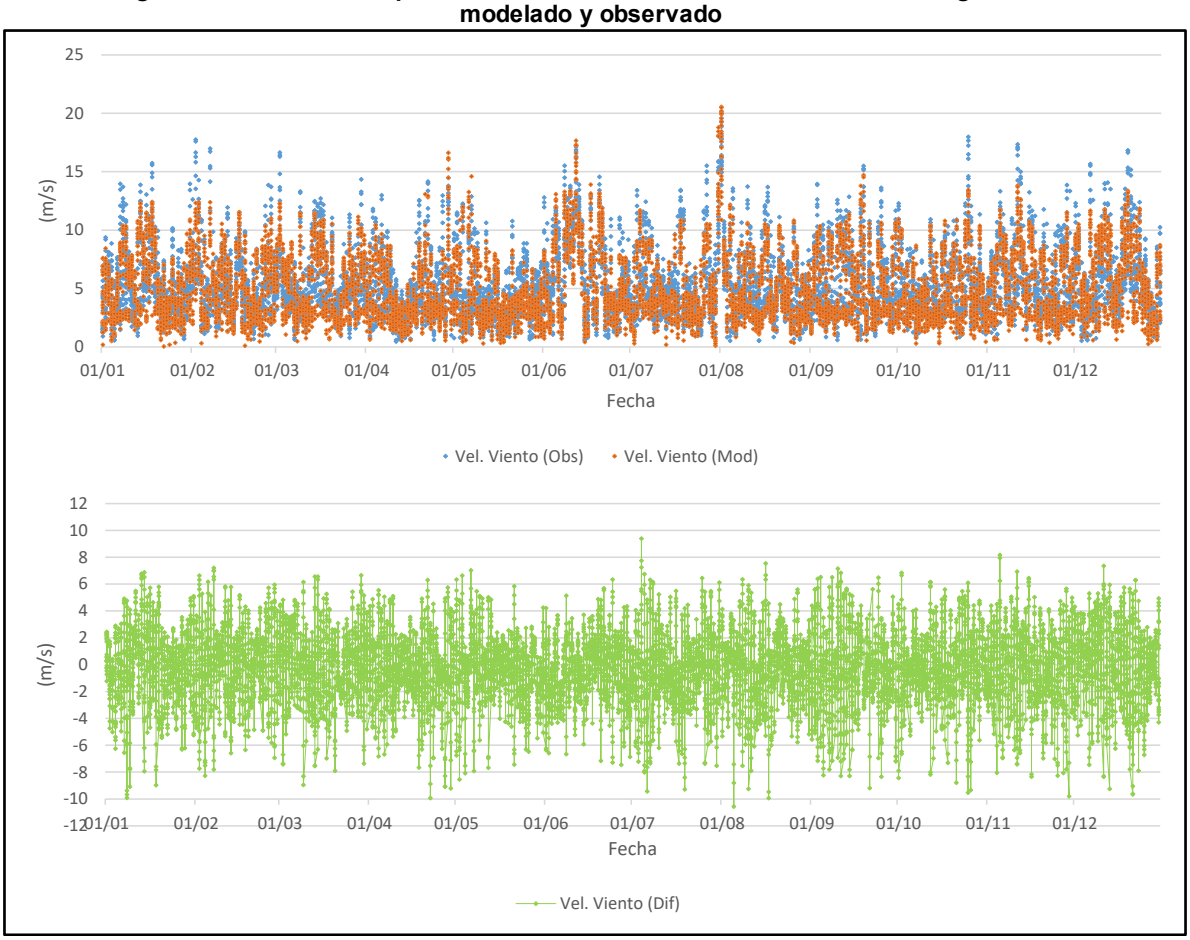
N : Total de datos evaluados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las variables analizadas.

7.3.1 VELOCIDAD DEL VIENTO

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo para la velocidad del viento, contrastando los valores observados (puntos de color celeste) con los valores modelados en WRF (puntos de color naranjo) en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 7-4: Serie de tiempo velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado



Fuente: ModeloSimple 2026.

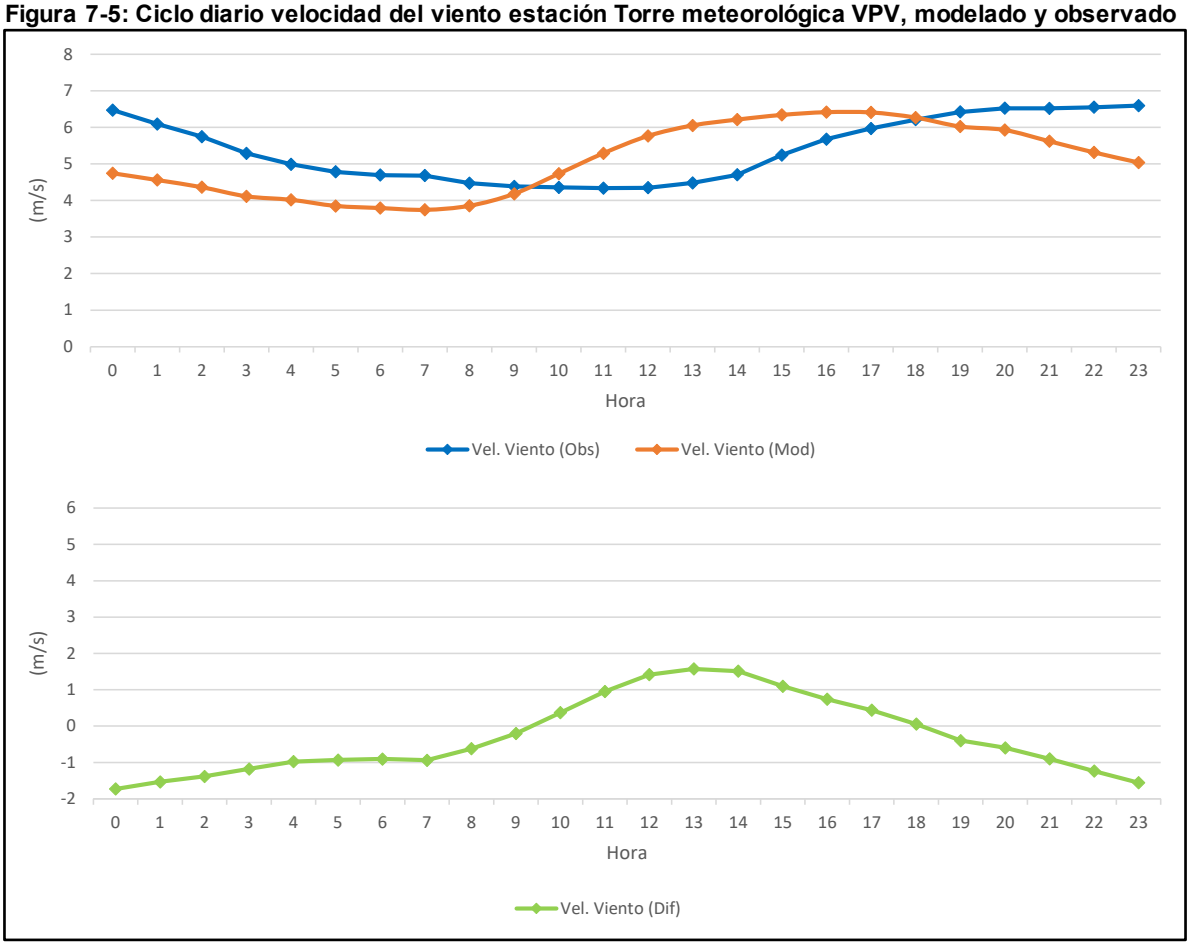
Tal como se observa en la figura anterior los valores de velocidad del viento modelados (puntos de color naranjo) presentan un comportamiento similar a los datos monitoreados (puntos de color

celeste) en la estación Torre meteorológica VPV, cuyas intensidades modeladas subestiman a los valores observados principalmente los primeros meses del año, posteriormente se observa que en los meses de otoño invierno el modela sobrestima algunos valores de velocidad del viento.

En términos generales, se tiene que la diferencia en magnitud entre los valores modelados con los observados se encuentra principalmente entre -4 m/s y 4 m/s. Las diferencias con valores positivos indican que el modelo WRF sobreestimó las magnitudes de la velocidad del viento respecto a los valores observados, mientras que los valores negativos indican que el modelo subestimó las magnitudes de la velocidad del viento respecto de los valores observados.

En la siguiente figura se presenta el ciclo diario de la velocidad del viento tanto para los valores observados (color azul) como para los valores modelados (color naranjo).

Figura 7-5: Ciclo diario velocidad del viento estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado



Fuente: ModeloSimple 2026.

En la figura anterior se observa que el modelo subestima la velocidad del viento promedio horario diario durante las primeras horas del día y en horas de la noche, mientras que en el horario entre las 10:00 y 17:00 horas el modelo sobrestima levemente la velocidad del viento promedio horario diario en la estación Torre meteorológica VPV.

La velocidad promedio del viento observada en la estación Torre meteorológica VPV es de 5,41 m/s mientras que la velocidad promedio del viento modelada es de 5,12 m/s.

En cuanto a las medidas estadísticas evaluadas, en la Tabla 7-3 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 7-3: Evaluación estadística velocidad del viento

Estadístico	Valores obtenidos Estación Torre meteorológica VPV	Valores recomendados[1]
Sesgo (S)	-0,29 (m/s)	-2,5 - 2,5 (m/s)
Error medio absoluto (MAE)	0,29 (m/s)	≤3 (m/s)
Error cuadrático medio (ECM)	2,72 (m/s)	≤3,5 (m/s)
Coeficiente de correlación (r)	0,61	>0,6

Fuente: ModeloSimple 2026.

De la tabla anterior se observa que el valor del sesgo presenta valores negativos, por lo tanto y tal como se señaló anteriormente el modelo meteorológico subestima levemente los valores de velocidad del viento en el punto en el cual se ubica la estación Torre meteorológica VPV.

Al observar el error medio absoluto (MAE) y el error cuadrático medio (ECM), se observa que ambos se encuentran dentro del rango de los valores recomendados.

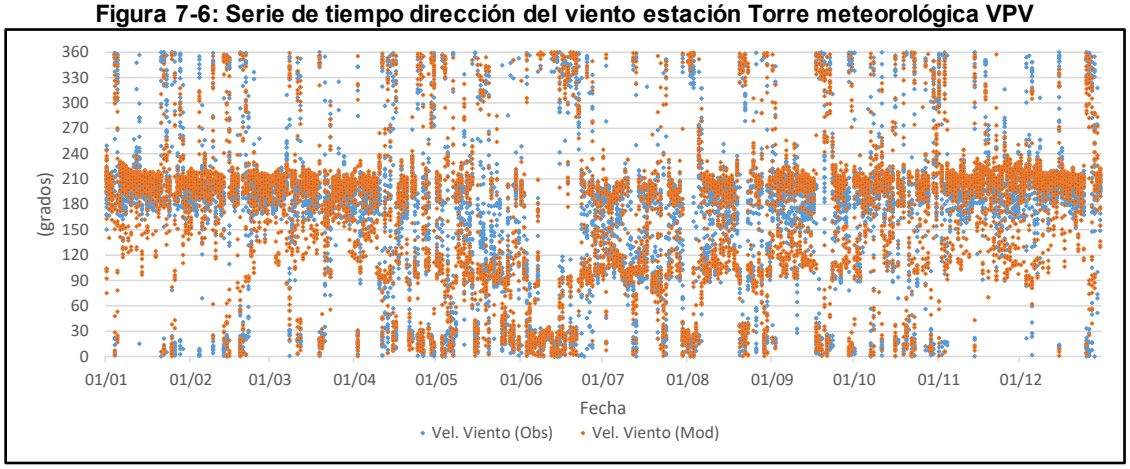
Finalmente, el coeficiente de correlación (r), presenta un valor cercano a 0,6 lo cual representa un buen ajuste del modelo meteorológico WRF respecto de los valores monitoreados en la estación Torre meteorológica VPV.

De los resultados obtenidos de las diferentes métricas evaluadas y al compararlos con los valores recomendados por la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, se observa que éstos se encuentran dentro de los rangos esperados y por lo tanto se puede concluir que el modelo presenta un buen ajuste respecto de la variable velocidad del viento.

7.3.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo para la dirección del viento, contrastando los valores observados (puntos de color celeste) con los valores modelados en WRF (puntos de color naranjo) en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 7-6: Serie de tiempo dirección del viento estación Torre meteorológica VPV



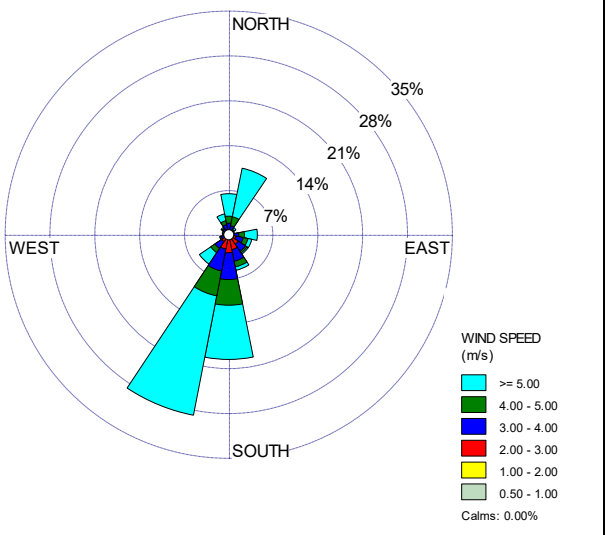
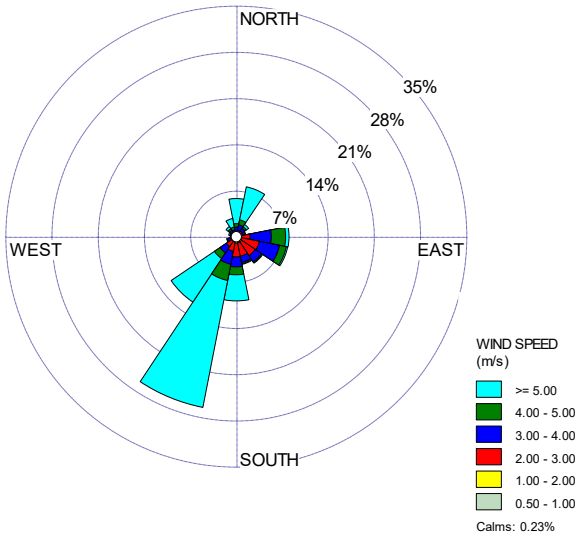
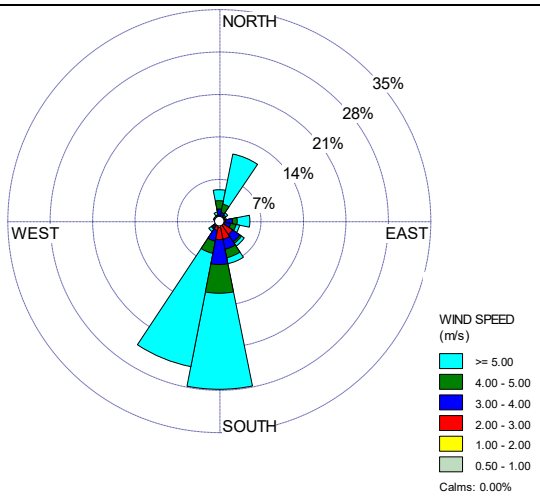
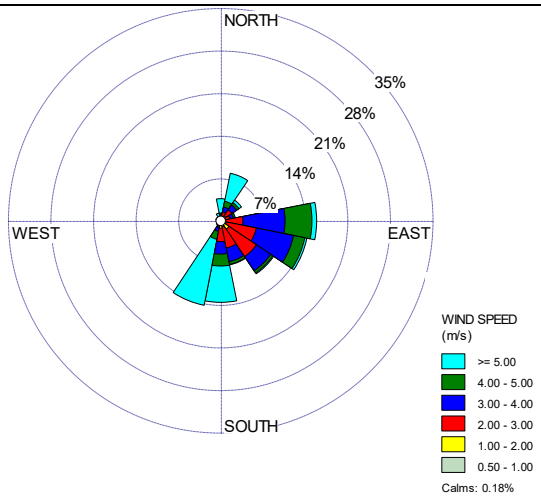
Fuente: ModeloSimple 2026.

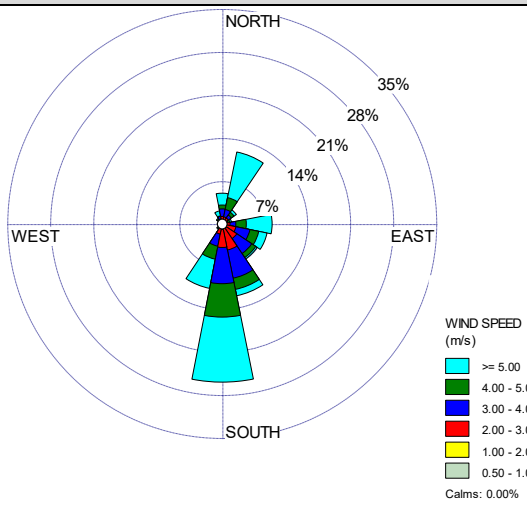
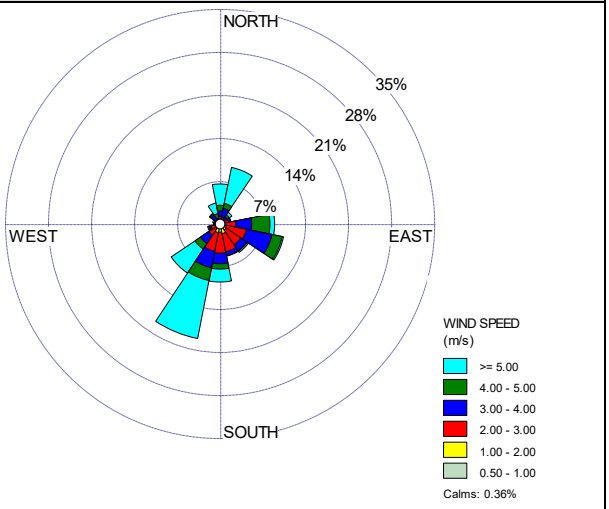
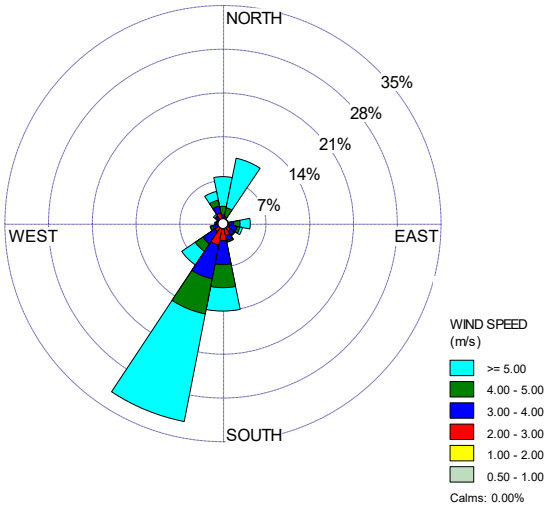
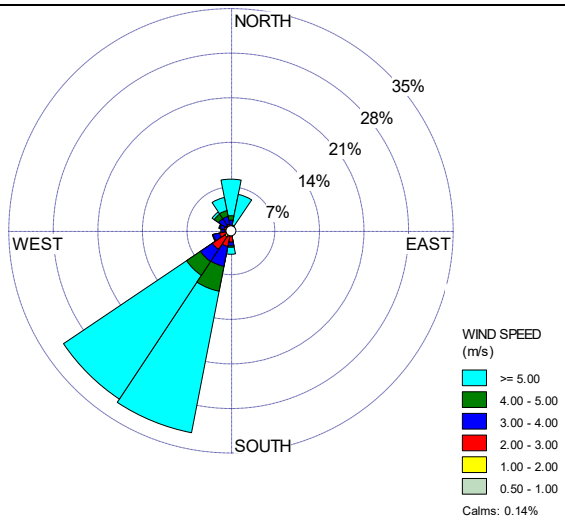
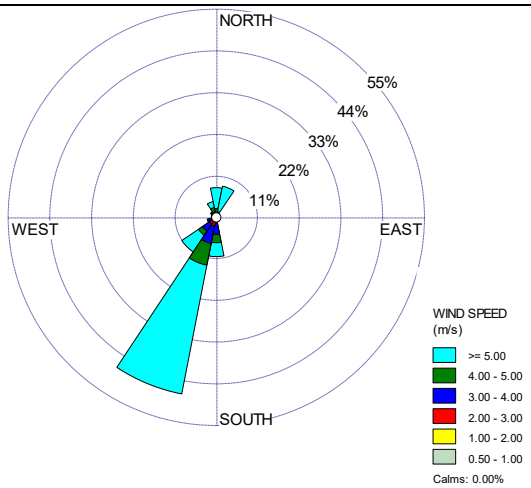
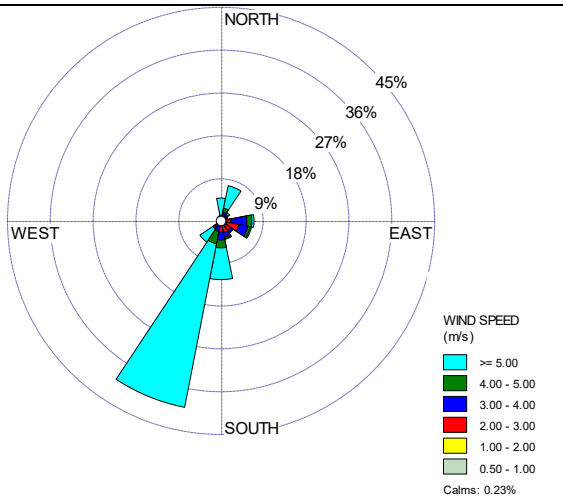
[1] Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA, 2023)

Tal como se observa en la figura anterior, la dirección predominante del vientos tanto para los valores observados como para los valores modelados corresponde a vientos de componente sur suroeste, sur y suroeste para el periodo enero diciembre 2024.

En la siguiente figura se presentan las rosas de viento observada y modelada en la estación Torre meteorológica VPV para diferentes periodos del día.

Figura 7-7: Rosas de viento por periodo del día estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado

Rosa de viento observada	Rosa de viento modelada
	
Periodo enero – diciembre 2024	Periodo enero – diciembre 2024
	
Período 00:00 – 05:00	Período 00:00 – 05:00

Rosa de viento observada	Rosa de viento modelada
 Período 06:00 – 11:00	 Período 06:00 – 11:00
 Período 12:00 – 17:00	 Período 12:00 – 17:00
 Período 18:00 – 23:00	 Período 18:00 – 23:00

Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa en las figuras anteriores, la rosa de vientos para los datos observados en la estación Torre meteorológica VPV presenta predominancia de vientos sur suroeste y sur seguido por vientos de componente norte al igual que lo observado en los datos modelados. En cuanto a la intensidad del viento se observa que tanto los datos observados como los modelados presentan predominancia de vientos sobre 5,0 m/s. En cuanto al porcentaje de calmas, para los datos observados no se aprecian mientras que en el caso de los datos modelados se tiene un 0,23%, para el periodo enero-diciembre 2024.

Para el periodo comprendido entre las 00:00 y las 05:00 horas, la rosa de vientos de datos observados presentan una predominancia de vientos sur y suroeste, seguido por vientos de componente nor noreste de intensidades sobre los 5,0 m/s principalmente, mientras que la rosa de vientos de datos modelados presenta una predominancia de vientos sur suroeste con intensidades sobre 5,0 m/s y componentes sur y este con intensidades entre 3,0 y 4,0 m/s. El porcentaje de vientos calma para los datos observados es de 0,0% mientras que para los datos modelados es de 0,18%.

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y las 11:00 horas, la rosa de vientos de datos observados presenta predominancia de vientos de componente sur, sur suroeste, y sur sureste con algunas componentes también en dirección este y noreste, lo que también es posible observar en los datos modelados. Las intensidades son similares entre lo observado y modelado superando los 5,0 m/s. El porcentaje de vientos calma para los datos observados es de 0,0% mientras que para los datos modelados es de 0,36%.

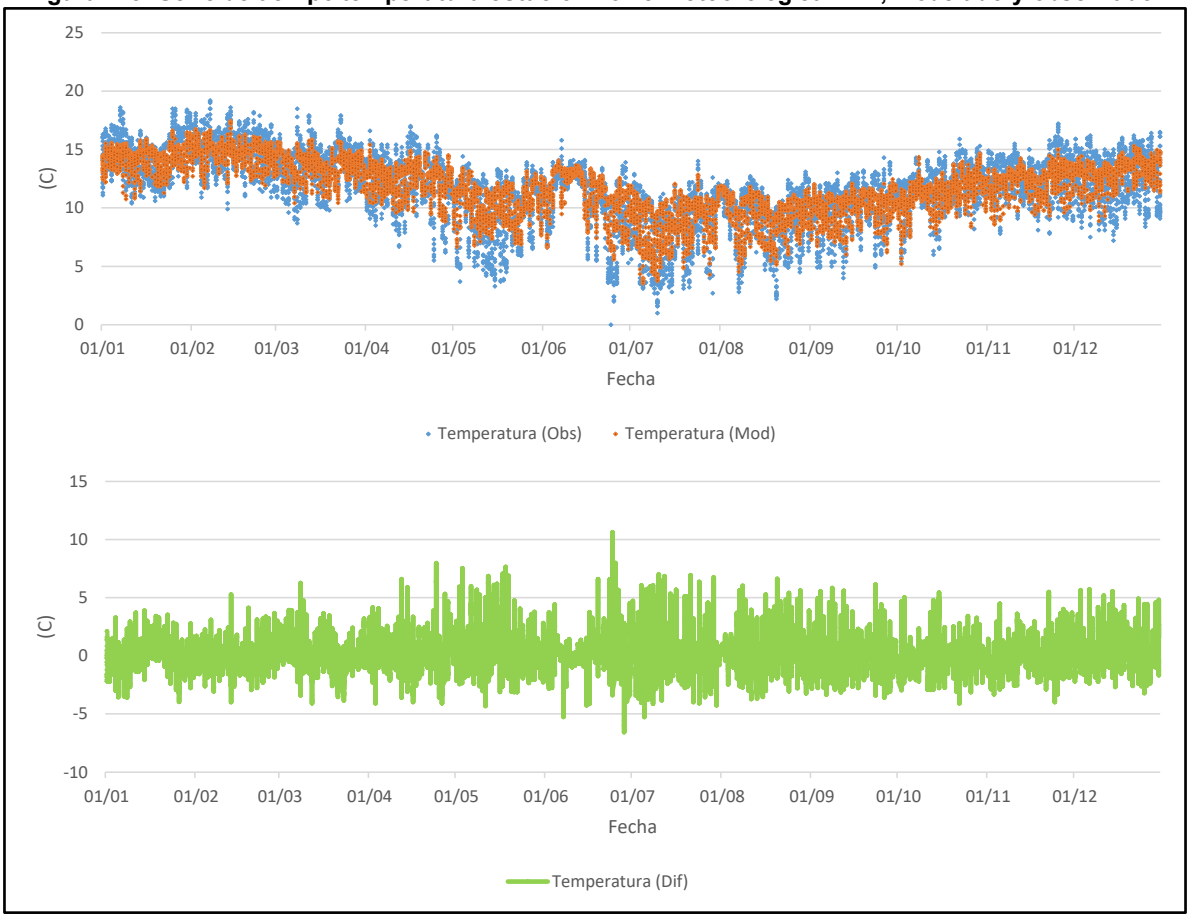
Posteriormente, en el periodo entre las 12:00 y 17:00 horas se observa para los vientos observados y modelados una predominancia de vientos sur suroeste y algunas componentes norte con intensidades muy similares. El porcentaje de vientos calma para los datos observados es de 0,0% mientras que para los datos modelados es de 0,14%.

Finalmente, para el periodo comprendido entre las 18:00 y 23:00 horas, tanto los datos observados como los modelados, presentan predominancia de vientos sur suroeste con intensidades sobre los 5,0 m/s. El porcentaje de vientos calma para los datos observados es de 0,0% mientras que para los datos modelados es de 0,23%.

7.3.3 TEMPERATURA

En la siguiente figura se presenta la serie de tiempo para la temperatura, contrastando los valores observados (puntos de color celeste) con los valores modelados en WRF (puntos de color naranjo) en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 7-8: Serie de tiempo temperatura estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado



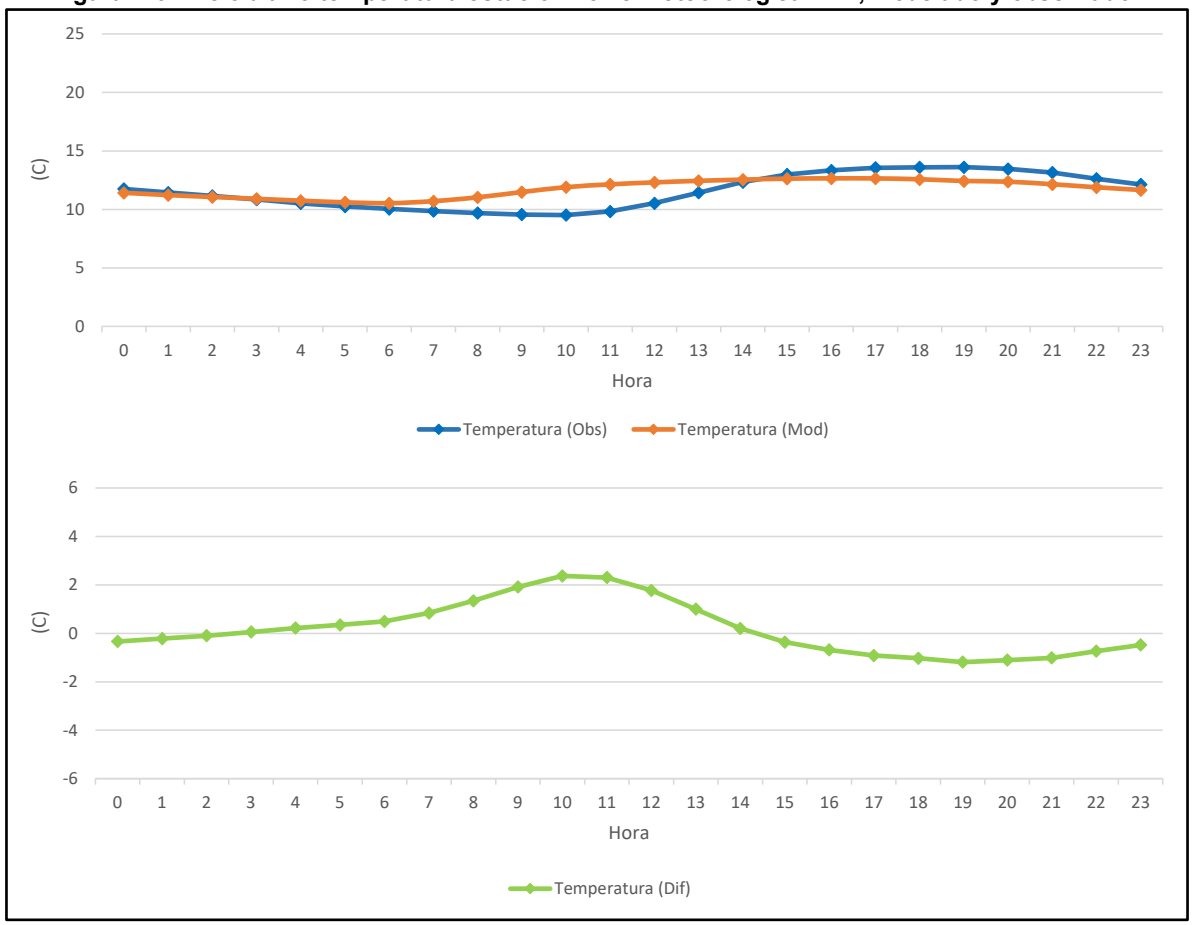
Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa en la figura anterior los valores de temperatura modelados (puntos de color naranjo) presentan un comportamiento similar a los datos monitoreados (puntos de color celeste) en la estación Torre meteorológica VPV presentándose en promedio una temperatura entre los 10 y 15ºC en el periodo primavera-verano y entre 5 y 10ºC en el periodo otoño-invierno. Se observa que los valores mínimos de temperatura son sobreestimados por el modelo.

En términos generales, se tiene que la diferencia en magnitud entre los valores modelados con los observados se encuentra principalmente entre -3ºC y 4ºC. Las diferencias con valores positivos indican que el modelo WRF sobreestimó las magnitudes de temperatura respecto a los valores observados, y los valores negativos indican que el modelo WRF subestimó los valores observados. Los valores fuera de este rango son producto de la falta de datos observados.

En la siguiente figura se presenta el ciclo diario de la temperatura tanto para los valores observados (color azul) como para los valores modelados (color naranjo) en la estación Torre meteorológica VPV.

Figura 7-9: Ciclo diario temperatura estación Torre meteorológica VPV, modelado y observado



Fuente: ModeloSimple 2026.

Tal como se observa en la figura anterior, el ciclo diario de la temperatura de los valores modelados muestra un buen ajuste respecto de los valores observados, presentándose una leve sobreestimación de los valores de temperatura entre las 7:00 y 13:00 horas.

La temperatura promedio observada en la estación Torre meteorológica VPV es de 11,56ºC mientras que la temperatura promedio modelada es de 11,76ºC.

En cuanto a las medidas estadísticas evaluadas, en la Tabla 7-4 se presentan los valores obtenidos.

Tabla 7-4: Evaluación estadística temperatura

Estación	Valores obtenidos Estación Torre meteorológica VPV	Valores recomendados[2]
Sesgo (S)	0,2 (ºC)	-4 – 4 (ºC)
Error medio absoluto (MAE)	0,2 (ºC)	≤4 (ºC)
Error cuadrático medio (ECM)	1,76 (ºC)	≤4,5 (ºC)
Coeficiente de correlación (r)	0,80	>0,8

Fuente: ModeloSimple 2026.

De la tabla anterior se observa que el valor del sesgo presenta valores positivos, por lo tanto y tal como se señaló anteriormente el modelo meteorológico sobreestima levemente los valores de temperatura en el punto en el cual se ubica la estación Torre meteorológica VPV.

Al observar el error medio absoluto (MAE) y el error cuadrático medio (ECM), se observa que ambos se encuentran dentro del rango de los valores recomendados.

Finalmente, el coeficiente de correlación (r), presenta un valor igual a 0,8 lo cual representa un buen ajuste del modelo meteorológico WRF respecto de los valores monitoreados.

De los resultados obtenidos de las diferentes métricas evaluadas y al compararlos con los valores recomendados por la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, se observa que éstos se encuentran dentro de los rangos esperados y por lo tanto se puede concluir que el modelo presenta un buen ajuste respecto de la variable temperatura.

[2] Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA, 2023)

8 MODELO DE DISPERSIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

8.1 JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DEL AIRE

La selección del modelo de calidad del aire se basa fundamentalmente en lo recomendado en la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, en la cual se recomienda el modelo tipo "puff" CALPUFF para proyectos, cuya área de influencia es mayor a 5 km y cuyos contaminantes sean del tipo primario, es decir, cuyas emisiones se liberan directamente al ambiente.

El sistema de modelación CALPUFF incluye tres componentes principales: WRF, CALPUFF y CALPOST, además de una larga selección de preprocesadores que incorporan en el modelo datos meteorológicos y geofísicos.

El modelo 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.

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

Finalmente, a través de CALPOST se procesan las salidas de CALPUFF creando los archivos con las tabulaciones necesarias para la evaluación de los resultados, según los parámetros establecidos en las normas de calidad del aire.

8.2 DOMINIO DE MODELACIÓN

Para el modelo de dispersión se acotó el área de modelación meteorológica, en tres grillas de evaluación, las cuales se describen a continuación:

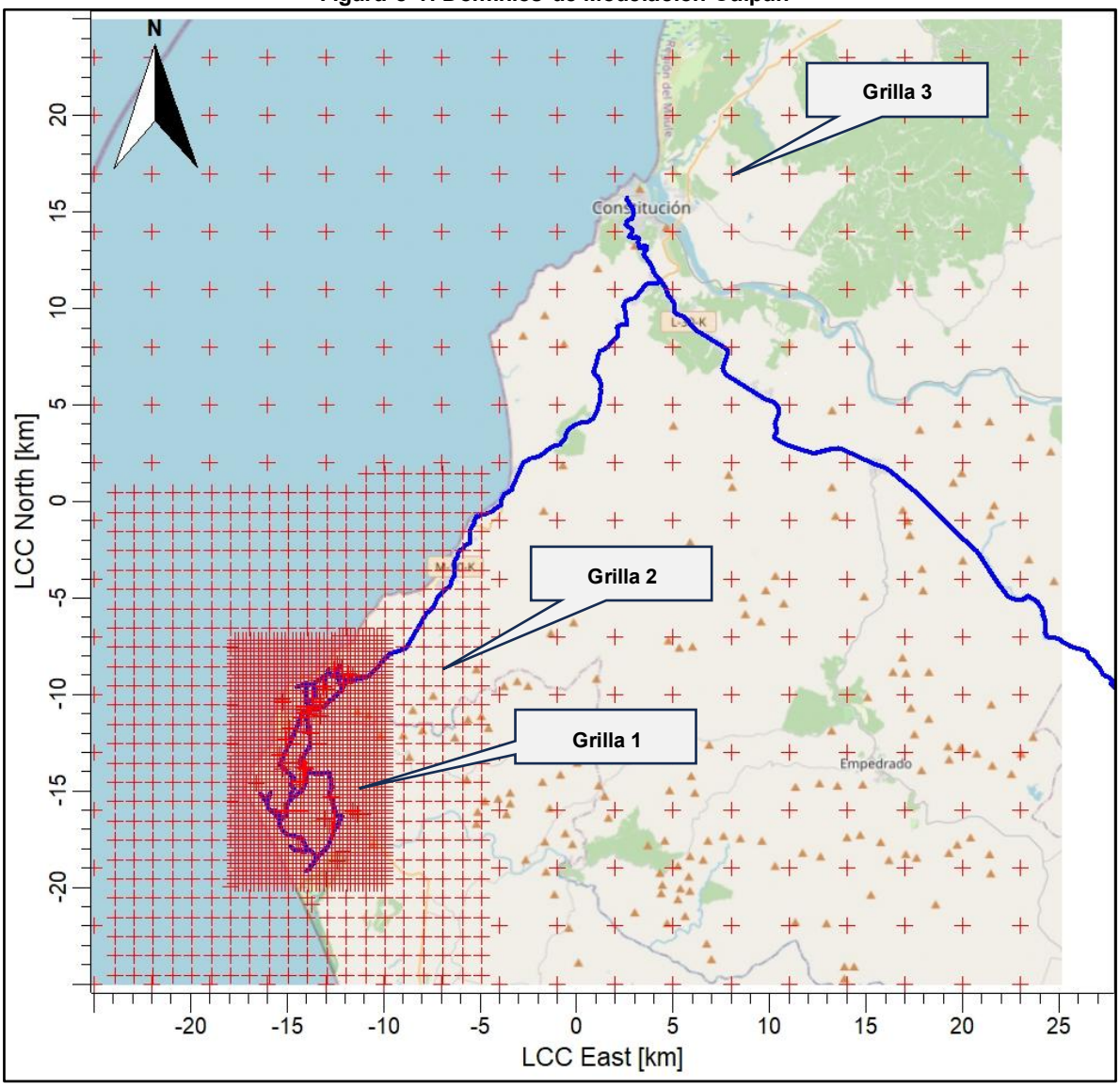
Grilla 1: dominio de modelación de 8 x 13 km, con un espaciamiento de celdas de 200 m la cual abarca las principales fuentes del proyecto, correspondiente tanto a las obras permanentes como a las obras temporales, rutas internas y receptores sensibles más cercanos.

Grilla 2: dominio de modelación de 20 x 26 km, con un espaciamiento de celdas de 1 km, dentro de la cual se ubica la grilla 1 y rutas externas cercanas a los receptores sensibles.

Grilla 3: dominio de modelación de 50 x 50 km, con un espaciamiento de celdas de 3 km, dentro de la cual se ubica la grilla 1, grilla 2 y rutas externas.

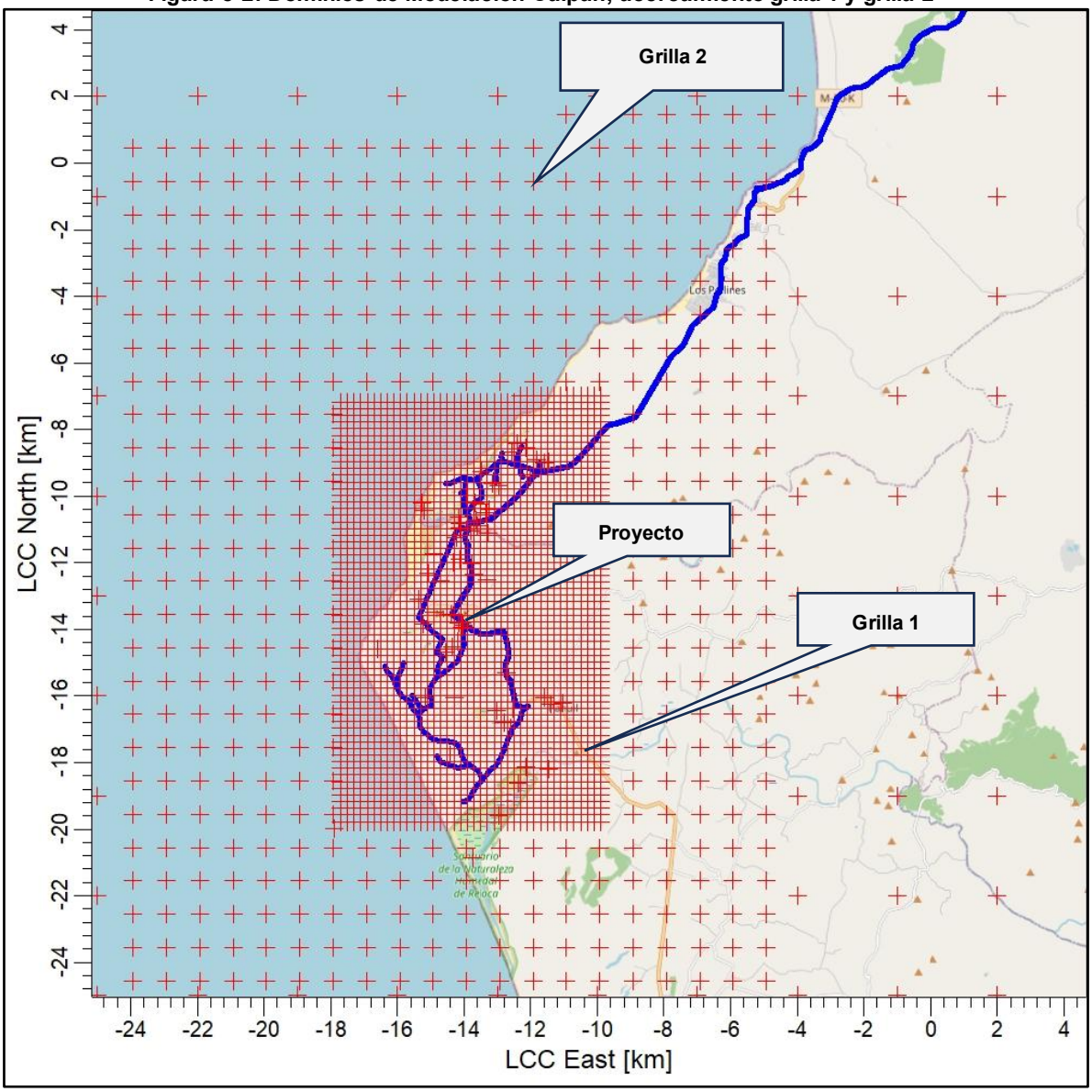
En la siguiente figura, se observa el área de modelación para CALPUFF.

Figura 8-1: Dominios de Modelación Calpuff



Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-2: Dominios de Modelación Calpuff, acercamiento grilla 1 y grilla 2



Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.3 RECEPTORES SENSIBLES

Los receptores evaluados corresponden a población sensible para material particulado (MP10 y MP2.5) y gases (NO_2, SO_2 y CO) ubicada cercana al proyecto, así como también la ubicación de recursos naturales para material particulado sedimentable (MPS).

Las coordenadas de los receptores evaluados se presentan en la Tabla 8-1 y su distribución espacial en la Figura 8-3 y Figura 8-4.

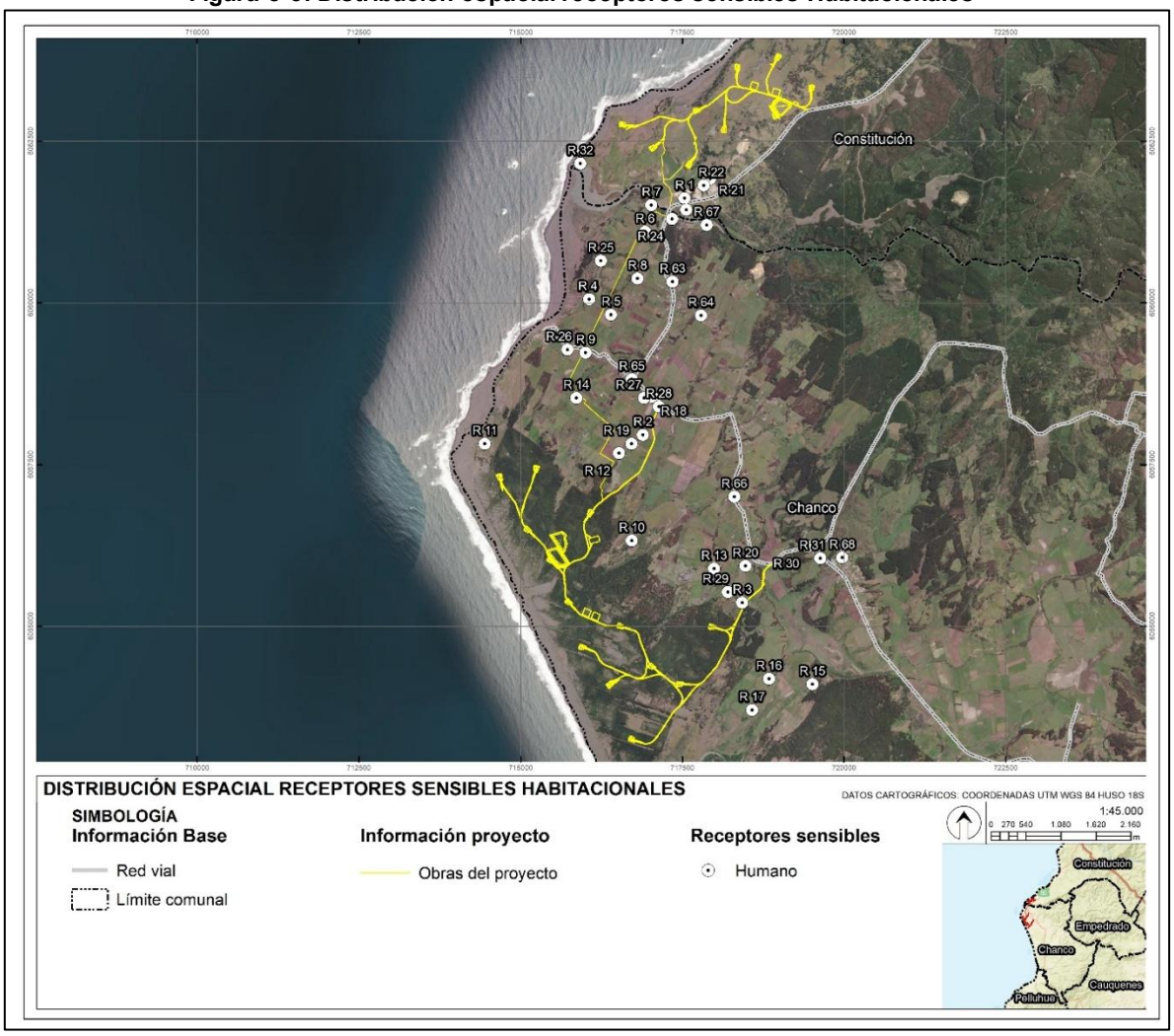
Tabla 8-1: Coordenadas de receptores sensibles

ID	Coordenadas UTM		Descripción
	Este (m)	Norte (m)	
R_1	717.539	6.061.618	Habitacional
R_2	716.896	6.057.955	Habitacional
R_3	718.431	6.055.361	Habitacional
R_4	716.065	6.060.053	Habitacional
R_5	716.399	6.059.816	Habitacional
R_6	716.927	6.061.099	Habitacional
R_7	717.022	6.061.511	Habitacional
R_8	716.811	6.060.375	Habitacional
R_9	716.007	6.059.227	Habitacional
R_10	716.724	6.056.321	Habitacional
R_11	714.448	6.057.820	Habitacional
R_12	716.523	6.057.673	Habitacional
R_13	717.994	6.055.889	Habitacional
R_14	715.864	6.058.528	Habitacional
R_15	719.517	6.054.100	Habitacional
R_16	718.843	6.054.184	Habitacional
R_17	718.580	6.053.702	Habitacional
R_18	717.039	6.058.542	Habitacional
R_19	716.719	6.057.819	Habitacional
R_20	718.478	6.055.929	Habitacional
R_21	717.933	6.061.918	Habitacional
R_22	717.835	6.061.813	Habitacional
R_23	717.563	6.061.439	Habitacional
R_24	717.344	6.061.297	Habitacional
R_25	716.242	6.060.648	Habitacional
R_26	715.729	6.059.274	Habitacional
R_27	716.912	6.058.529	Habitacional
R_28	717.141	6.058.395	Habitacional
R_29	718.210	6.055.526	Habitacional
R_30	719.444	6.056.235	Habitacional
R_31	719.637	6.056.048	Habitacional
R_32	715.925	6.062.152	Habitacional
R_33	719.177	6.062.850	Fauna
R_34	718.665	6.063.632	Fauna
R_35	718.052	6.062.683	Fauna
R_36	717.038	6.061.390	Fauna
R_37	715.865	6.056.334	Fauna
R_38	717.976	6.052.744	Fauna
R_39	717.153	6.051.490	Fauna
R_40	717.021	6.061.705	Fauna
R_41	719.749	6.063.297	Fauna

ID	Coordenadas UTM		Descripción
	Este (m)	Norte (m)	
R_42	715.972	6.061.954	Fauna
R_43	719.177	6.062.850	Vegetación
R_44	718.052	6.062.683	Vegetación
R_45	717.038	6.061.390	Vegetación
R_46	715.865	6.056.334	Vegetación
R_47	717.976	6.052.744	Vegetación
R_48	716.567	6.054.606	Vegetación
R_49	717.008	6.058.393	Vegetación
R_50	718.246	6.062.612	Vegetación
R_51	718.837	6.063.876	Vegetación
R_52	719.079	6.063.733	Vegetación
R_53	719.405	6.063.375	Vegetación
R_54	717.737	6.063.055	Vegetación
R_55	719.623	6.063.263	Vegetación
R_56	717.665	6.062.085	Vegetación
R_57	717.507	6.062.115	Vegetación
R_58	717.266	6.062.364	Vegetación
R_59	717.049	6.058.475	Vegetación
R_60	717.428	6.059.990	Vegetación
R_61	716.177	6.058.874	Vegetación
R_62	717.017	6.060.447	Vegetación
R_63	717.353	6.060.325	Habitacional
R_64	717.792	6.059.802	Habitacional
R_65	716.721	6.058.815	Habitacional
R_66	718.308	6.056.998	Habitacional
R_67	717.879	6.061.203	Habitacional
R_68	719.978	6.056.058	Habitacional

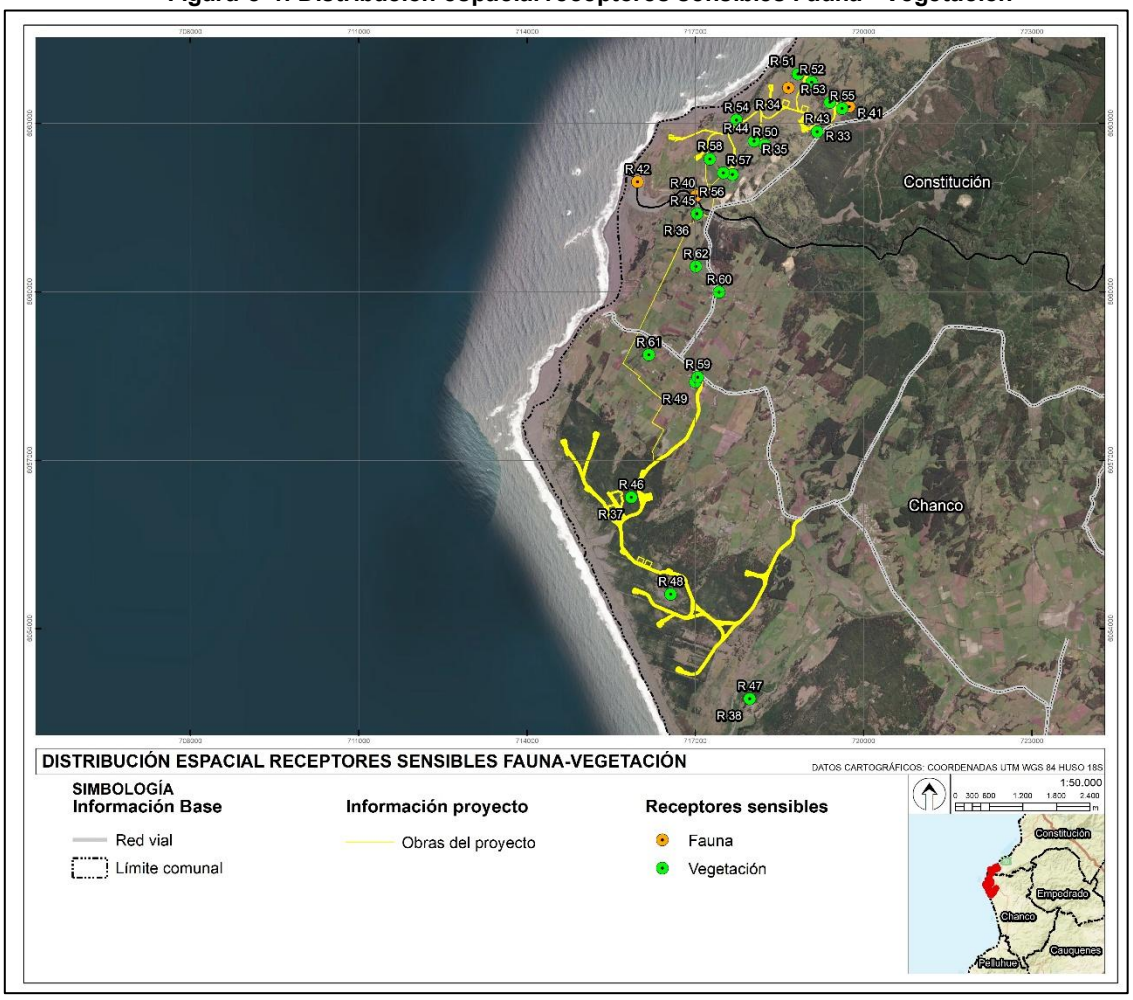
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-3: Distribución espacial receptores sensibles Habitacionales



Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-4: Distribución espacial receptores sensibles Fauna - Vegetación



Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.4 MODELO DE DISPERSIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

A continuación, se presenta un resumen de las emisiones totales de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) y gases (NO_2, SO_2 y CO) generadas para las fases de construcción, operación y cierre del proyecto.

En el Anexo 1.3 se presenta la Estimación de Emisiones Atmosféricas.

Tabla 8-2: Emisiones totales del proyecto

Años	Emisión (toneladas/año)								
	MPS	MP10	MP2,5	NOx	SO_2	NH_3	CO	COV	CO_2eq
FASE DE CONSTRUCCIÓN									
1	2.390,5443	827,5561	90,6201	31,0129	0,9191	0,0468	16,1336	2,6876	5.226,7060
2	192,7715	63,8679	7,3571	9,0787	0,3568	0,0086	3,9301	0,7769	1.036,1561
FASE DE OPERACIÓN									
Año 1 al 25	55,8423	18,7913	2,3809	6,3363	0,4106	0,0006	1,3589	0,5159	250,0265
FASE DE CIERRE									
1	153,4538	52,0345	6,3877	15,9958	0,5606	0,0128	7,8536	1,4031	1.272,5652
2	4,9084	1,6656	0,2114	0,6017	0,0391	0,0000	0,1296	0,0487	33,7172

Fuente: ModeloSimple 2026.

De la tabla anterior se observa que durante la fase de construcción se generarán las mayores emisiones de material particulado y gases del proyecto, en comparación con las fases de operación y cierre.

En base a lo anterior y con la finalidad de evaluar el escenario más desfavorable se modelarán las emisiones generadas durante el año 1 de la fase de construcción.

En la siguiente tabla se presenta el desglose de las emisiones de material particulado y gases generadas en el año 1 de la fase de construcción.

Tabla 8-3: Emisiones atmosféricas fase de construcción – Año 1

Actividad	Emisión Año 1 (ton/año)							
	MPS	MP10	MP2,5	NOx	SO_2	NH_3	CO	COV
Escarpe	1,1178	1,1178	0,1677					
Compactación	0,2073	0,0491	0,0218					
Nivelación	0,4886	0,1431	0,0150					
Excavación	17,4039	4,1271	1,8273					
Carga y descarga de material	0,7553	0,3571	0,0541					
Erosión Eólica	109,9504	55,1488	8,4488					
Tránsito de vehículos por caminos pavimentados	54,1848	10,4009	2,5162					
Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados	2.197,4130	751,3979	75,1399					
Combustión vehículos	0,0041	0,0041	0,0041	1,6856	0,0205	0,0270	0,3752	0,0648
Combustión maquinarias	1,1231	1,1231	1,1231	16,7902	0,0741	0,0198	13,0577	1,5992
Combustión grupos electrógenos	0,8812	0,8812	0,8812	12,5371	0,8245	0,0000	2,7007	1,0236
Chancado	7,0148	2,8059	0,4209					
Total	**2.390,5443**	**827,5561**	**90,6201**	**31,0129**	**0,9191**	**0,0468**	**16,1336**	**2,6876**

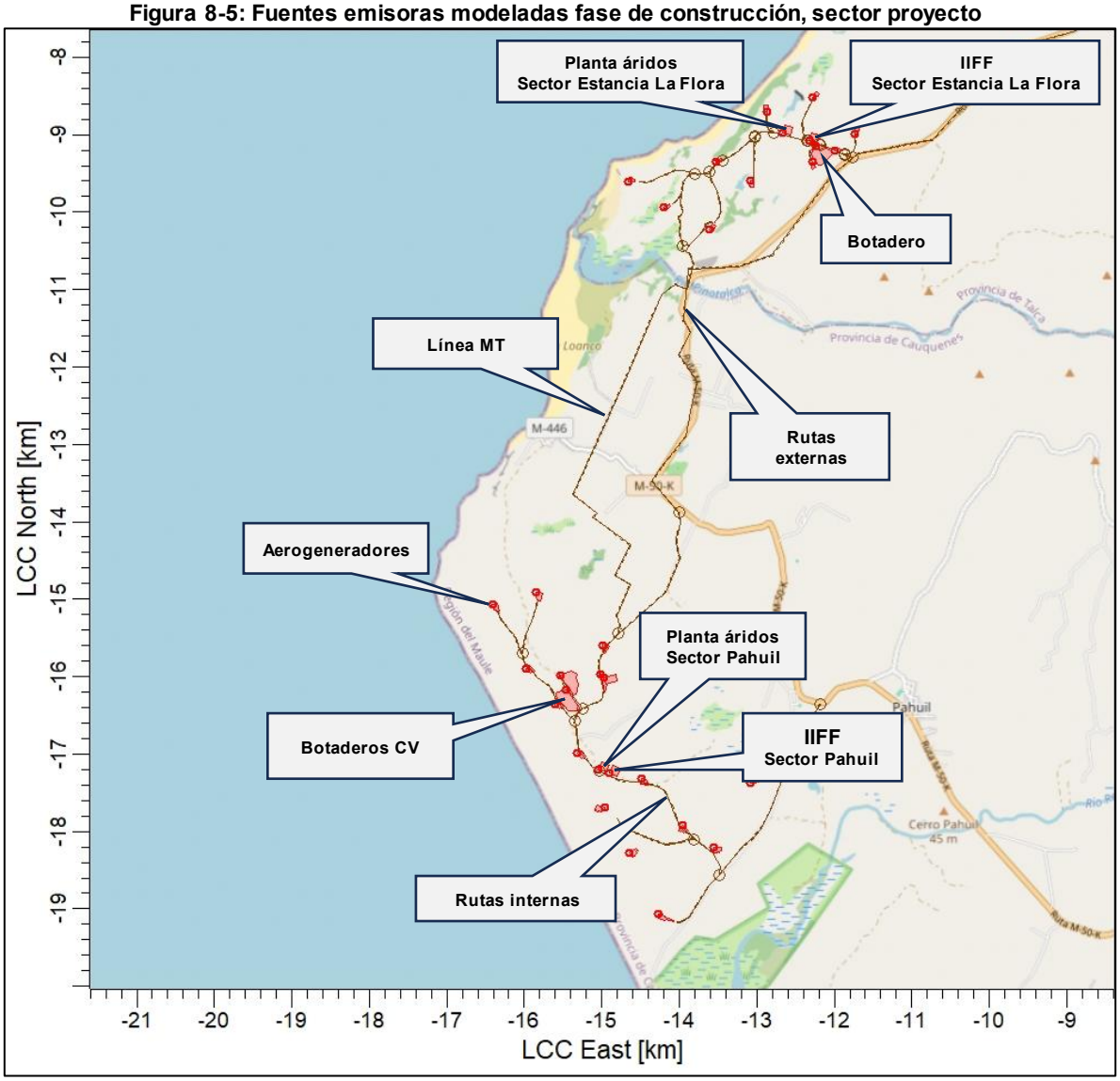
Fuente: ModeloSimple 2026.

Para obtener la tasa de emisión en (g/s), se consideró una jornada laboral de 9 horas al día, 20 días al mes por los 12 meses de duración de la fase de construcción. Se configuró el modelo de dispersión Calpuff considerando ciclo semanal/diario.

En Apéndice 1.4.2 se presenta el detalle de la tasa de emisión estimada por contaminante para cada fuente modelada.

La siguiente figura presentan las fuentes emisoras modeladas.

Figura 8-5: Fuentes emisoras modeladas fase de construcción, sector proyecto



Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.5 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la concentración y depositación de material particulado y gases en los receptores sensibles evaluados para la fase de construcción del proyecto. Posteriormente, se presentan los aportes en los puntos de máximo impacto para cada contaminante.

Finalmente, se presenta la dispersión de dichos contaminantes a través de curvas de concentración.

8.5.1 RECEPTORES SENSIBLES

A continuación, se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas del modelo de dispersión para fase de construcción y el porcentaje respecto de la norma.

Tabla 8-4: Concentración MPS, fase de construcción Año 1

Receptor	Depositación (mg/m²-día)	% de la norma
	Promedio anual	Promedio anual
R_33	0,80	0,4%
R_34	1,21	0,6%
R_35	1,25	0,6%
R_36	1,02	0,5%
R_37	1,90	0,9%
R_38	0,71	0,4%
R_39	0,92	0,5%
R_40	0,79	0,4%
R_41	0,26	0,1%
R_42	0,11	0,1%
R_43	0,80	0,4%
R_44	1,25	0,6%
R_45	1,02	0,5%
R_46	1,90	0,9%
R_47	0,71	0,4%
R_48	1,61	0,8%
R_49	1,03	0,5%
R_50	0,59	0,3%
R_51	1,06	0,5%
R_52	1,27	0,6%
R_53	1,04	0,5%
R_54	6,37	3,2%
R_55	0,43	0,2%
R_56	1,04	0,5%
R_57	1,21	0,6%
R_58	0,87	0,4%
R_59	1,25	0,6%
R_60	0,45	0,2%
R_61	0,55	0,3%
R_62	0,55	0,3%
Norma (mg/m²-día)		**200**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-5: Concentración MP10, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)		% de la norma	
	P98 24 horas	Promedio anual	P98 24 horas	Promedio anual
R_1	34,87	6,94	26,8%	13,9%
R_2	95,21	26,34	73,2%	52,7%
R_3	90,96	25,32	70,0%	50,6%
R_4	19,42	3,86	14,9%	7,7%
R_5	17,65	4,51	13,6%	9,0%
R_6	34,27	6,09	26,4%	12,2%
R_7	49,06	8,77	37,7%	17,5%
R_8	20,01	4,34	15,4%	8,7%
R_9	17,45	5,82	13,4%	11,6%
R_10	55,08	10,44	42,4%	20,9%
R_11	26,18	5,19	20,1%	10,4%
R_12	61,04	17,07	47,0%	34,1%
R_13	22,90	5,98	17,6%	12,0%
R_14	25,45	8,40	19,6%	16,8%
R_15	11,09	1,38	8,5%	2,8%
R_16	19,42	2,84	14,9%	5,7%
R_17	18,55	2,84	14,3%	5,7%
R_18	67,00	15,24	51,5%	30,5%
R_19	65,68	18,57	50,5%	37,1%
R_20	32,95	8,03	25,3%	16,1%
R_21	34,75	6,65	26,7%	13,3%
R_22	33,86	6,46	26,0%	12,9%
R_23	28,52	5,50	21,9%	11,0%
R_24	30,60	5,79	23,5%	11,6%
R_25	25,91	4,08	19,9%	8,2%
R_26	17,06	4,33	13,1%	8,7%
R_27	58,09	14,99	44,7%	30,0%
R_28	52,23	20,84	40,2%	41,7%
R_29	43,56	10,85	33,5%	21,7%
R_30	11,10	3,41	8,5%	6,8%
R_31	10,46	2,41	8,0%	4,8%
R_32	24,80	2,61	19,1%	5,2%
R_63	12,06	4,06	9,3%	8,1%
R_64	11,41	4,21	8,8%	8,4%
R_65	22,99	7,04	17,7%	14,1%
R_66	10,32	2,54	7,9%	5,1%
R_67	15,66	4,27	12,0%	8,5%
R_68	8,54	1,69	6,6%	3,4%
Norma (µg/m³N)			**130**	**50**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-6: Concentración MP2.5, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)		% de la norma	
	P98 24 horas	Promedio anual	P98 24 horas	Promedio anual
R_1	3,71	0,80	7,4%	4,0%
R_2	9,59	2,68	19,2%	13,4%
R_3	10,11	2,80	20,2%	14,0%
R_4	2,10	0,41	4,2%	2,0%
R_5	1,95	0,48	3,9%	2,4%
R_6	3,66	0,65	7,3%	3,2%
R_7	5,01	0,92	10,0%	4,6%
R_8	2,17	0,47	4,3%	2,3%
R_9	1,84	0,61	3,7%	3,1%
R_10	5,65	1,08	11,3%	5,4%
R_11	2,70	0,54	5,4%	2,7%
R_12	6,20	1,77	12,4%	8,9%
R_13	2,51	0,64	5,0%	3,2%
R_14	2,60	0,87	5,2%	4,4%
R_15	1,19	0,15	2,4%	0,7%
R_16	2,14	0,31	4,3%	1,5%
R_17	1,97	0,31	3,9%	1,5%
R_18	6,76	1,58	13,5%	7,9%
R_19	6,64	1,91	13,3%	9,5%
R_20	3,65	0,88	7,3%	4,4%
R_21	3,78	0,73	7,6%	3,7%
R_22	3,54	0,71	7,1%	3,6%
R_23	3,11	0,60	6,2%	3,0%
R_24	3,31	0,64	6,6%	3,2%
R_25	2,70	0,43	5,4%	2,1%
R_26	1,81	0,46	3,6%	2,3%
R_27	5,84	1,56	11,7%	7,8%
R_28	5,30	2,12	10,6%	10,6%
R_29	4,84	1,19	9,7%	6,0%
R_30	1,22	0,37	2,4%	1,9%
R_31	1,13	0,26	2,3%	1,3%
R_32	2,54	0,28	5,1%	1,4%
R_63	1,36	0,46	2,7%	2,3%
R_64	1,26	0,45	2,5%	2,2%
R_65	2,44	0,77	4,9%	3,9%
R_66	1,12	0,27	2,2%	1,3%
R_67	1,72	0,47	3,4%	2,3%
R_68	0,95	0,18	1,9%	0,9%
Norma (µg/m³)			**50**	**20**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-7: Concentración NO_2, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)			% de la norma		
	P99 1 hora	P99 24 horas	Promedio anual	P99 1 hora	P99 24 horas	Promedio anual
R_1	1,54	0,12	0,02	0,8%	0,1%	0,1%
R_2	0,28	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_3	0,48	0,05	0,01	0,2%	0,1%	0,0%
R_4	0,24	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_5	0,24	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_6	0,68	0,07	0,01	0,3%	0,1%	0,0%
R_7	1,13	0,10	0,02	0,6%	0,1%	0,0%
R_8	0,31	0,05	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_9	0,23	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_10	0,96	0,08	0,01	0,5%	0,1%	0,0%
R_11	0,56	0,04	0,01	0,3%	0,0%	0,0%
R_12	0,47	0,05	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_13	0,33	0,03	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_14	0,29	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_15	0,26	0,02	0,00	0,1%	0,0%	0,0%
R_16	0,34	0,02	0,00	0,2%	0,0%	0,0%
R_17	0,38	0,03	0,00	0,2%	0,0%	0,0%
R_18	0,25	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_19	0,42	0,04	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_20	0,34	0,03	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_21	1,54	0,13	0,02	0,8%	0,1%	0,0%
R_22	1,60	0,12	0,02	0,8%	0,1%	0,0%
R_23	1,05	0,09	0,01	0,5%	0,1%	0,0%
R_24	0,81	0,08	0,01	0,4%	0,1%	0,0%
R_25	0,29	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_26	0,19	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_27	0,21	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_28	0,23	0,03	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_29	0,48	0,04	0,01	0,2%	0,0%	0,0%
R_30	0,13	0,01	0,00	0,1%	0,0%	0,0%
R_31	0,13	0,01	0,00	0,1%	0,0%	0,0%
R_32	0,51	0,05	0,00	0,3%	0,0%	0,0%
R_63	0,28	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_64	0,19	0,02	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_65	0,22	0,04	0,01	0,1%	0,0%	0,0%
R_66	0,13	0,01	0,00	0,1%	0,0%	0,0%
R_67	0,64	0,05	0,01	0,3%	0,1%	0,0%
R_68	0,10	0,01	0,00	0,1%	0,0%	0,0%
Norma (µg/m³N)				**200**	**100**	**40**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-8: Concentración CO, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)		% de la norma	
	P99 1 hora	P99 8 horas	P99 1 hora	P99 8 horas
R_1	8,30	1,33	0,0%	0,0%
R_2	1,51	0,46	0,0%	0,0%
R_3	2,98	0,57	0,0%	0,0%
R_4	1,48	0,62	0,0%	0,0%
R_5	1,44	0,57	0,0%	0,0%
R_6	3,60	0,99	0,0%	0,0%
R_7	5,66	1,46	0,0%	0,0%
R_8	1,82	0,70	0,0%	0,0%
R_9	1,27	0,48	0,0%	0,0%
R_10	5,76	0,85	0,0%	0,0%
R_11	2,91	0,61	0,0%	0,0%
R_12	2,47	0,64	0,0%	0,0%
R_13	1,75	0,42	0,0%	0,0%
R_14	1,63	0,40	0,0%	0,0%
R_15	1,48	0,30	0,0%	0,0%
R_16	1,93	0,43	0,0%	0,0%
R_17	2,51	0,48	0,0%	0,0%
R_18	1,21	0,37	0,0%	0,0%
R_19	2,33	0,54	0,0%	0,0%
R_20	1,82	0,37	0,0%	0,0%
R_21	8,40	1,63	0,0%	0,0%
R_22	8,54	1,63	0,0%	0,0%
R_23	5,67	1,18	0,0%	0,0%
R_24	4,07	1,07	0,0%	0,0%
R_25	2,12	0,68	0,0%	0,0%
R_26	1,20	0,45	0,0%	0,0%
R_27	1,16	0,37	0,0%	0,0%
R_28	1,25	0,34	0,0%	0,0%
R_29	2,66	0,57	0,0%	0,0%
R_30	0,84	0,20	0,0%	0,0%
R_31	0,84	0,19	0,0%	0,0%
R_32	3,31	0,68	0,0%	0,0%
R_63	1,72	0,47	0,0%	0,0%
R_64	1,40	0,32	0,0%	0,0%
R_65	1,17	0,36	0,0%	0,0%
R_66	0,77	0,22	0,0%	0,0%
R_67	3,45	0,74	0,0%	0,0%
R_68	0,71	0,18	0,0%	0,0%
Norma (µg/m³N)			**30.000**	**10.000**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-9: Concentración SO_2 primario, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)			% de la norma		
	P99 1 hora	P99 24 horas	Promedio anual	P99 1 hora	P99 24 horas	Promedio anual
R_1	0,05	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_2	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_3	0,02	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_4	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_5	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_6	0,02	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_7	0,04	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_8	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_9	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_10	0,03	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_11	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_12	0,02	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_13	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_14	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_15	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_16	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_17	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_18	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_19	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_20	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_21	0,04	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_22	0,05	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_23	0,03	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_24	0,03	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_25	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_26	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_27	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_28	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_29	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_30	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_31	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_32	0,02	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_63	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_64	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_65	0,01	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_66	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_67	0,02	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
R_68	0,00	0,00	0,00	0,0%	0,0%	0,0%
Norma (µg/m³N)				**350**	**150**	**60**

Fuente: ModeloSimple, 2026.

Tabla 8-10: Concentración SO_2 secundario, fase de construcción Año 1

Receptor	Concentración (µg/m³)			% de la norma		
	P99,73 1 hora	P99,7 24 horas	Promedio anual	P99,73 1 hora	P99,7 24 horas	Promedio anual
R_33	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_34	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_35	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_36	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_37	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_38	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_39	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_40	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_41	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_42	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_43	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_44	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_45	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_46	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_47	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_48	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_49	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_50	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_51	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_52	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_53	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_54	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_55	0,001	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_56	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_57	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_58	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_59	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_60	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_61	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
R_62	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%
Norma (µg/m³N)				**700**	**260**	**60**

Fuente: ModeloSimple, 2026

Tal como se observa en las tablas anteriores, los aportes en concentración, tanto de material particulado (MPS, MP10 y MP2.5) como de gases (NO_2, CO y SO_2), obtenidos en los receptores sensibles para la fase de construcción del proyecto, se encuentran bajo el valor de la norma respectiva.

8.5.2 PUNTOS DE MÁXIMO IMPACTO

En la siguiente tabla se presenta el aporte en el punto de máximo impacto de cada contaminante evaluado para la fase de construcción.

Tabla 8-11: Puntos de Máximo Impacto, fase de construcción Año 1

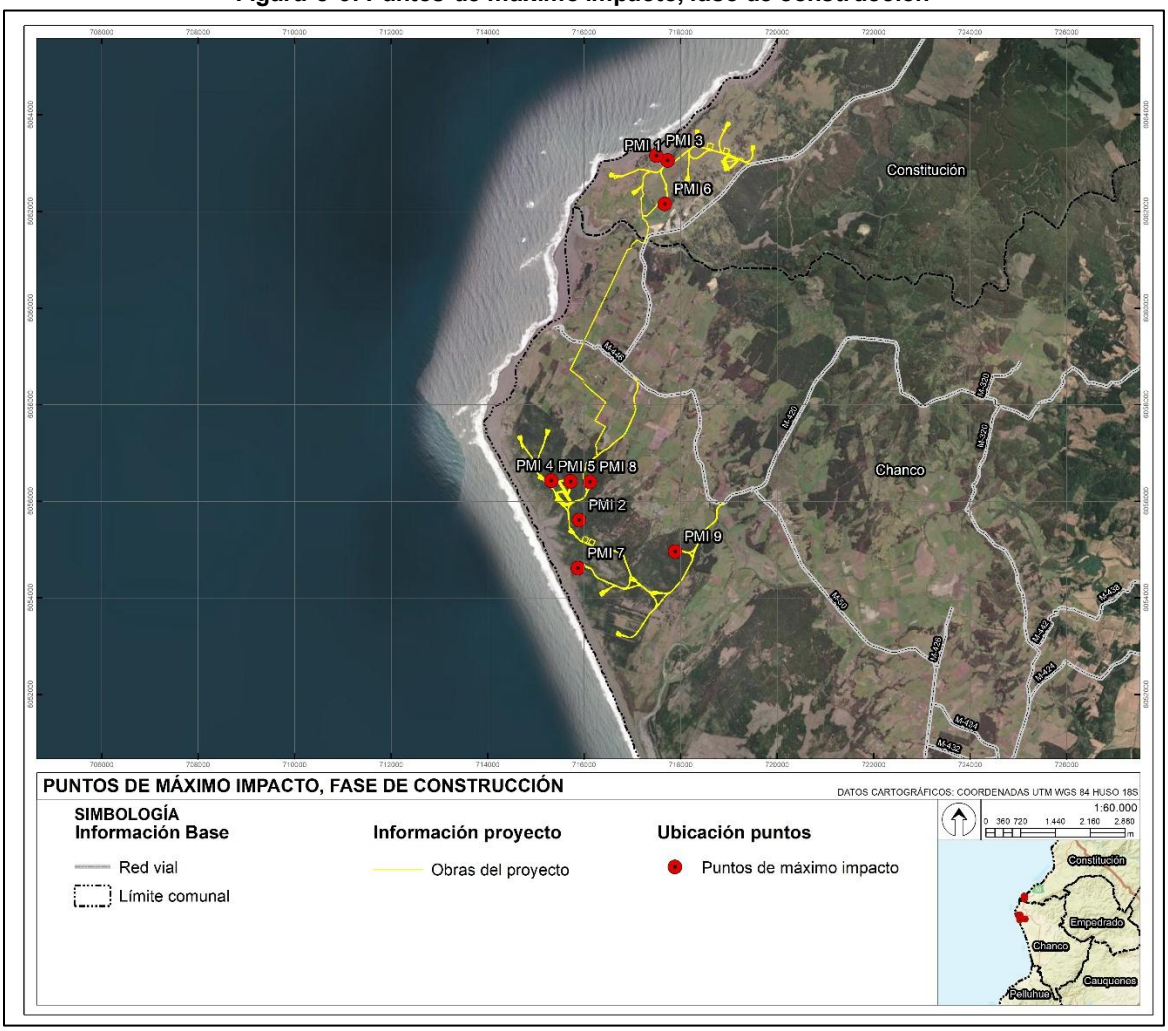
Contaminante	Estadístico	Aporte Proyecto (mg/m^2-día)	Norma	% AP respecto de la Norma	Coordenada UTM		PMI
					Este (m)	Norte (m)	
MPS	Promedio anual	6,4	**200 mg/m^2-día**	3.19%	717.737	6.063.055	1
Contaminante	**Estadístico**	**Aporte Proyecto ($\mu g/m^3$)**	**Norma**	**% AP respecto de la Norma**	**Coordenada UTM**		**PMI**
					Este (m)	**Norte (m)**	
MP10	Percentil 98 promedio diario	108,1	**130 $\mu g/m^3N$**	83,1%	715.904	6.055.607	2
	Promedio anual	37,8	**50 $\mu g/m^3N$**	75,6%	717.504	6.063.154	3
MP2.5	Percentil 98 promedio diario	12,0	**50 $\mu g/m^3$**	23,9%	715.323	6.056.421	4
	Promedio anual	4,0	**20 $\mu g/m^3$**	19,8%	715.724	6.056.411	5
NO_2	Percentil 99 máximo diario 1 hora	9,5	**200 $\mu g/m^3N$**	4,8%	717.678	6.062.151	6
	Percentil 99 promedio diario	1,0	**100 $\mu g/m^3N$**	1,0%	715.878	6.054.610	7
	Promedio anual	0,2	**40 $\mu g/m^3N$**	0,5%	716.125	6.056.400	8
CO	Percentil 99 máximo diario 1 hora	51,0	**30.000 $\mu g/m^3N$**	0,17%	717.893	6.054.957	9
	Percentil 99 máximo diario 8 horas	14,2	**10.000 $\mu g/m^3N$**	0,14%	717.893	6.054.957	9
SO_2 - Primario	Percentil 99 1 hora	0,3	**350 $\mu g/m^3N$**	0,08%	717.678	6.062.151	6
	Percentil 99 promedio diario	0,03	**150 $\mu g/m^3N$**	0,018%	717.893	6.054.957	9
	Promedio anual	0,01	**60 $\mu g/m^3N$**	0,009%	716.125	6.056.400	8
SO_2 - Secundario	Percentil 99,73 1 hora	0,031	**700 $\mu g/m^3N$**	0,004%	717.678	6.062.151	6
	Percentil 99,7 promedio diario	0,008	**260 $\mu g/m^3N$**	0,003%	717.893	6.054.957	9
	Promedio anual	0,01	**60 $\mu g/m^3N$**	0,009%	716.125	6.056.400	8

Fuente: ModeloSimple, 2026.

De la tabla anterior se observa que el aporte en los puntos de máximo impacto tanto para material particulado como para gases no superan el valor de la norma respectiva. Cabe señalar que los mayores aportes en concentración se encuentran en el entorno inmediato al proyecto. Particularmente el PMI 2 y PMI 3 para la concentración diaria y anual de material particulado respirable MP10 respectivamente, se encuentran en el área del proyecto alejados de zonas pobladas.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de los puntos de máximo impacto antes mencionados.

Figura 8-6: Puntos de máximo impacto, fase de construcción



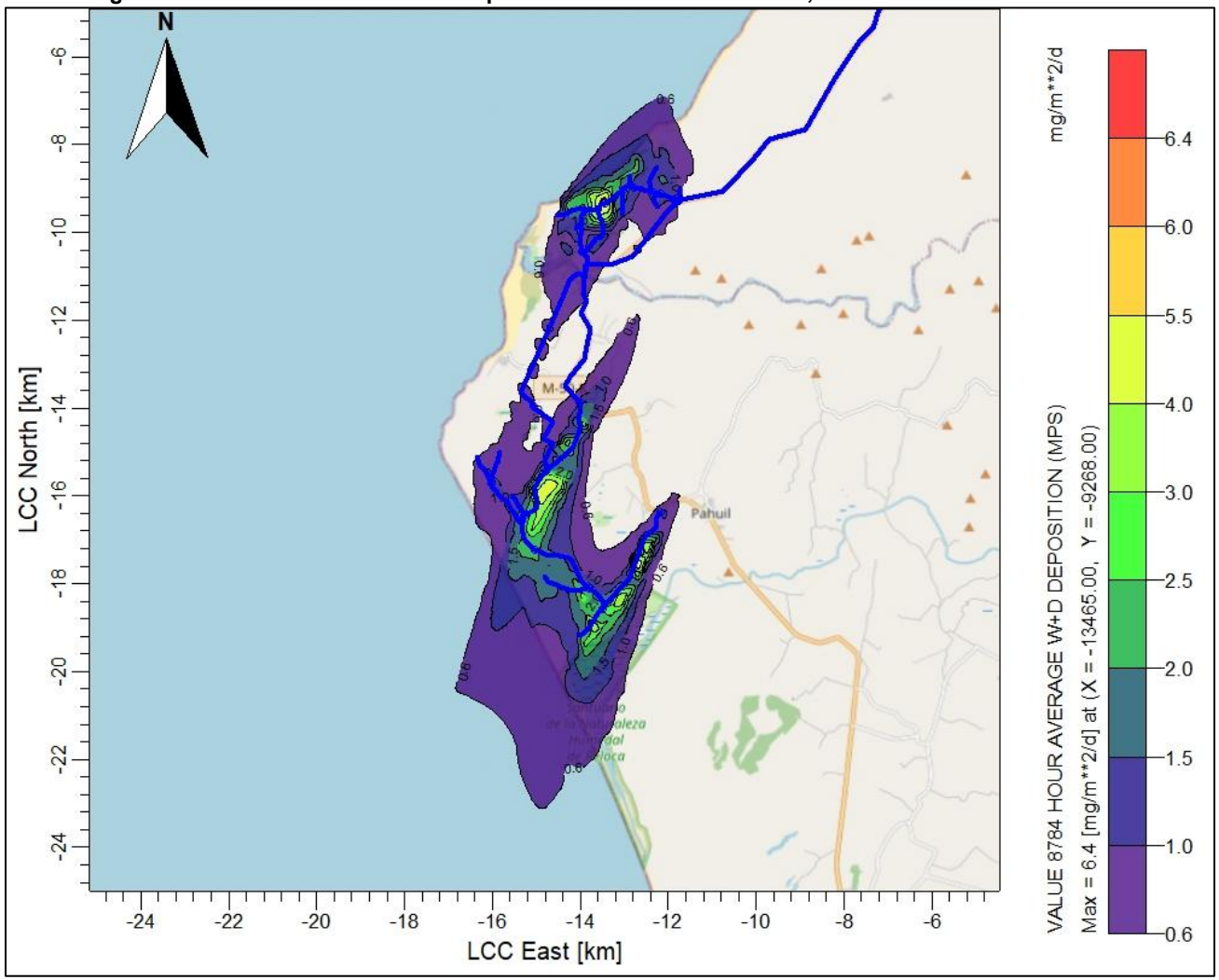
Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.5.3 CURVAS DE CONCENTRACIÓN

Las figuras siguientes presentan las curvas de concentraciones obtenidos por el modelo de dispersión de emisiones atmosféricas para material particulado y gases.

Posteriormente, en base a las curvas de concentración se consideró la envolvente de todas las curvas, tanto de material particulado como de gases, para determinar el área de influencia de calidad del aire.

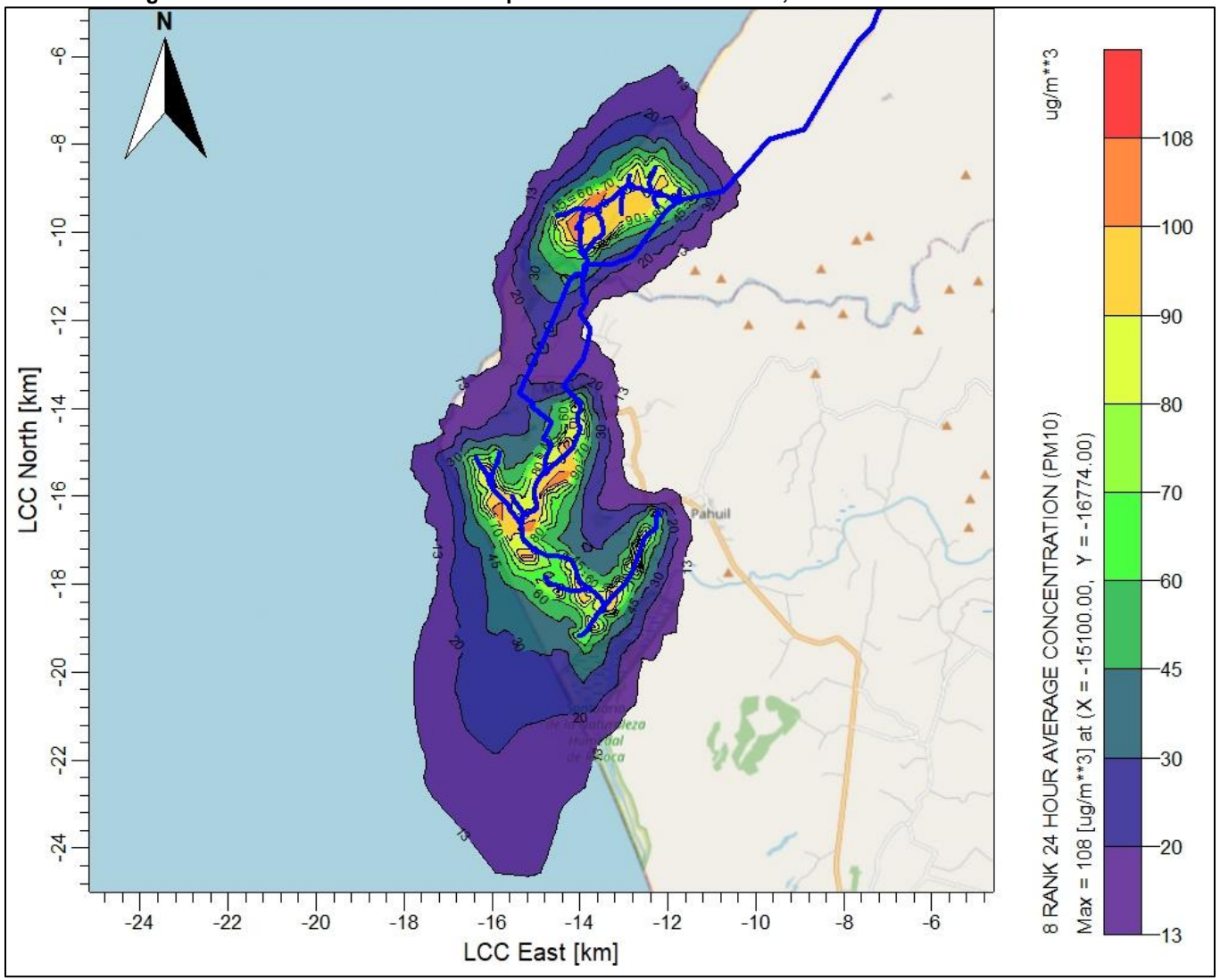
Figura 8-7: Curvas de concentración promedio anual diario de MPS, fase de construcción – Año 1



Fuente: ModeloSimple, 2026

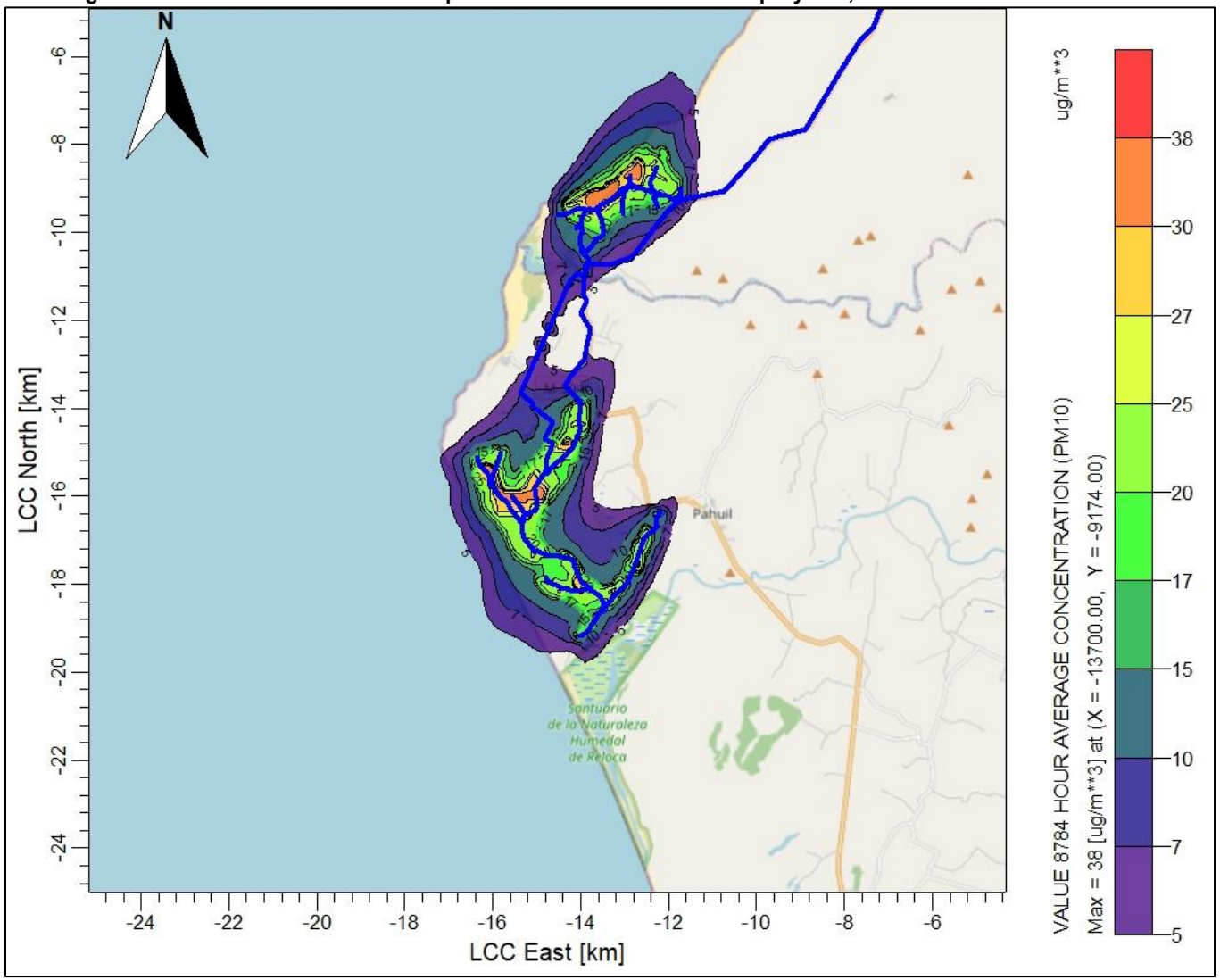
FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

Figura 8-8: Curvas de concentración percentil 98 24 horas MP10, fase de construcción – Año 1



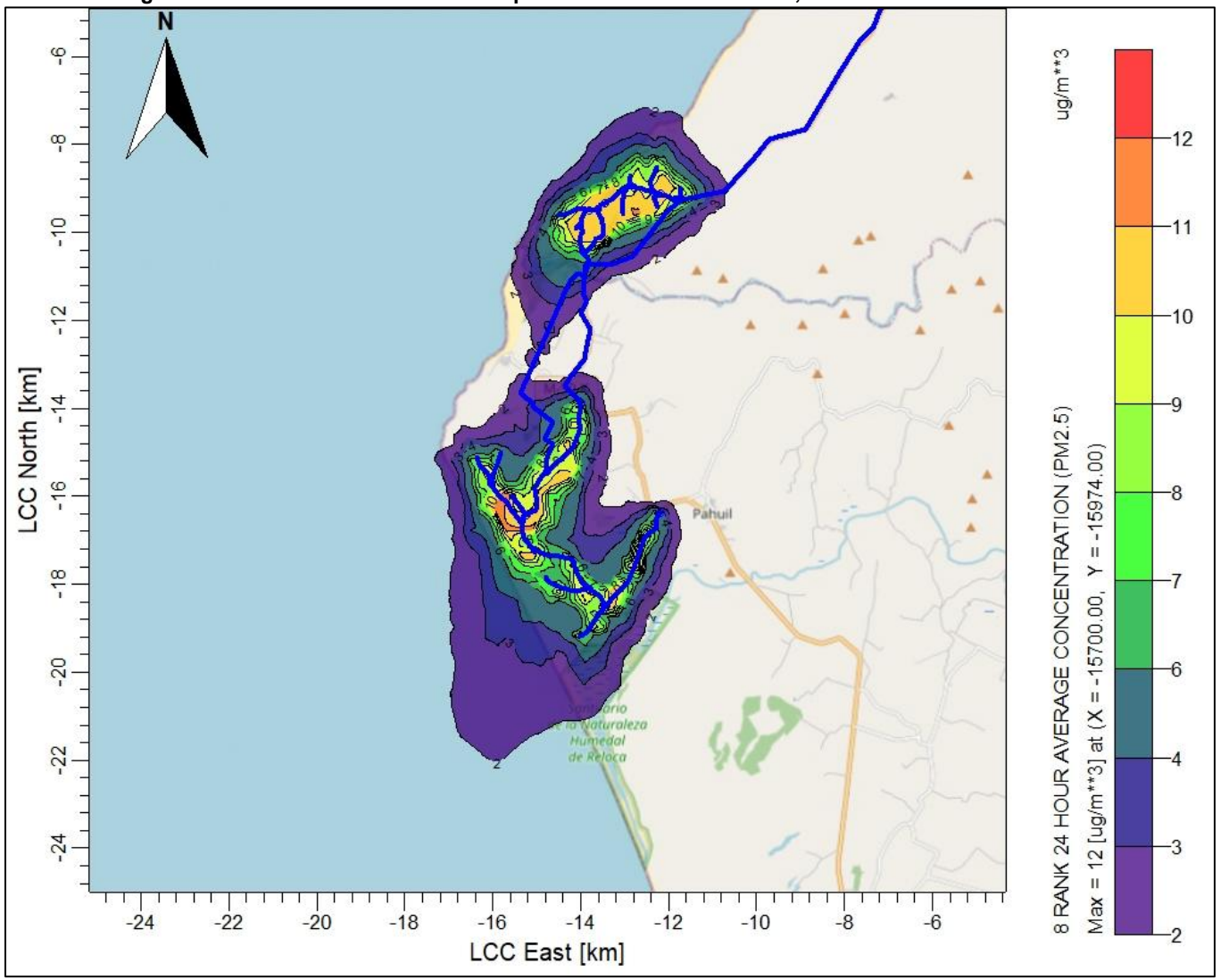
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-9: Curvas de concentración promedio anual MP10 área del proyecto, fase de construcción – Año1



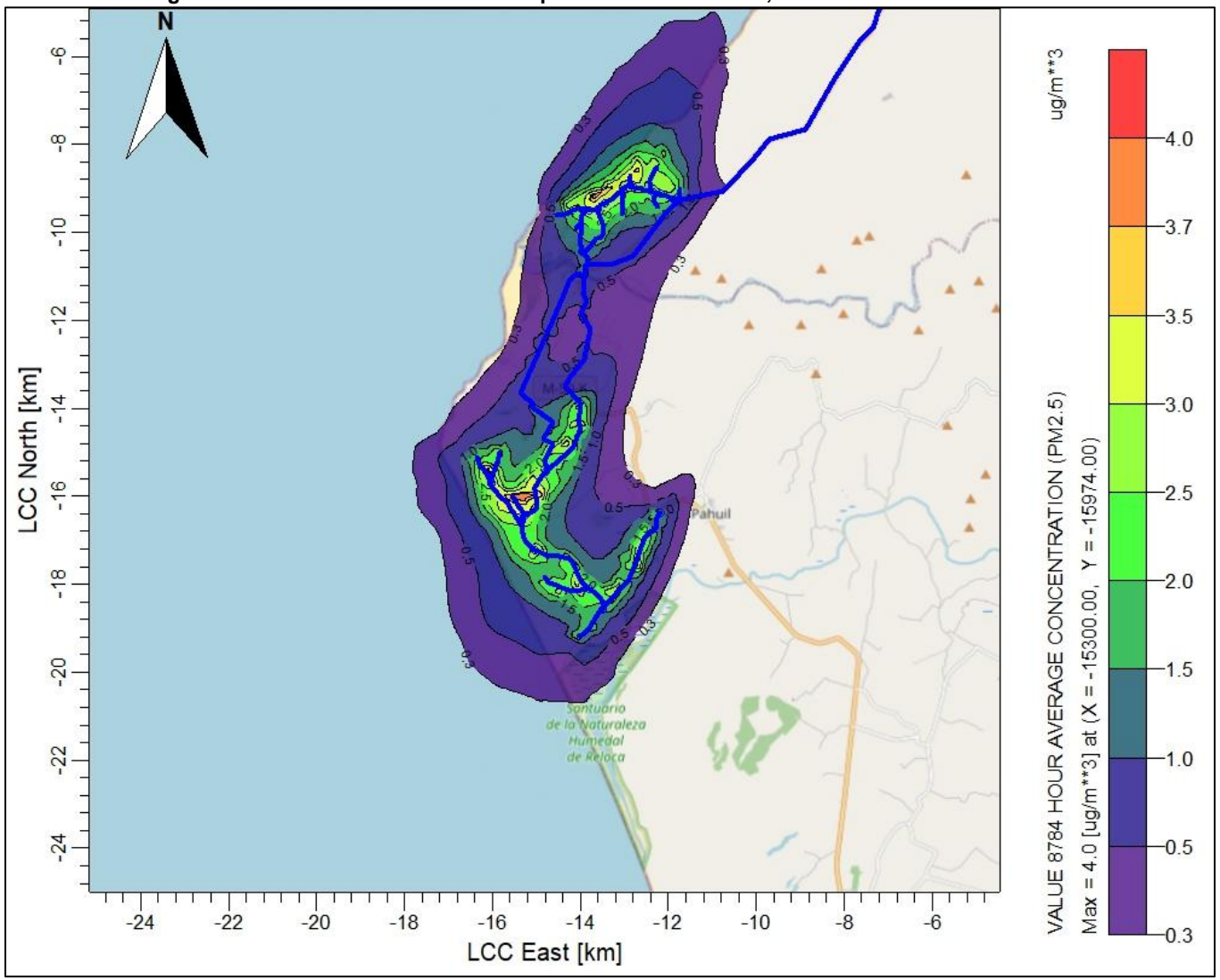
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-10: Curvas de concentración percentil 98 24 horas MP2.5, fase de construcción – Año1



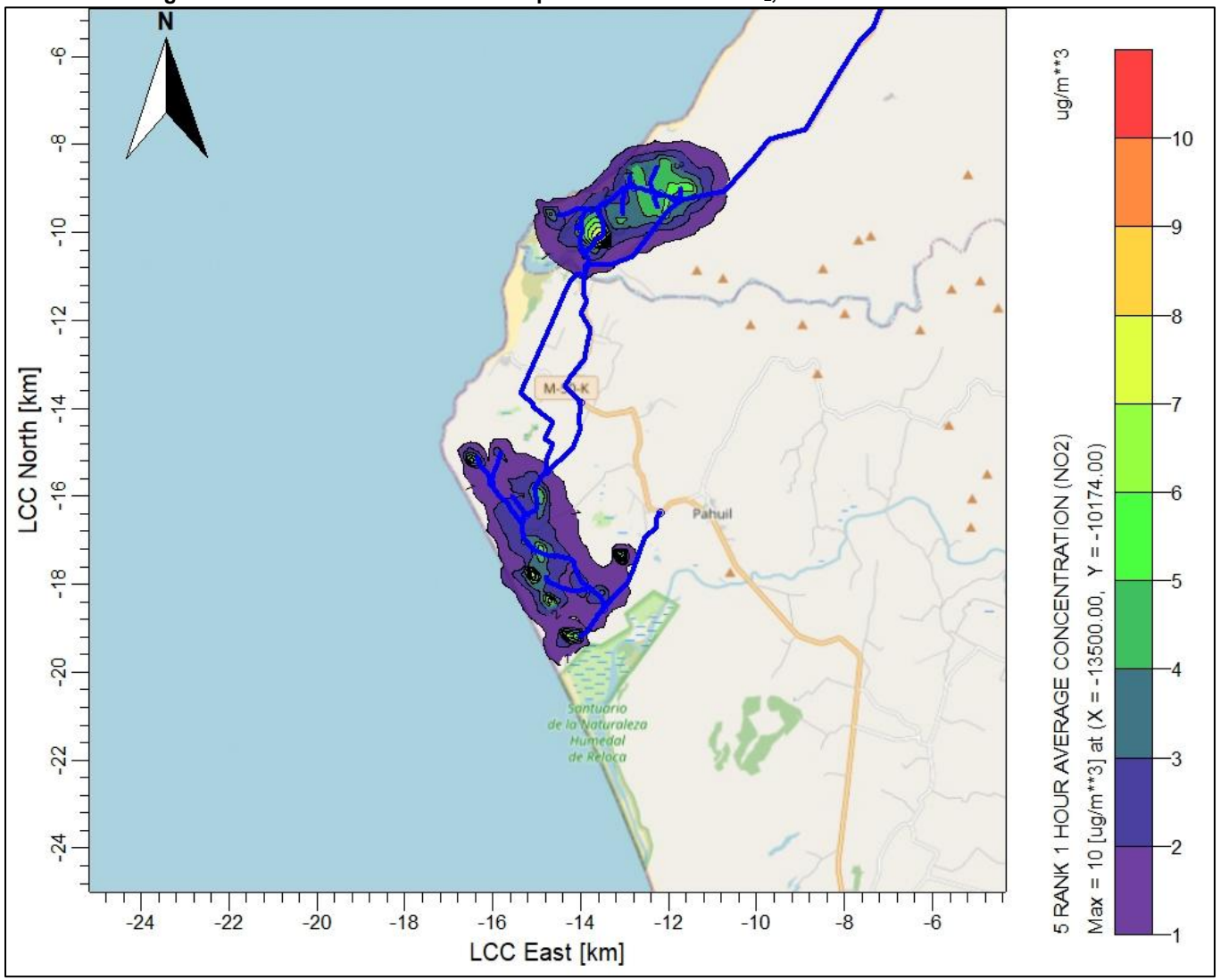
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-11: Curvas de concentración promedio anual MP2.5, fase de construcción – Año1



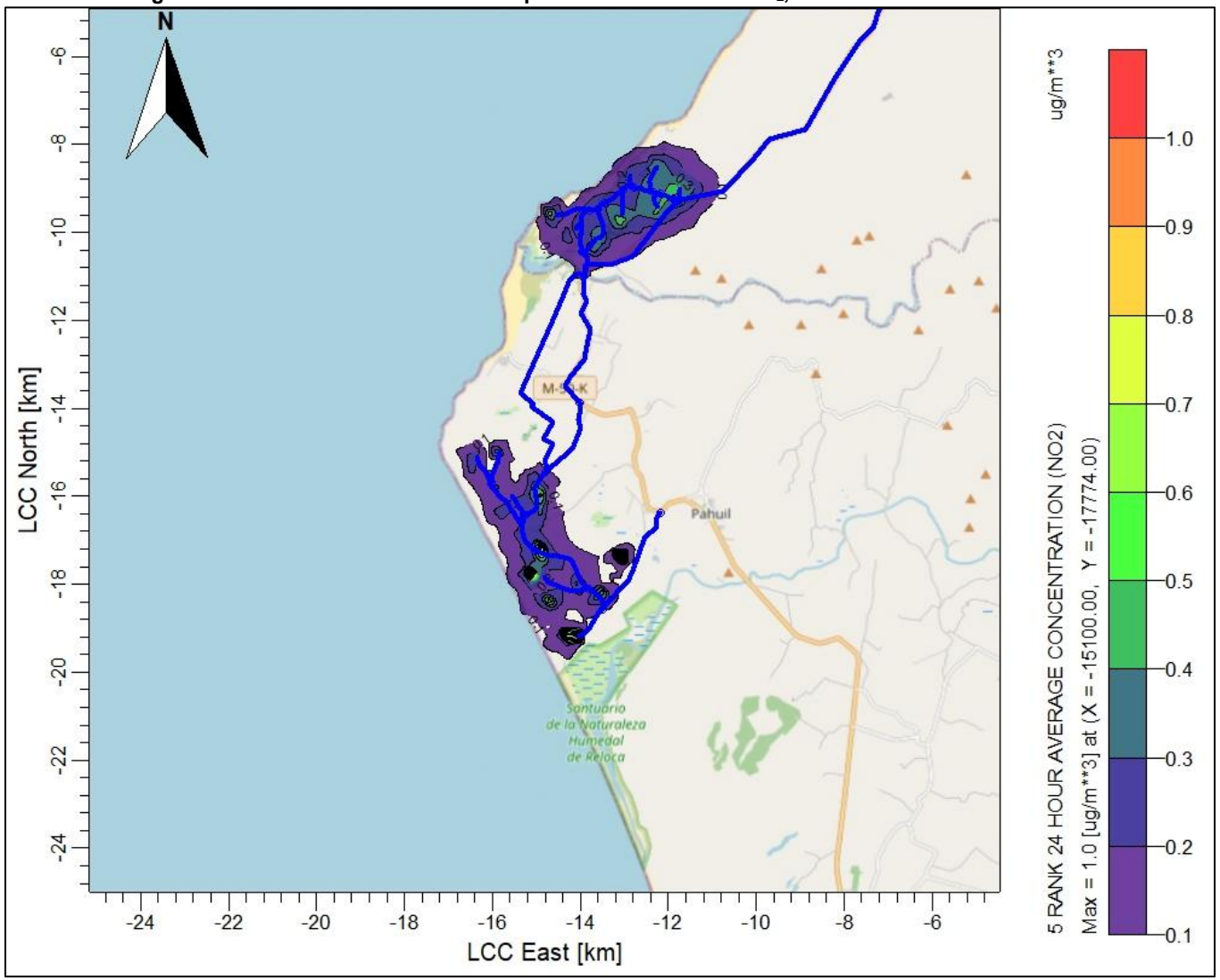
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-12: Curvas de concentración percentil 99 1 hora NO_2, fase de construcción – Año1



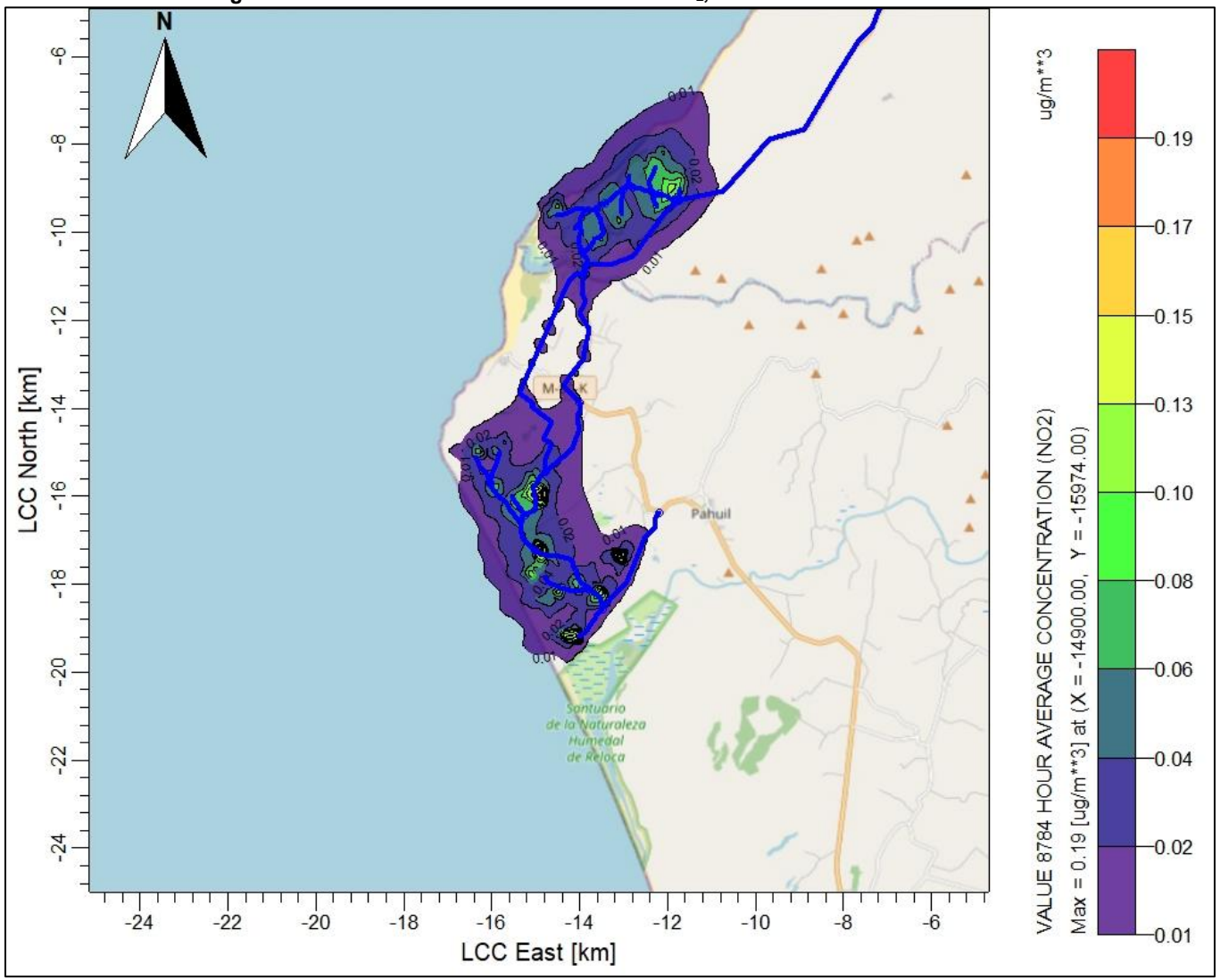
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-13: Curvas de concentración percentil 99 24 horas NO_2, fase de construcción – Año1



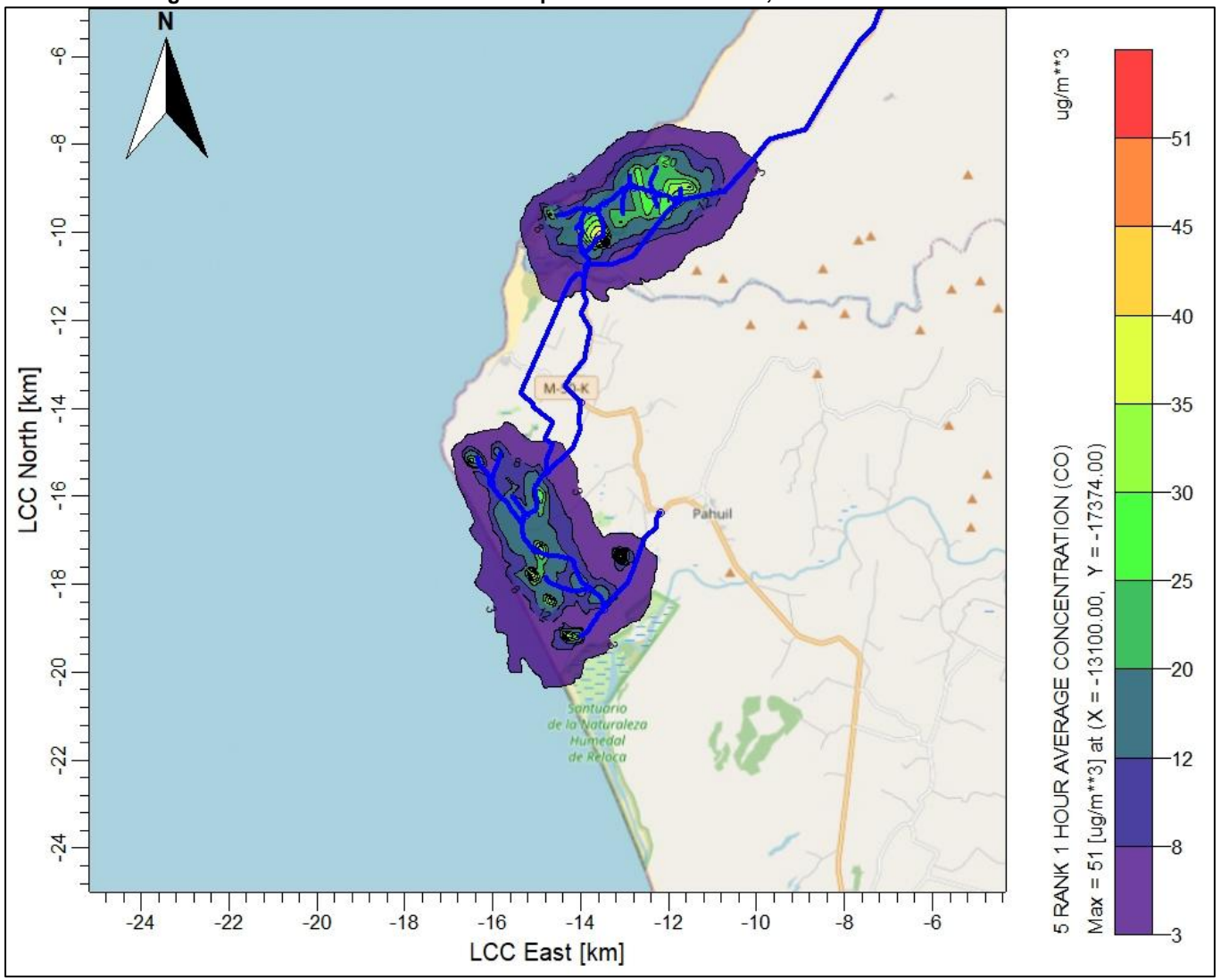
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-14: Curvas de concentración anual NO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

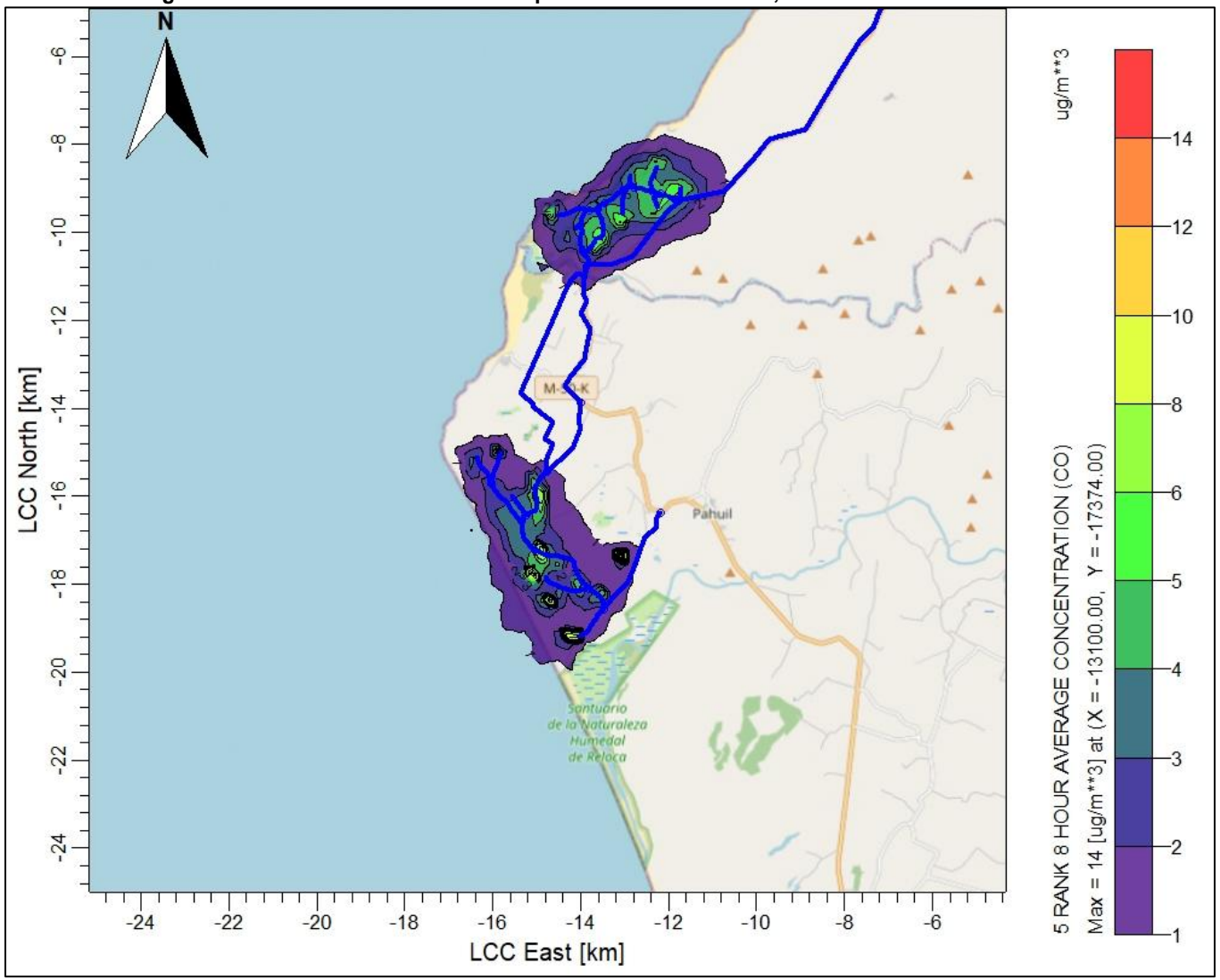
Figura 8-15: Curvas de concentración percentil 99 1 hora CO, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

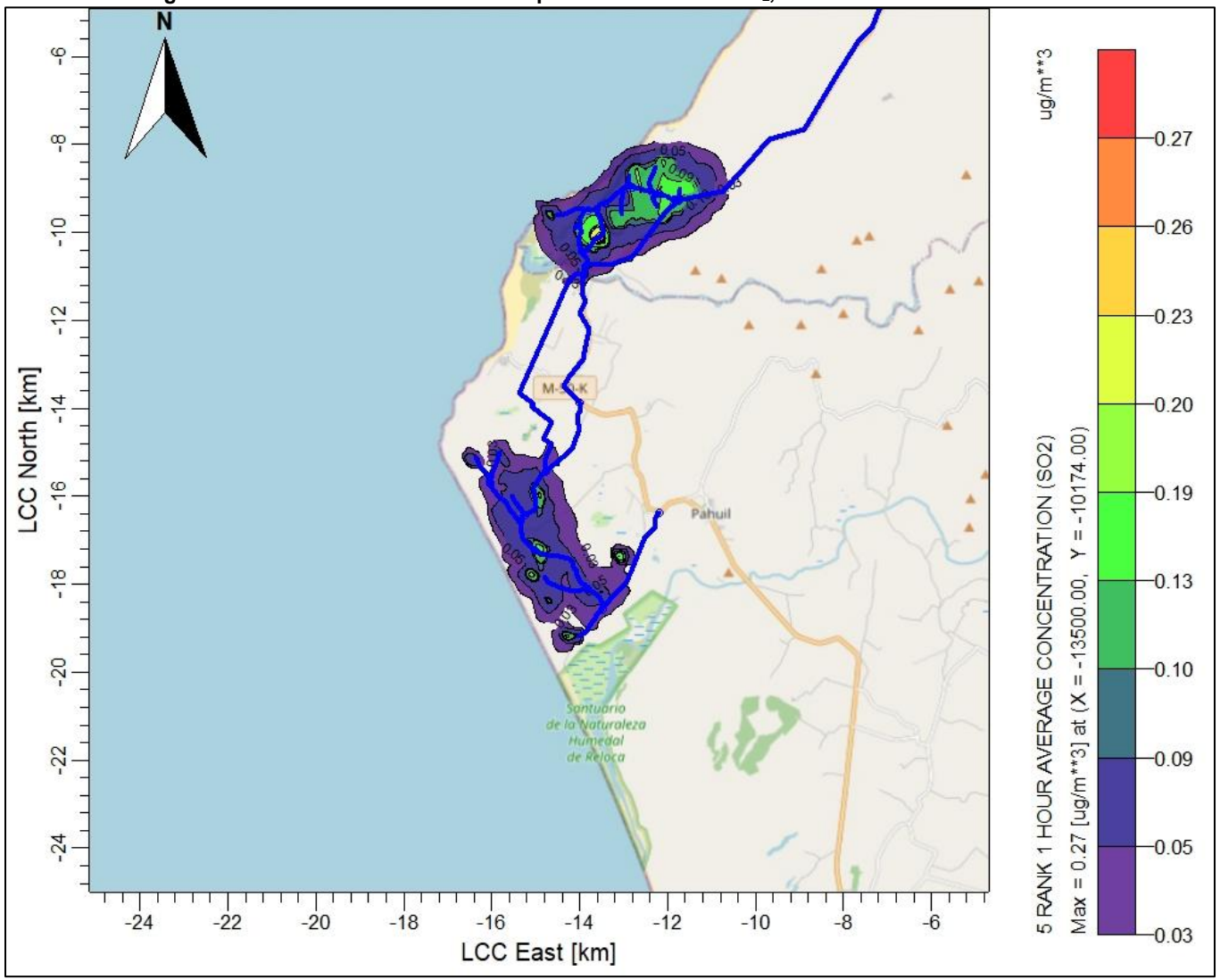
FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

Figura 8-16: Curvas de concentración percentil 99 8 horas CO, fase de construcción – Año1



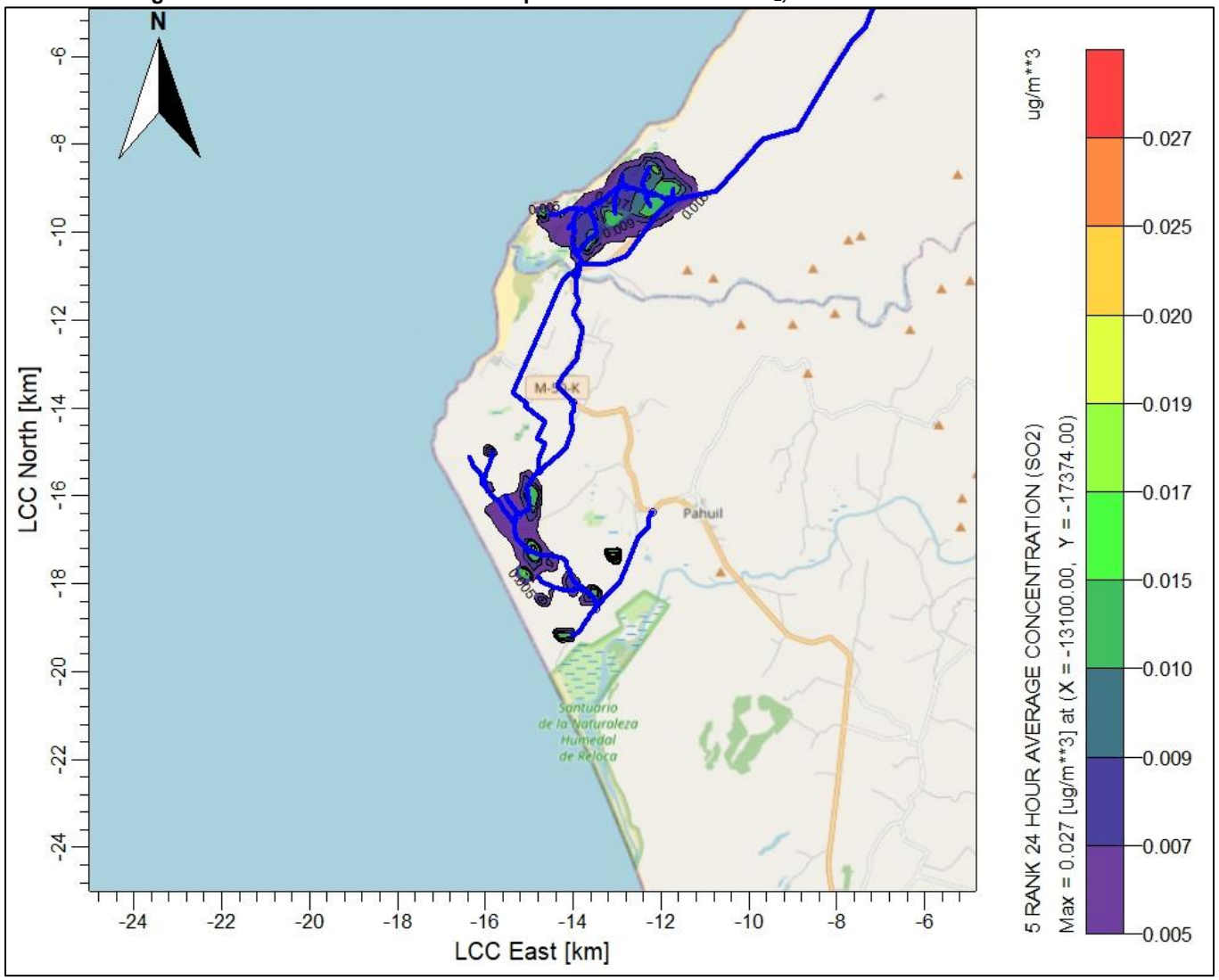
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-17: Curvas de concentración percentil 99 1 hora SO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

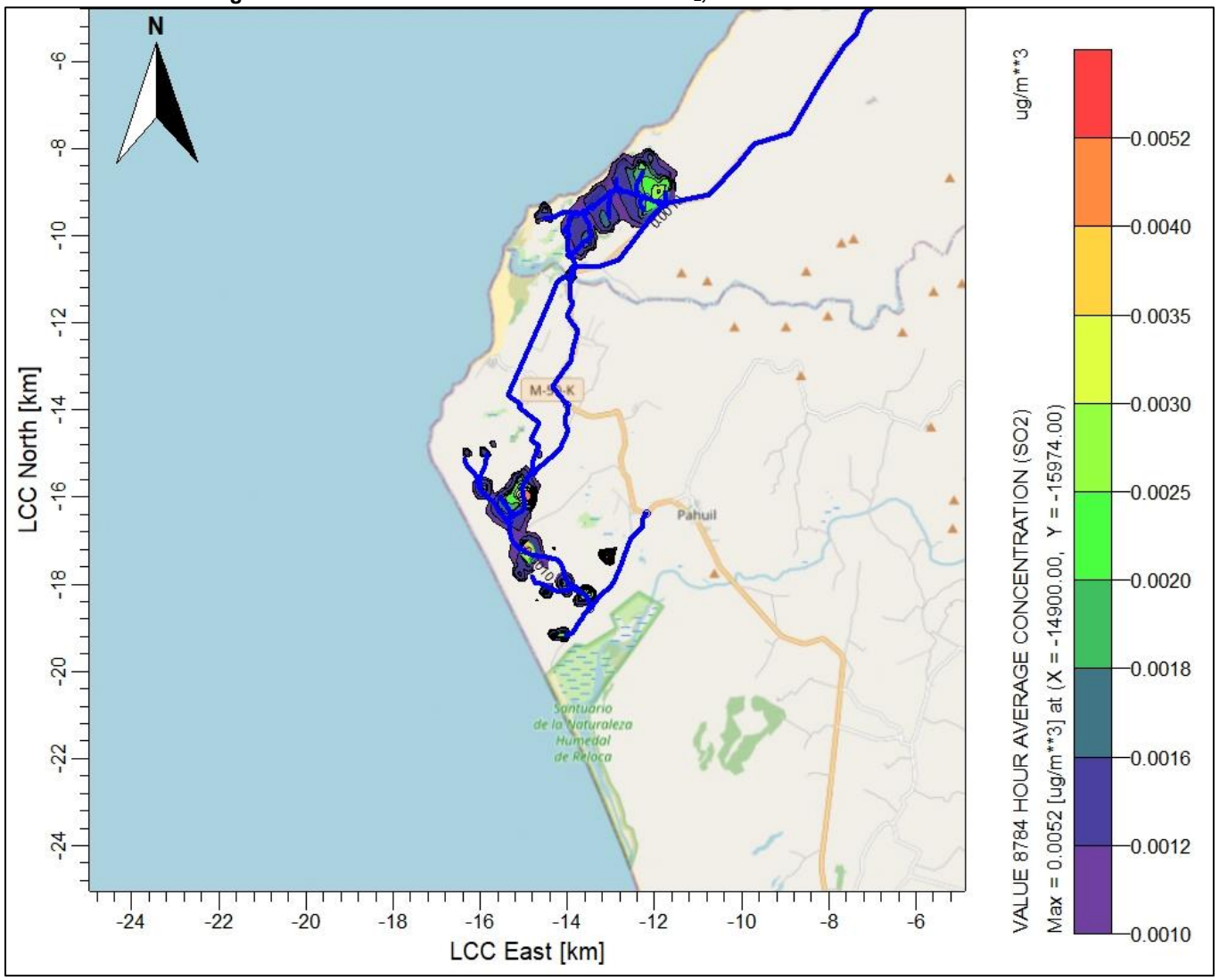
Figura 8-18: Curvas de concentración percentil 99 24 horas SO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

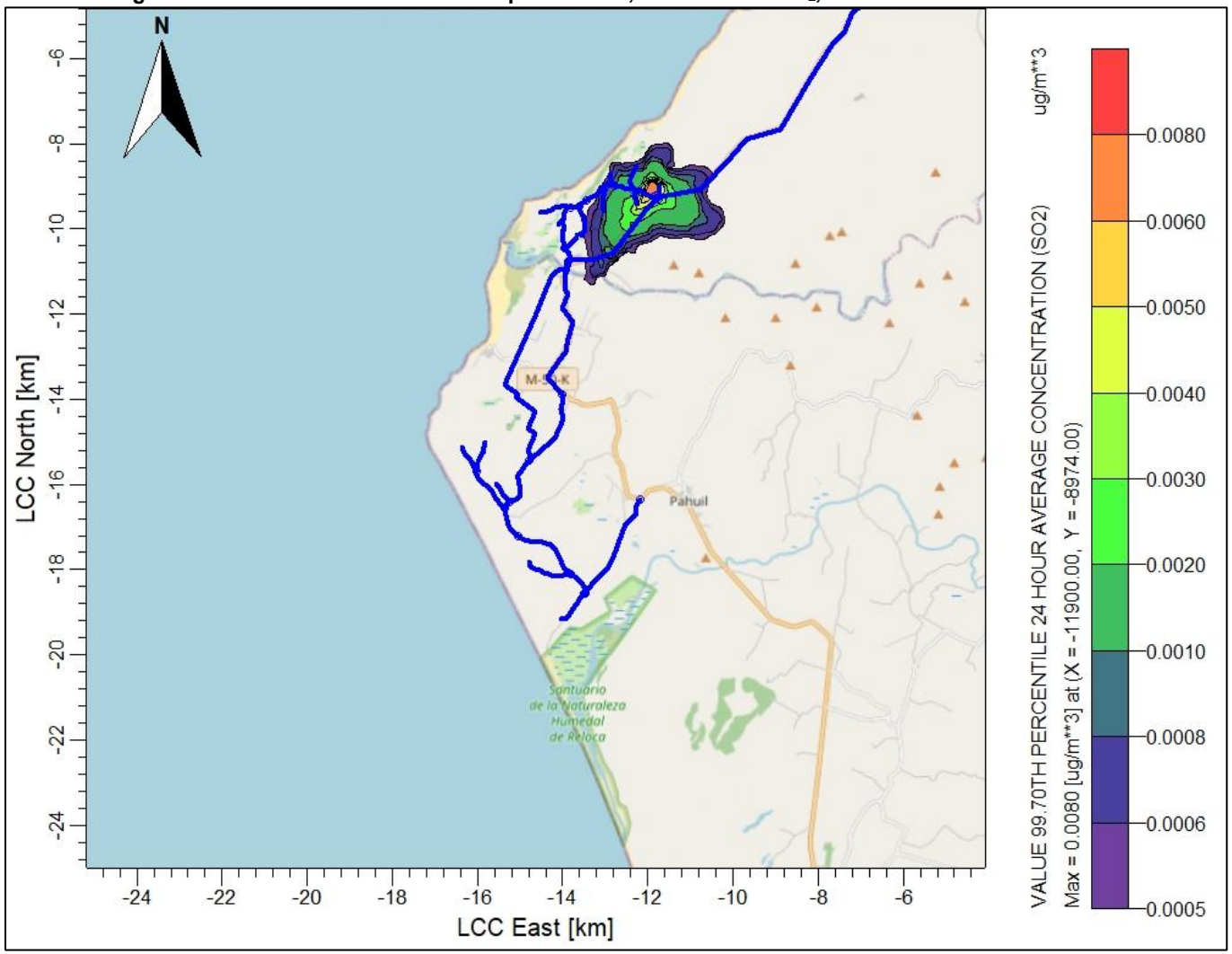
Figura 8-19: Curvas de concentración anual SO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

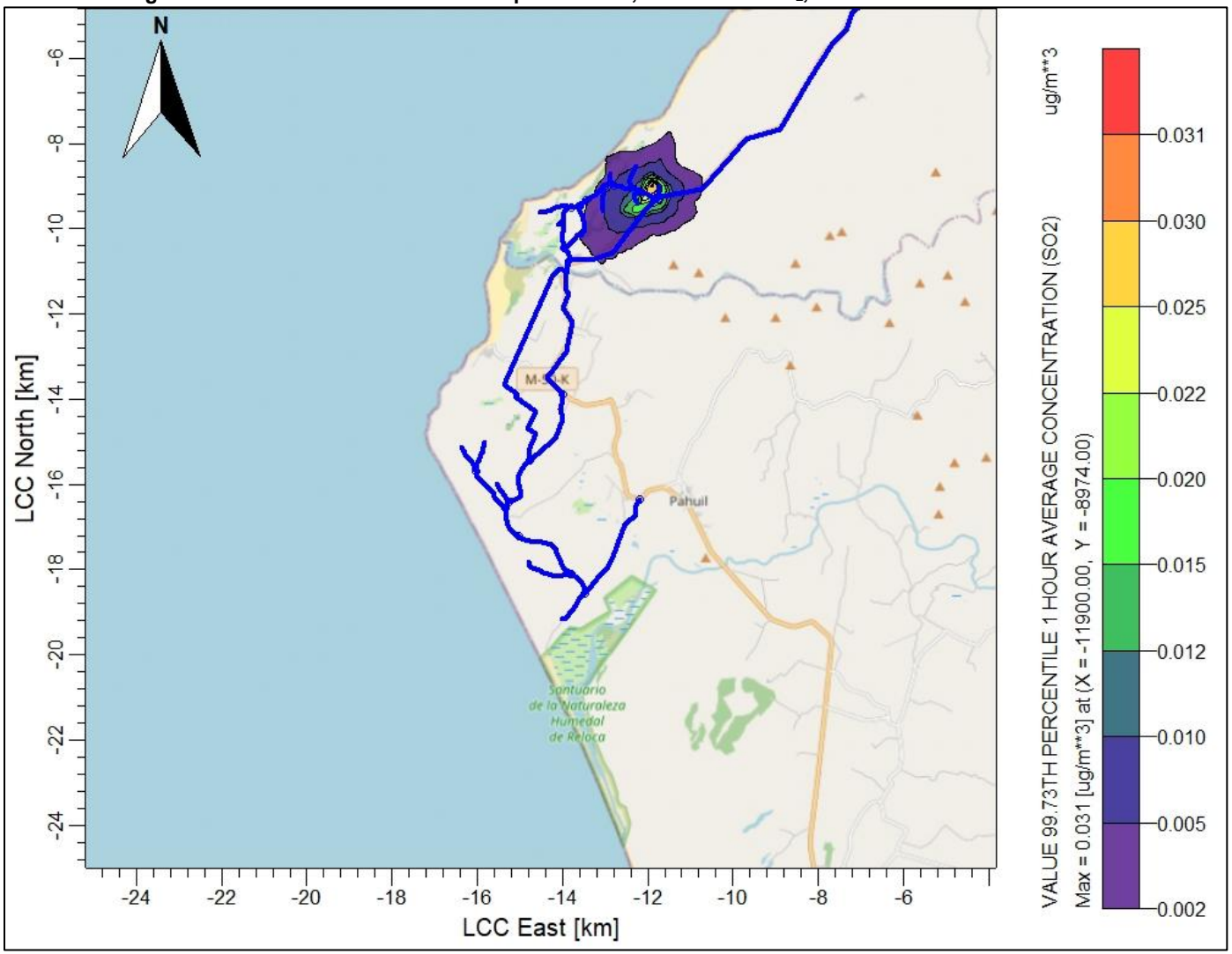
FOCO AMBIENTAL
Consultoría Medioambiental

Figura 8-20: Curvas de concentración percentil 99,7 en 24 horas SO_2, fase de construcción – Año1



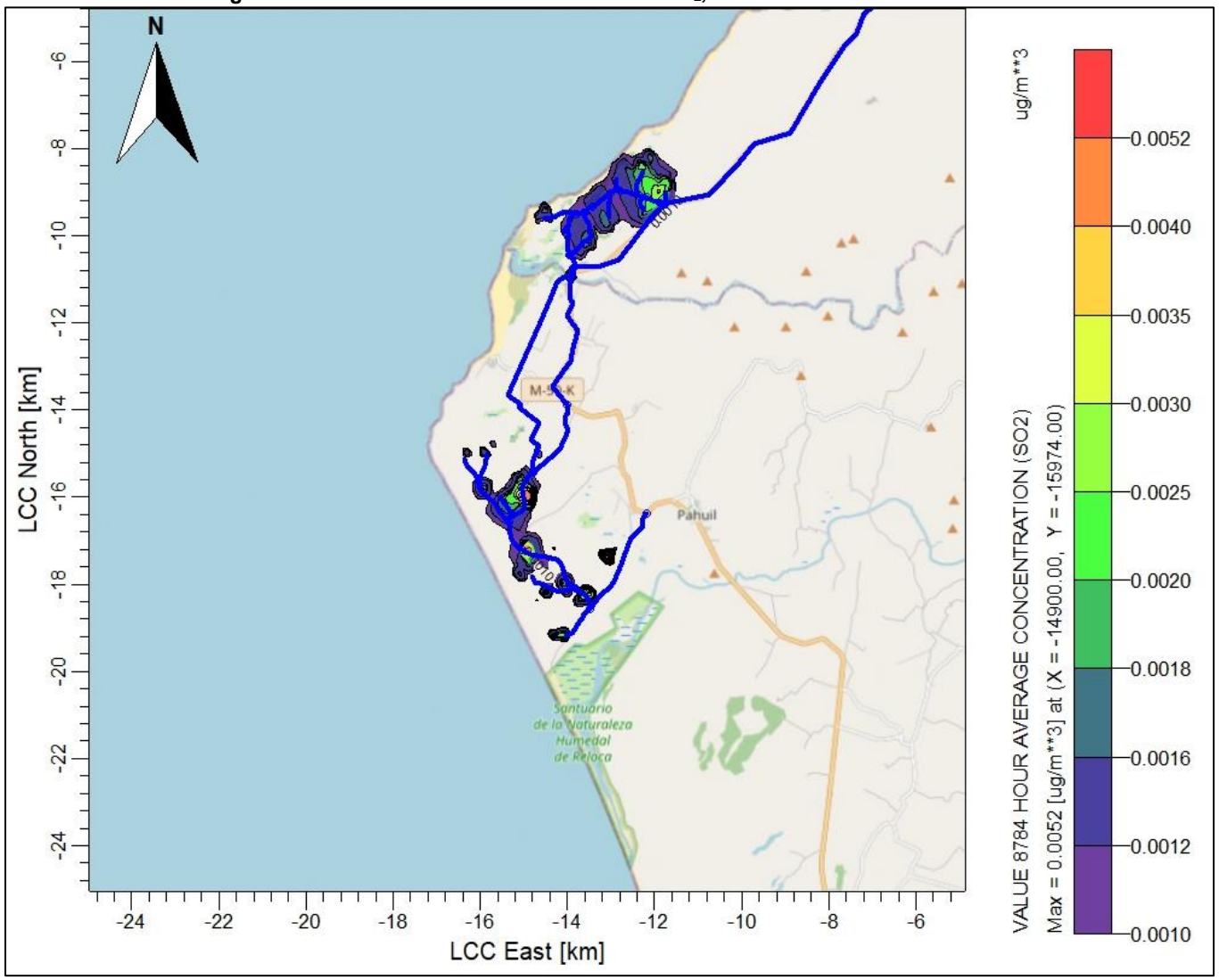
Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-21: Curvas de concentración percentil 99,73 en 1 hora SO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

Figura 8-22: Curvas de concentración anual SO_2, fase de construcción – Año1



Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.5.4 SINERGIA EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Para poder evaluar la sinergia que tendría el proyecto en evaluación con otros ya aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) se buscó aquellos emplazados en las cercanías del Parque Eólico Viento Pacifico Verde, encontrándose dos proyectos:

1.- Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA.

2.- Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18.

De la revisión de los expedientes publicados en la página del SEA, se encontraron aportes de concentración para ambos proyectos. Dado que no se tienen estaciones monitoras cercanas, en las siguientes tablas se muestra la contribución máxima sobre los receptores considerados en cada proyecto.

Tabla 8-12: Máximos aportes modelados sobre receptores – Proyecto Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA

Tabla 9.1 - Resumen de máximos aportes modelados sobre receptores			
Compuesto normado	Límite	Escenario Actual	
	µg/m³	µg/m³	% norm
PM10	150 - 24 horas	10,61	7,07%
	50- anual	1,41	2,82%
PM2.5	50- 24 horas	8,93	17,86%
	20-anual	1,16	5,8%
NO_2	400- 1 hora	9,91	2,48%
	100-anual	0,18	0,18%
CO	30.000- 1 hora	102,04	0,34%
	10.000- 8 horas	33,29	0,33%
SO_2	350- 1 hora	4,1	1,17%
	150- 24 horas	2,15	1,43%
	60-anual	0,25	0,42%

Fuente: DIA Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA.

Tabla 8-13: Máximos aportes modelados sobre receptores – Proyecto Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18

Contaminante	Estadístico	Aporte Proyecto Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/8
MPS	Promedio anual	0,065 mg/m²-día
MP10	Percentil 98 promedio diario	1,833 µg/m³
	Promedio anual	0,615 µg/m³
MP2.5	Percentil 98 promedio diario	1,106 µg/m³
	Promedio anual	0,396 µg/m³

Fuente: Anexo Modelación Atmosférica, DIA Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18.

Considerando las tablas anteriores y para evaluar el efecto sinérgico bajo una peor condición, se suman los máximos aportes en receptores tanto de los Proyecto aprobados, presentados

anteriormente, con los máximos aportes en receptores del proyecto Parque Eólico Viento Pacifico Verde.

En la siguiente tabla se observa dicha evaluación, observándose que no se sobrepasa los valores normados en ninguna métrica y contaminante.

Tabla 8-14: Evaluación efecto sinérgico considerando los máximos aportes en los receptores del proyecto en evaluación y de los proyectos Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA. y Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/8

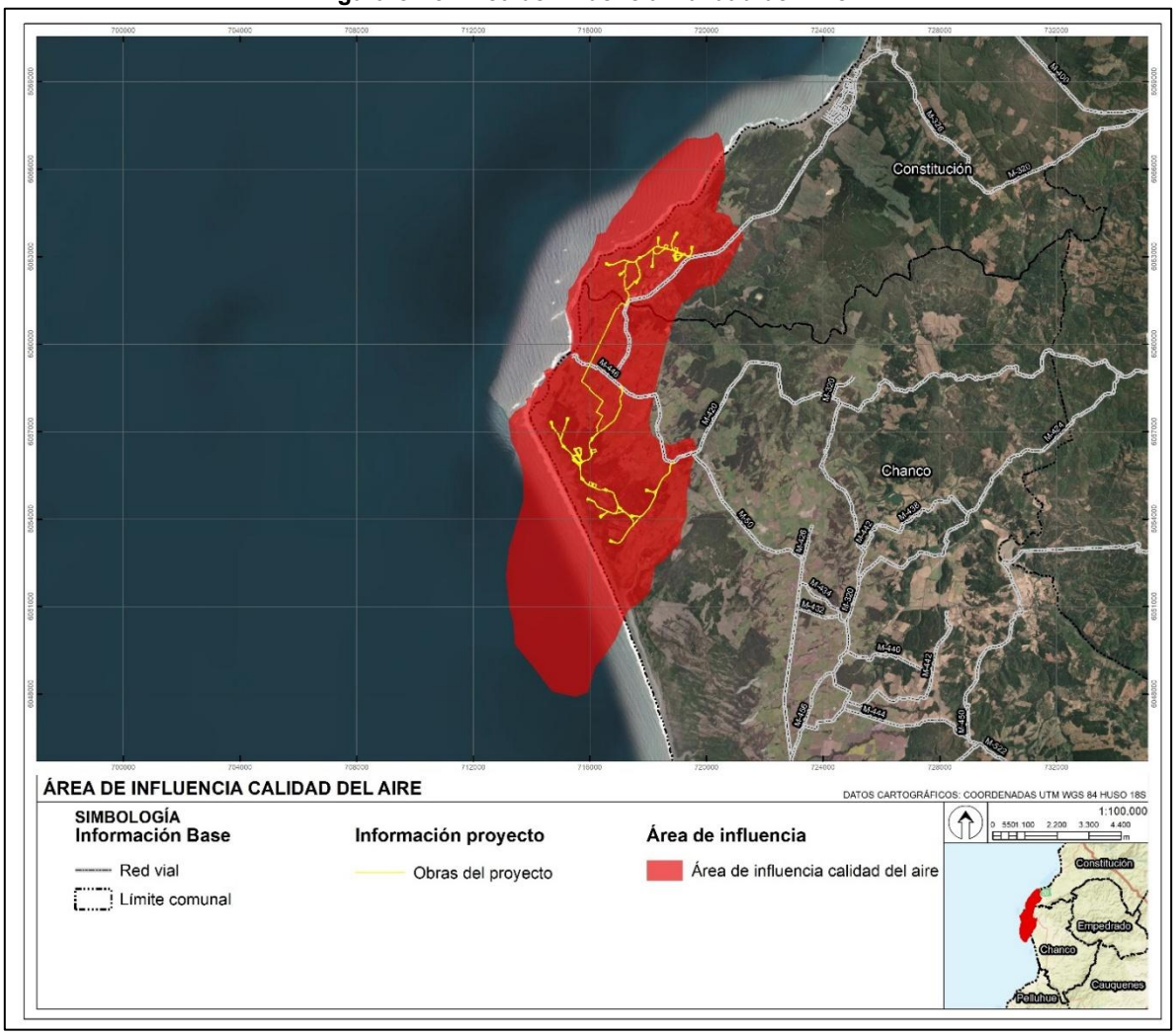
Contaminante	Estadístico	Aporte Proyecto PVPV	Aporte Proyecto Regularización Minera Toro SpA	Aporte Proyecto Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/8	Total	Norma	% AP respecto de la Norma
MPS	Promedio anual	6,4	---	0,065	6,465	200 mg/m^2-día	3%
MP10	Percentil 98 promedio diario	95,21	10,61	1,833	107,653	130 µg/m^{3}N	83%
	Promedio anual	26,34	1,41	0,615	28,365	50 µg/m^{3}N	57%
MP2.5	Percentil 98 promedio diario	10,11	8,93	1,106	20,146	50 µg/m^3	40%
	Promedio anual	2,8	1,16	0,396	4,356	20 µg/m^3	22%
NO_2	Percentil 99 máximo diario 1 hora	1,6	9,91	---	11,51	200 µg/m^{3}N	6%
	Promedio anual	0,02	0,18	---	0,2	40 µg/m^{3}N	1%
CO	Percentil 99 máximo diario 1 hora	8,54	102,04	---	110,58	30.000 µg/m^{3}N	0,4%
	Percentil 99 máximo diario 8 horas	1,63	33,29	---	34,92	10.000 µg/m^{3}N	0,3%
SO_2 - Primario	Percentil 99 1 hora	0,05	4,1	---	4,15	350 µg/m^{3}N	1%
	Percentil 99 promedio diario	0,004	2,15	---	2,154	150 µg/m^{3}N	1%
	Promedio anual	0,001	0,25	---	0,251	60 µg/m^{3}N	0,4%

Fuente: ModeloSimple, 2026.

8.5.5 ÁREA DE INFLUENCIA DE CALIDAD DEL AIRE

En base a las curvas de concentración y/o depositación de material particulado y gases, se consideró la envolvente de dichas curvas para determinar el área de influencia de calidad del aire, la cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 8-23: Área de Influencia Calidad del Aire



Fuente: ModeloSimple, 2026.

9 CONCLUSIONES

De acuerdo con los antecedentes expuestos en el presente anexo, se obtiene lo siguiente:

De la caracterización meteorológica realizada en base a información monitoreada en la estación Torre meteorológica VPV en el periodo enero-diciembre 2024, se caracterizó las variables velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

La tendencia general de la velocidad del viento alcanza intensidades sobre 10 m/s principalmente en el periodo de otoño invierno, mientras que en el periodo de primavera verano es un poco inferior, con promedios en torno a los 5 m/s.

En cuanto a la dirección de viento presenta una predominancia de vientos de componente principalmente sur suroeste y sur con algunas componentes norte y este. Las temperaturas aumentan en los meses de primavera y verano y disminuyen durante los meses de otoño e invierno. La temperatura máxima alcanza los 19,2°C registrada en el mes de febrero, mientras que las mínimas son cercanas a 1°C en el mes de julio. En cuanto a la humedad relativa monitoreada en el periodo 2024 se observa que oscila entre un 70% y un 100%, mientras que en el periodo otoño invierno oscila entre 60% y 100%. Finalmente, la presión atmosférica muestra un incremento de los valores de presión atmosférica en el periodo otoño invierno, mientras que se produce una disminución de éstos en el periodo primavera verano.

En cuanto al análisis de incertidumbre del modelo y en base a las métricas estadísticas estimadas para las variables velocidad del viento y temperatura, se obtuvo que éstas se encuentran dentro de los rangos recomendados en la “Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA” (2023), por lo cual el modelo representa de forma adecuada el comportamiento de dicha variable.

Del modelo de dispersión de emisiones atmosféricas, se obtiene que se ha seleccionado el modelo CALPUFF, dado que es recomendado por la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, en la cual se recomienda el modelo tipo “puff” CALPUFF para proyectos, cuya área de influencia es mayor a 5 km y cuyos contaminantes sean del tipo primario, es decir, cuyas emisiones se emiten directamente al ambiente.

De las emisiones atmosféricas de material particulado y gases del proyecto se obtiene que, para la modelación de contaminantes se ha considerado modelar la fase de construcción (año 1), fase en la cual se generan las máximas emisiones del proyecto. Con lo anterior se evalúa la peor condición, asegurando que las concentraciones obtenidas durante las otras fases serán inferiores.

De los resultados del modelo de dispersión, para el año 1 de la fase de construcción se tiene que tanto las concentraciones de material particulado respirable MP10 como las concentraciones de material particulado respirable fino MP2.5 se encuentran bajo el valor de las normas de calidad del aire primarias evaluadas en los receptores sensibles cercanos al proyecto.

En cuanto a los aportes en concentración de gases CO, NO_2 y SO_2, éstos se encuentran bajo el valor de las normas de calidad del aire primarias evaluadas en los receptores sensibles cercanos al proyecto.

Respecto de las concentraciones de material particulado sedimentable (MPS), se obtiene que en los receptores evaluados no se supera el valor de la norma de referencia.

En cuanto a las concentraciones obtenidas en los puntos de máximo impacto, tanto de material particulado como de gases, éstas se encuentran bajo las normas primarias y secundarias de calidad del aire respectivas.

Al evaluar el efecto sinérgico con los proyecto aprobados "Regularización de Instalaciones Minera Toro SpA" y "Ampliación de Explotación Arenas Silíceas Mina Los Carros 1/18", se observa que las concentraciones no superan los valores normados para cada contaminante evaluado, considerando como peor condición la suma de las máximas concentraciones aportadas por cada proyecto.

En base a lo anterior se descarta la generación o presencia de efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 5 y 6 del D.S N°40/ 2012 (última modificación D.S. 30/2023) por parte de las emisiones atmosféricas del proyecto "Parque Eólico Viento Pacifico Verde".

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D.S. N° 21/2021 del MMA, “Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Respirable MP10”
- D.S. N° 12/2011 del MMA, que “Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP2,5”.
- D.S. N°40/2023 MMA, que “Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Dióxido de Nitrógeno NO_2”.
- D.S. N°115/2002 MINSEGPRES, que “Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Monóxido de Carbono CO”.
- D.S. N°104/2018 MMA, que “Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Dióxido de Azufre SO_2”.
- “Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA” (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).
- Sistema de Información Nacional de calidad del aire https://sinca.mma.gob.cl/

APÉNDICE 1.4.1: PARAMETRIZACIÓN WRF (ARCHIVO DIGITAL)

APÉNDICE 1.4.2: TASA DE EMISIÓN CALPUFF (FORMATO EXCEL)

APÉNDICE 1.4.3: ARCHIVOS DE MODELACIÓN (ARCHIVO DIGITAL)

APÉNDICE 1.4.4: CURVAS DE CONCENTRACIÓN (FORMATO KMZ)