DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias" y "Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén

Decreto Exento N°257/2022

CAPITULO 1 / ANEXO 1.3

Modelación de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

2026

REVISIONES				
N° REV.	ELABORADO POR	REVISADO POR	FECHA	FIRMA RESPONSABLE
Rev 0	Lucas Castillo Elmes Licenciado en Ciencias, mención Geofísica y MSc. en Meteorología y Climatología, UCH	Benjamín Del Favero T. Ingeniero Civil de Industrias Mención en Ingeniería Ambiental (PUC).		

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo General 3

2.2 Objetivos Específicos 3

3 METODOLOGÍA 4

4 MODELO DE CALIDAD DEL AIRE 6

4.1 Tipo de Modelo de Calidad del Aire Seleccionado 6

4.2 Descripción del Modelo de Calidad del Aire Seleccionado - CALPUFF 6

4.3 Características del Modelo de Dispersión de Contaminantes 7

4.3.1 Dominio de la Modelación 7

4.3.2 Topografía del Sector 9

4.3.3 Uso de Suelos 10

4.3.4 Observation Nudging Data Assimilation 11

4.3.5 CALMET 11

4.4 Normas de Calidad del Aire 11

4.5 Línea de Base de Calidad del Aire 13

4.6 Descripción del Modelo Meteorológico Seleccionado – WRF 13

4.6.1 Selección año de modelación 15

4.6.2 Meteorología de Superficie – Valores Modelados 15

4.6.2.1 Estación Portezuelo 16

4.6.3 Meteorología de Altura – Valores Modelados 26

4.6.3.1 Estación Portezuelo 26

4.7 Análisis de Incertidumbre 30

4.7.1 Estación Portezuelo 31

4.7.1.1 Comparación Cuantitativa 31
4.7.1.2 Comparación Cualitativa 31
4.7.1.3 Velocidad y Dirección del Viento 33
4.7.1.4 Temperatura 39
4.8 Escenarios de Modelación 42
4.8.1 Fuentes Emisoras 43
4.8.2 Receptores de Interés 50
4.8.3 Resultados de la Modelación 53
4.8.3.1 Material Particulado Fino Respirable (MP2.5) 54
4.8.3.2 Material Particulado Respirable (MP10) 57
4.8.3.3 Material Particulado Sedimentable (MPS) 60
4.8.3.4 Monóxido de Carbono (CO) 63
4.8.3.5 Dióxido de Nitrógeno (NO_2) 64
4.8.3.6 Dióxido de Azufre (SO_2) 68
4.8.4 Análisis de Efectos Sinérgicos y/o Acumulativos 71
4.9 Área de Influencia 71
5 CONCLUSIONES 75
5.1 Modelación de Dispersión de Contaminantes 75
6 APÉNDICE 1: ARCHIVOS DIGITALES MODELACIÓN 77

ÍNDICE TABLAS

Tabla 4-1. Normas de calidad del aire. 11

Tabla 4-2. Configuración parámetros principales WRF. 14

Tabla 4-3. Caracterización de Velocidad del Viento. 15

Tabla 4-4. Coordenadas de ubicación y distancia al proyecto de estaciones de monitoreo. 16

Tabla 4-5. Resumen de información Velocidad del Viento Modelado. Estación Portezuelo. 16

Tabla 4-6. Resumen de información Temperatura Modelada. Estación Portezuelo. 22

Tabla 4-7. Resumen de Información Altura de Capa de Mezcla Modelada. Estación Portezuelo. 26

Tabla 4-8. Métricas estadísticas recomendables en el Análisis de Incertidumbre para las variables meteorológicas medias. 30

Tabla 4-9. Estadígrafos de Dispersión para Viento y Temperatura. Estación Portezuelo. 31

Tabla 4-10. Resumen de emisiones Proyecto. 42

Tabla 4-11. Resumen de emisiones Proyecto – Fase Construcción – Año 1. 43

Tabla 4-12. Características Fuentes Emisoras Puntuales, Areales y Lineales-Areales. 45

Tabla 4-13. Receptores de Interés. 50

Tabla 4-14. Resultados de modelo de dispersión de MP2,5. 54

Tabla 4-15. Resultados de modelo de dispersión de MP10. 57

Tabla 4-16. Resultados de modelo de dispersión de MPS. 60

Tabla 4-17. Resultados de modelo de dispersión de CO. 63

Tabla 4-18. Resultados de modelo de dispersión de NO_2. 64

Tabla 4-19. Resultados de modelo de dispersión de SO_2. 68

Tabla 4-20. Análisis de Efectos Sinérgicos y/o Acumulativos. 71

Tabla 4-21. Valores de significancia para la evaluación de impacto significativo 72

Tabla 6-1. Archivos de modelación entregados. 77

ÍNDICE FIGURAS

Figura 3.1. Diagrama Metodología de Trabajo. 5

Figura 4.1. Dominio de Modelación. 8

Figura 4.2. Topografía del Dominio de Modelación. 9

Figura 4.3. Uso de Suelos del Dominio de Modelación 10

Figura 4.4. Serie de tiempo velocidad del viento modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 17

Figura 4.5. Serie de tiempo dirección del viento modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 18

Figura 4.6. Ciclo Diario Velocidad del Viento Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 19

Figura 4.7. Ciclo Diario Dirección del Viento Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 20

Figura 4.8. Ciclo Estacional de Velocidad y Dirección del Viento Modelado. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 21

Figura 4.9. Serie de Tiempo Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 23

Figura 4.10. Ciclo Diario Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 24

Figura 4.11. Ciclo Estacional Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 25

Figura 4.12. Serie de tiempo para Altura de Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 27

Figura 4.13. Ciclo Diario Altura de Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 28

Figura 4.14 - Ciclo Estacional Altura Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo. 29

Figura 4.15. Comparación de Series de Tiempo de la Velocidad del Viento. Estación Portezuelo... 33

Figura 4.16. Comparación de Series de Tiempo de la Dirección del Viento. Estación Portezuelo. .. 34

Figura 4.17. Comparación del Ciclo Diario de la Velocidad del Viento. Estación Portezuelo. 35

Figura 4.18. Comparación de Histogramas de Dirección. Estación Portezuelo. 36

Figura 4.19. Comparación de Ciclo Estacional de Velocidad y Dirección del Viento. Estación Portezuelo. 37

Figura 4.20. Comparación de Series de Tiempo de la Temperatura. Estación Portezuelo. 39

Figura 4.21. Comparación del Ciclo Diario de la Temperatura. Estación Portezuelo. 40

Figura 4.22. Comparación de Ciclo Estacional de Temperatura. Estación Portezuelo. 41

Figura 4.23. Ubicación Fuentes Emisoras..... 44

Figura 4.24. Ubicación de Receptores de Interés. 51

Figura 4.25. Ubicación de Grilla de Receptores. 52

Figura 4.26. Curva de Isoconcentración percentil 98 período 24 horas MP2,5 (µg/m^3). 55

Figura 4.27. Curva de Isoconcentración período anual MP2,5 (µg/m^3)..... 56

Figura 4.28. Curva de Isoconcentración percentil 98 período 24 horas MP10 (µg/m^3). 58

Figura 4.29. Curva de Isoconcentración período anual MP10 (µg/m^3)..... 59

Figura 4.30. Curva de Isodepositación periodo mensual MPS (mg/m^2/día). 61

Figura 4.31. Curva de Isodepositación periodo anual MPS (mg/m^2/día)..... 62

Figura 4.32. Curva de Isoconcentración percentil 99 periodo 1 hora NO_2 (µg/m^3). 65

Figura 4.33. Curva de Isoconcentración percentil 99 periodo 24 horas NO_2 (µg/m^3). 66

Figura 4.34. Curva de Isoconcentración periodo anual NO2 (µg/m^3). 67

Figura 4.35. Curva de Isoconcentración periodo horario SO_2 (µg/m^3). 69

Figura 4.36. Curva de Isoconcentración periodo diario SO_2 (µg/m^3) 70

Figura 4.37. Área de Influencia Proyecto para Normativa Primaria de Calidad de Aire. 73

Figura 4.38. Área de Influencia Proyecto para Normativa Secundaria de Calidad de Aire. (MPS) ... 74

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene la modelación de dispersión de contaminantes del Proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias" y "Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV – Coiquén", en adelante el "Proyecto", el cual se ubicará en la comuna de Quirihue, Región de Ñuble.

En términos generales, el Proyecto considera la construcción y operación de dos nuevas subestaciones eléctricas, una nueva línea de transmisión aérea en 66 kV y el seccionamiento de una línea de transmisión existente en 220 kV, conformando una solución integrada de transmisión eléctrica. Las principales partes, obras y acciones que componen el Proyecto son las siguientes:

- Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, incluye patios en 220 kV y 66 kV, además de un transformador de poder 220/66 kV.
- Línea de Seccionamiento en 220 kV, correspondiente al tramo aéreo que conecta la línea 2×220 kV Dichato – Nueva Cauquenes con la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias. Tienen una longitud de 0,9 km aproximadamente.
- Nueva Subestación Coiquén, que contará con patios en 66 kV y 23 kV, incorporando un transformador de poder 66/23 kV.
- Nueva Línea de Transmisión 2×66 kV Las Delicias – Coiquén, línea aérea de doble circuito de aproximadamente 9,0 km, destinada a interconectar ambas subestaciones.

A partir de los resultados de la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos, los cuales se presentaron en el Anexo 1.2: "Inventarios de Emisiones Atmosféricas", y con el objetivo de estimar el aporte del proyecto en la concentración de contaminantes atmosféricos sobre la zona de emplazamiento, se presenta un modelo de calidad del aire CALPUFF siguiendo los lineamientos de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA, 2023)".

En primer lugar, se describe el tipo de modelo de calidad del aire seleccionado y su justificación para la aplicación en este estudio. Luego se presentan las características del modelo de dispersión de contaminantes; dominio de modelación, topografía del sector y uso de suelos. A su vez, se presentan datos de meteorología de superficie y altura modelada con el modelo meteorológico WRF para la zona, los cuales, posteriormente, son utilizados como datos de entrada para el modelo de dispersión de contaminantes CALPUFF.

Con el objetivo de validar la capacidad del modelo meteorológico WRF (*Weather Research and Forecasting*) de representar la meteorología local, se presenta un análisis de incertidumbre en el cual se comparan, en forma cualitativa, datos observados y modelados a nivel de ciclo diario y anual,

y en forma cuantitativa con el cálculo de estadígrafos útiles para determinar la capacidad del modelo de representar datos observados.

Para establecer un punto de comparación de los resultados del modelo de calidad del aire, se presentan las normas de calidad del aire aplicables al proyecto. Luego, se presentan los escenarios de modelación. Se describen y presentan las fuentes de emisión junto con la caracterización de estas; tipo de fuente, dimensión característica y tasas de emisión.

Se presentan los resultados cualitativos y cuantitativos de la modelación de dispersión de los siguientes contaminantes atmosféricos: material particulado fino respirable (MP2,5), material particulado respirable (MP10), material particulado sedimentable (MPS), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2). Lo anterior se realiza para cada contaminante en forma cuantitativa a través de tablas, donde se presenta el aporte del proyecto sobre cada receptor y su respectiva comparación con la norma de calidad del aire aplicable y, en forma cualitativa con la presentación de curvas de isoconcentración para cada contaminante, las que permiten visualizar a modo global la dispersión de contaminantes dentro del dominio de modelación considerando también a los receptores discretos seleccionados. Luego, se presenta la concentración total (línea de base, aportes del proyecto y externalidades evaluadas) en la estación de calidad del aire, comparándola con la norma de referencia de calidad del aire.

Finalmente, se presentan las principales conclusiones del estudio.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto que podrían tener las emisiones atmosféricas asociadas del proyecto sobre la calidad del aire en los receptores de interés para así cumplir con los requerimientos indicados en la Ley N° 19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente, sus modificaciones a través de la Ley N° 20.417 y el Reglamento del SEIA D.S. N° 40/2013 en relación con los requisitos mínimos y criterios para realizar una Evaluación de Impacto Ambiental de Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del presente informe se listan a continuación:

- Definir un dominio de modelación acorde a la magnitud del Proyecto y la capacidad potencial que tengan los contaminantes a dispersar en la atmósfera, asimismo incluyendo a los receptores discretos de interés.
- Presentar la caracterización de meteorología de la zona de emplazamiento del Proyecto a partir del modelo meteorológico WRF, y utilizar este último como dato de entrada en la modelación de dispersión de contaminantes en el software CALPUFF.
- Identificar las principales fuentes de emisión asociadas al Proyecto y georreferenciarlas dentro del dominio de modelación.
- Modelar la dispersión de los contaminantes atmosféricos mediante el software CALPUFF para los escenarios en estudio.
- Establecer el aporte total de la concentración o depositación de contaminantes atmosféricos en cada receptor de interés y presentar las concentraciones esperadas dentro del dominio de modelación mediante curvas de isoconcentración para cada contaminante, según corresponda.
- Evaluar los efectos de los aportes netos del Proyecto mediante la comparación de los estos con la normativa vigente.

3 METODOLOGÍA

En el siguiente apartado, se describen los pasos que definen la metodología utilizada para la elaboración de la modelación de dispersión de contaminantes del Proyecto.

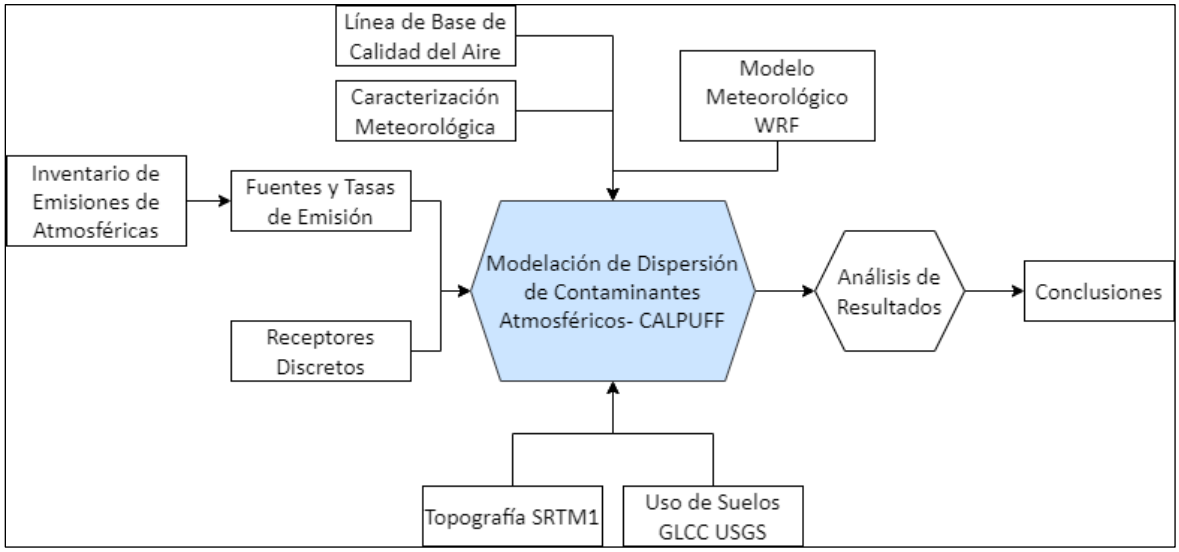
- *Estimación de emisiones y fuentes de emisión:* a partir de los resultados presentados en el Anexo 1.2: "Inventarios de Emisiones Atmosféricas", se definen las fuentes de emisión y emisiones asociadas a cada una de ellas, las cuales son georreferenciadas dentro del dominio de modelación.
- *Receptores discretos:* se definen los receptores de interés dentro del dominio de modelación para cada escenario, con el fin de evaluar el aporte de la concentración de contaminantes atmosféricos sobre cada uno de estos, tales como estaciones de monitoreo, viviendas, etc.
- *Modelo meteorológico Weather Research and Forecasting (WRF):* se modela la meteorología de un año calendario, para posteriormente utilizar dicho modelo en la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos.
- *Caracterización meteorológica:* se realiza una caracterización de las variables meteorológicas relevantes a partir de coordenadas dentro del dominio del modelo meteorológico WRF.
- *Topografía:* se obtienen los datos de topografía del dominio de modelación a partir de Shuttle Radar Topography (SRTM1), cuya resolución es aproximadamente de 30 metros. Estos datos son parámetros relevantes de entrada en cuanto al relieve del dominio de modelación.
- *Uso de suelos:* se obtienen los datos de uso de suelos de la zona a partir de los archivos Global Land Cover Characterization (GLCC) publicados por el US Geological Survey (USGS). Estos datos son parámetros relevantes de entrada para que el modelo posea la información acerca de los diversos tipos de uso de suelos presente dentro del dominio de modelación.
- *Modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos (CALPUFF):* a partir de los principales datos de entrada del modelo, tales como fuentes de emisión, receptores discretos, datos meteorológicos, topografía y uso de suelos, se realiza la modelación de dispersión de contaminantes utilizando el software CALPUFF, a modo de determinar la dispersión de los siguientes contaminantes: material particulado respirable fino (MP2.5),

material particulado respirable (MP10), material particulado sedimentable (MPS), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO).

- *Análisis de resultados:* a partir de los resultados de la modelación, se presentan los aportes del Proyecto en cuanto a la concentración de los contaminantes modelados para cada uno de los receptores discretos identificados. Además, se presentan las curvas de isoconcentración dentro del dominio de modelación, según corresponda para cada contaminante.
- *Conclusiones:* se presentan las principales conclusiones del estudio realizado.

De esta manera, conforme a los pasos señalados anteriormente, en la siguiente figura se muestra un mapa conceptual con los principales ejes de la metodología de trabajo descrita.

Figura 3.1. Diagrama Metodología de Trabajo.



Fuente: Elaboración Propia.

4 MODELO DE CALIDAD DEL AIRE

4.1 Tipo de Modelo de Calidad del Aire Seleccionado

Los principales factores por considerar para la selección de un modelo corresponden al tipo de terreno presente en el área del proyecto, es decir, si es plano o complejo, y el tipo de contaminante a emitir, si es primario o secundario. De acuerdo con lo recomendado en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA", en el área de emplazamiento del proyecto existen factores que podrían perturbar el carácter lineal de los vientos, por lo anterior, es necesario utilizar un modelo que permita simular meteorología heterogénea. Debido a lo anterior, se ha seleccionado un modelo tipo "*puff*" para la ejecución de la modelación de calidad del aire.

A continuación, se presenta el detalle del modelo tipo "*puff*" a utilizar.

4.2 Descripción del Modelo de Calidad del Aire Seleccionado - CALPUFF

Como se indicó anteriormente, el entorno del área del proyecto presenta sectores de topografía compleja, que podrían interferir en el carácter lineal de los vientos, se seleccionó como modelo de calidad del aire, CALPUFF. La descripción del mencionado modelo se presenta a continuación.

CALPUFF, es un modelo de libre disposición, que fue desarrollado por *Research Corporation*, siendo Lakes Environmental Inc., empresa que es su soporte técnico actual.

Es un modelo de dispersión de contaminantes, no estacionario, multi-capa, que es capaz de modelar múltiples especies. Puede simular los efectos del tiempo – y en el espacio – las diversas condiciones meteorológicas en el transporte de contaminantes. Corresponde a un modelo Lagrangiano-Gaussiano de transporte y dispersión de "*puff*" emitidos por las fuentes emisoras consideradas. Dentro de las capacidades del Modelo de Calidad del Aire, se puede destacar lo siguiente:

- Simulación de procesos complejos: fumigación, estancamiento y recirculación.
- Modelación de transporte de contaminantes de largo alcance.
- Incorporación de efectos de terreno complejo en la dispersión de contaminantes.
- Modelación de procesos de transformaciones químicas. Posee un módulo para realizar el post-procesamiento de datos, denominado CALPOST, el cual calcula las concentraciones en los receptores de interés, permitiendo gestionar los datos para cada contaminante, según el período de tiempo requerido para el análisis.

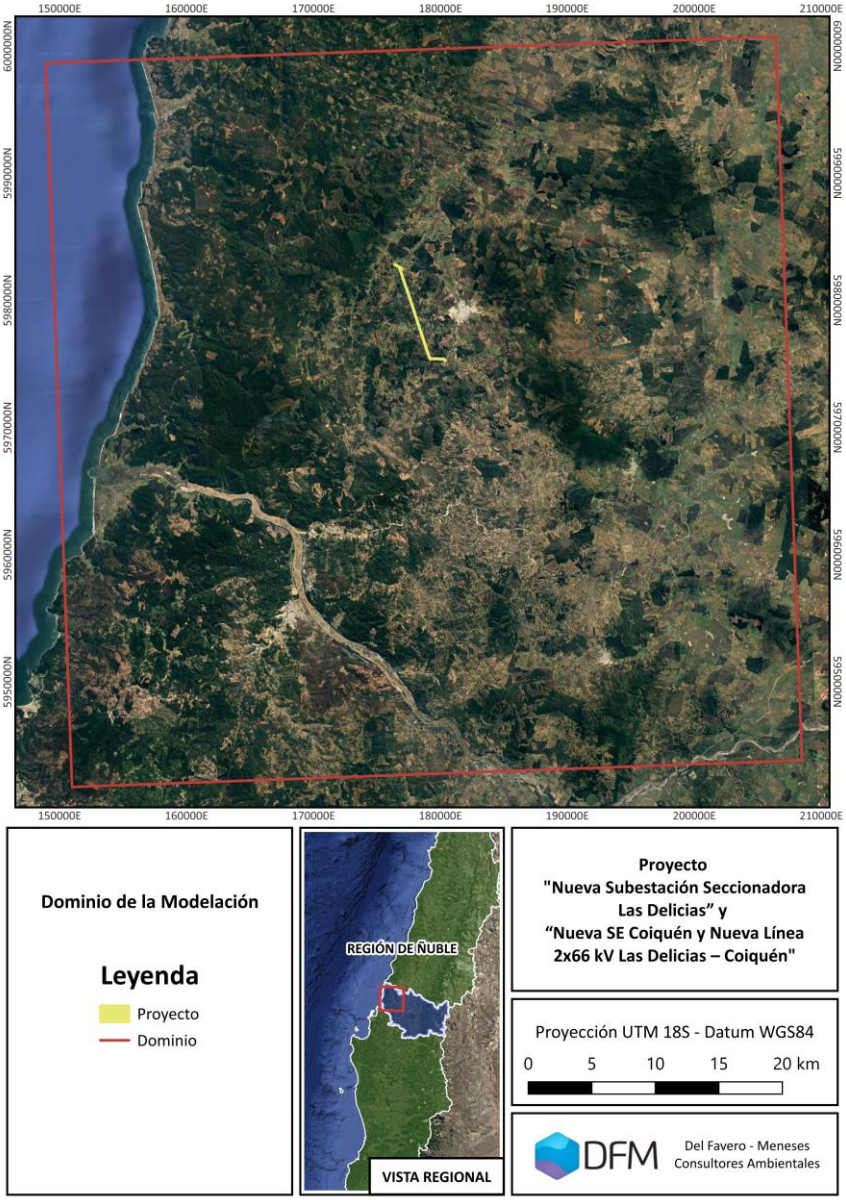
En casos de altas emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx), que son precursores de material particulado secundario (SO_2 y NO_3), se utiliza un método de transformación química. Particularmente, en este proyecto, se utilizó la opción 6 de método de transformación química, el cual utiliza el mecanismo RIVAD (mecanismo químico para la transformación de SO_2 a SO_4, y NO/NO_2 en HNO_3 y NO_3) con ISORROPIA (modelo de equilibrio gas-partícula inorgánica). Para que el modelo con transformación química funcione adecuadamente, se separaron las emisiones de NOx en una relación de 10% de NO_2/NOx; a su vez, las emisiones de NO se estimaron considerando que el factor de emisión asume el total de NOx como NO_2, por lo que se pondero la emisión total, considerando el peso molecular del compuesto.

4.3 Características del Modelo de Dispersión de Contaminantes

4.3.1 Dominio de la Modelación

En la siguiente figura se presenta el dominio de modelación, el cual corresponde a un área de 57 x 57 kilómetros, con una resolución de celdas de 1.000 × 1.000 m.

Figura 4.1. Dominio de Modelación.



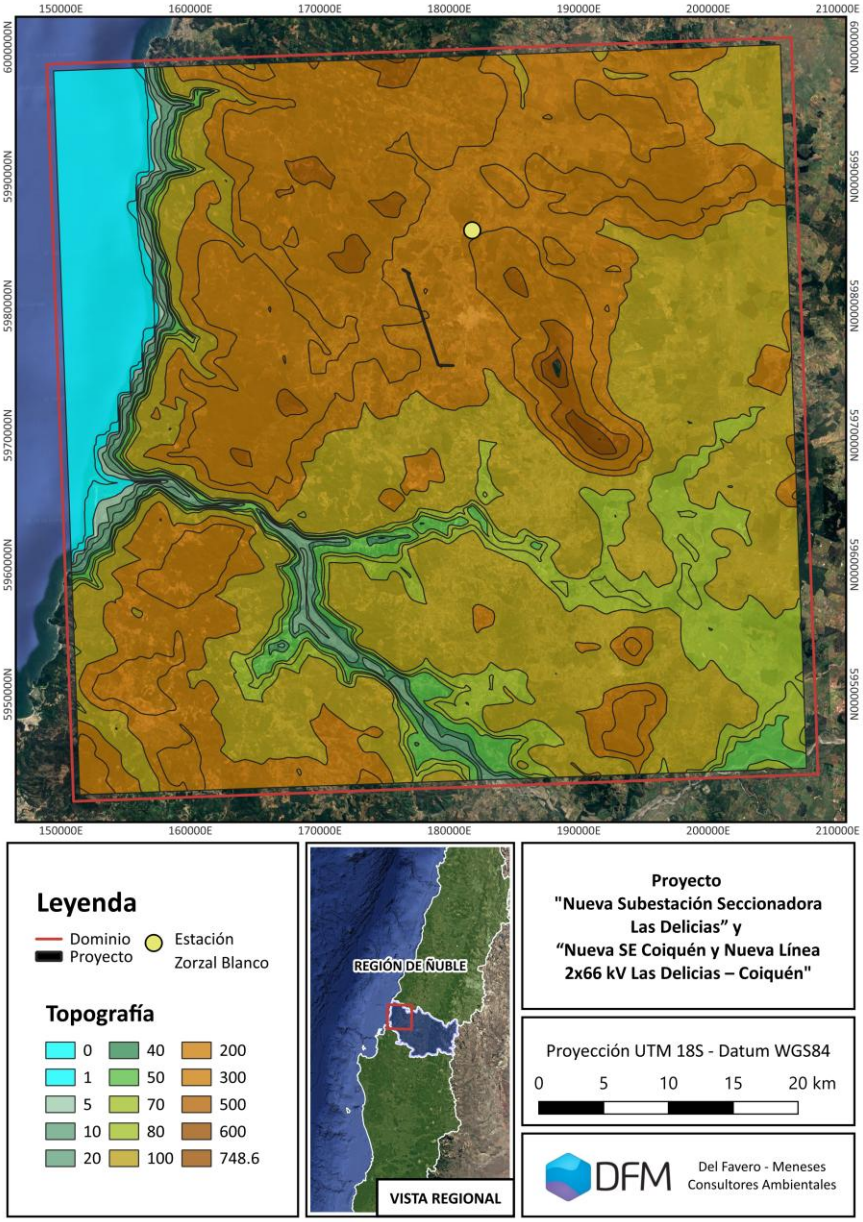
Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Topografía del Sector

La topografía del sector se ha extraído de Shuttle Radar Topography Mission, SRTM1, cuya resolución es aproximadamente 30 m.

El archivo SRTM1 ha sido incorporado al modelo con el objetivo de proporcionar la altura de los puntos de interés. En la Figura 4.2 se presenta una imagen de la información utilizada.

Figura 4.2. Topografía del Dominio de Modelación.

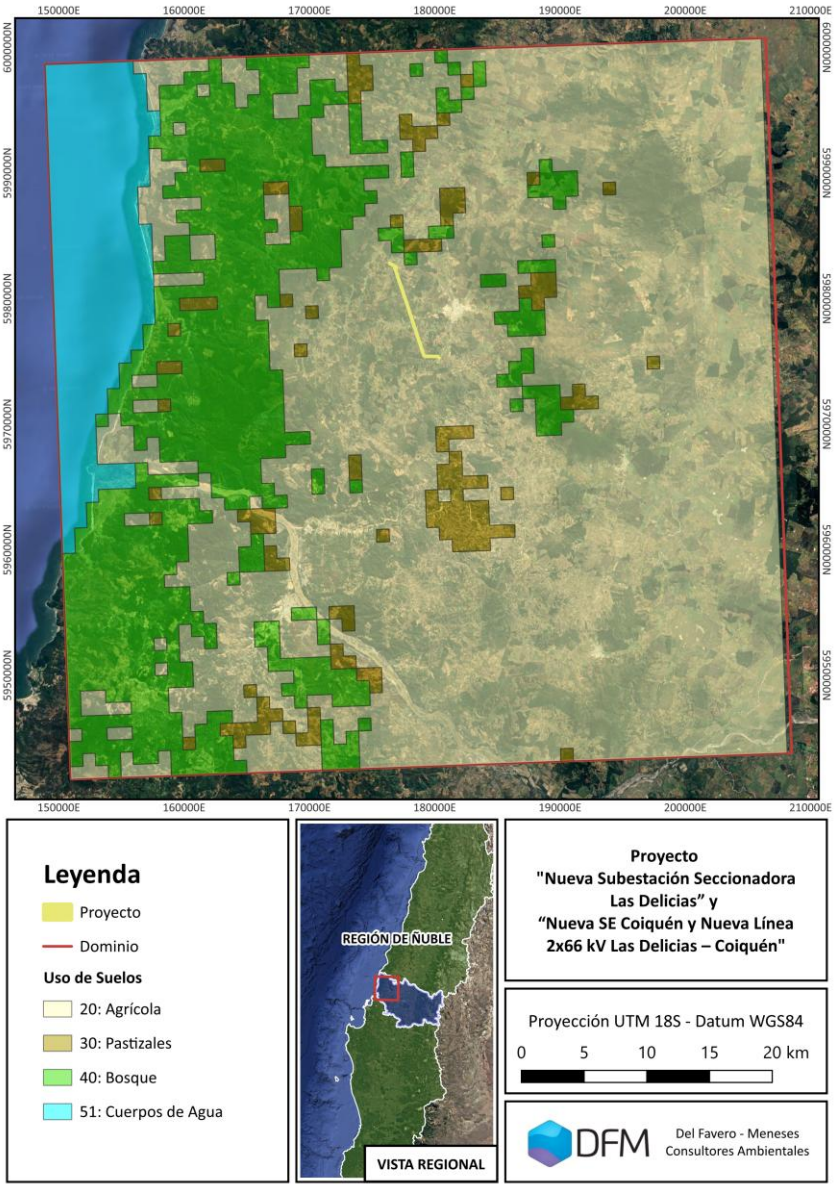


Fuente: Elaboración Propia.

4.3.3 Uso de Suelos

De acuerdo con el dominio de modelación y con la información relacionada al uso de suelo de la zona, obtenida a través de los archivos *Global Land Cover Characterization* (GLCC) publicados por el *U.S. Geological Survey* (USGS), en la Figura 4.3 se presentan los principales usos de suelos dentro del dominio señalado, en donde se puede apreciar que predominan los suelos tipo bosque, cuerpos de agua, agrícola, y pastizales.

Figura 4.3. Uso de Suelos del Dominio de Modelación.



Fuente: Elaboración Propia.

4.3.4 Observation Nudging Data Assimilation

Para obtener un mejor ajuste de la modelación se realizó una asimilación de datos del tipo "*observation nudging*" o "*station nudging*", que consiste en usar datos observacionales para guiar al modelo e ir gradualmente "relajándolo" hacia los valores de las observaciones.

Esta técnica usa las diferencias entre el modelo y la observación para aplicar pequeñas correcciones a las variables del modelo. Estas correcciones se esparcen espacialmente, asumiendo que el error en la ubicación de la observación está correlacionado con el error en otras ubicaciones en el dominio del modelo, ajustando también el espacio en torno a la ubicación de la observación.

Para la aplicación de este método se utilizaron las mediciones de la estación Zorzal Blanco ubicada al noreste del proyecto, siendo la estación meteorológica más cercana, con el año de modelación con 75% de los datos válidos, como se muestra en la Figura 4.2.

4.3.5 CALMET

Para un mejor ajuste de la modelación sobre los datos observados, se utilizó la herramienta CALMET, que es el preprocesador meteorológico del sistema CALPUFF. Genera campos tridimensionales de viento y variables de capa límite a alta resolución, combinando terreno y uso de suelo (canalización en valles, flujos de ladera, brisas); Salidas de modelos meteorológicos como un "*first-guess*" o primera aproximación; y observaciones de estaciones para ajustar el campo cercano a superficie.

En particular, para este ajuste se ocuparon los datos de las estaciones meteorológicas Zorzal Blanco, y las variables de velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y temperatura.

4.4 Normas de Calidad del Aire

En la Tabla 4-1 se presenta la normativa de calidad del aire de los contaminantes de interés para el Proyecto, los cuales corresponden a: material particulado respirable fino (MP2.5), material particulado respirable (MP10), Material Particulado Sedimentable (MPS), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO).

Tabla 4-1. Normas de calidad del aire.

Contaminante	Decreto Aplicable	Tipo de normativa	Norma		Periodo de Evaluación de Cumplimiento de Norma
			Valor	Unidad	
Material Particulado Respirable Fino (MP2.5)	Decreto Supremo N°12/2011	Primaria	50	µg/m^3	Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas
			20		Concentración anual
Material Particulado Respirable (MP10)	Decreto Supremo N°12/2022	Primaria	130	µg/m^{3}N	Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas
			50		Concentración anual

Contaminante	Decreto Aplicable	Tipo de normativa	Norma		Periodo de Evaluación de Cumplimiento de Norma
			Valor	Unidad	
Material Particulado Sedimentable (MPS)	República de Argentina[1]	Secundaria	333	mg/(m²día)	Concentración mensual.
	Norma de referencia Confederación Suiza, Recursos Naturales[2]		200		Concentración anual.
Monóxido de Carbono (CO)	Decreto Supremo N°115/2002	Primaria	30	mg/m³N	Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora
			10		Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Decreto Supremo N°40/2023	Primaria	200	µg/m³N	Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora
			100		Percentil 99 de concentración de 24 horas
			40		Concentración anual
Dióxido de Azufre (SO_2)	Decreto Supremo N°104/2019	Primaria	350	µg/m³N	Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora.
			150		Percentil 99 de las concentraciones de 24 horas
			60		Concentración anual

Fuente: Elaboración Propia.

[1] Decreto 1074/2018, Anexo III https://normas.gba.gob.ar/documentos/0zWjvSXx.pdf

[2] Ordinance on Air Pollution Control N° 814.318.142.1, Anexo 7 https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/en#annex_7

4.5 Línea de Base de Calidad del Aire

En el área de influencia no existe información pública de monitoreos de calidad del aire, sin embargo, dada la baja magnitud de las emisiones del proyecto y su temporalidad acotada en el tiempo es posible descartar riesgos a la salud, toda vez que los resultados de la modelación presentan valores de baja magnitud en relación con las normas de calidad del aire.

4.6 Descripción del Modelo Meteorológico Seleccionado – WRF

Weather Research and Forecasting Model o WRF por sus siglas en inglés, es un sistema de modelación atmosférico de mesoescala ampliamente usado a nivel mundial en contextos de investigación y de pronósticos operacionales. En Chile, es el modelo numérico recomendado para la generación de datos meteorológicos en la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA, 2023).

El modelo utiliza una grilla tridimensional para representar la atmósfera y sus procesos (radiación atmosférica, capa superficial y capa límite y procesos de formación de nubes y de precipitación, entre otros) en distintas escalas espaciales, las cuales pueden variar desde las decenas de metros hasta miles de kilómetros. Utiliza información de topografía y uso de suelo y de meteorología observada o modelada proveniente de modelos meteorológicos globales para definir las condiciones iniciales y de borde para la simulación de pronósticos meteorológicos.

A continuación, se describen las fuentes de la información suministrada y su tratamiento:

Topografía del dominio de modelación: Se ha utilizado información topográfica de alta resolución proveniente del modelo *Shuttle Radar Topography Mission*, SRTM1, cuya resolución es aproximadamente 30 m.

Uso de suelo: Se ha utilizado información de uso de suelos de alta resolución proveniente del modelo *Copernicus Global Land Service*: *Land Cover* 100m con una resolución de 100 metros.

Meteorología proveniente de un modelo meteorológico global: Se han utilizado los resultados del modelo ERA 5, año 2024. Este modelo corresponde a estimaciones horarias de una gran cantidad de variables climáticas atmosféricas, terrestres y oceánicas. Los datos cubren la Tierra en una grilla de aproximadamente 30 km de resolución y resuelven la atmósfera hasta una altura de 80 km.

Los principales parámetros utilizados para la configuración del modelo meteorológico se presentan a continuación en la

Tabla 4-2, estos fueron seleccionados por su capacidad de adaptación a la topografía compleja y a modelos de alta resolución (< 3 km). La configuración del modelo se presenta en el APÉNDICE 1: ARCHIVOS DIGITALES MODELACIÓN (sección 6 del presente informe).

Tabla 4-2. Configuración parámetros principales WRF.

Parámetro	**Valor**
Dominio	
Resolución horizontal	1 km
Proyección	Lambert
Dimensión	64x64x36
Número de niveles verticales	36
Niveles verticales (eta)	0.000000, 0.105547, 0.203709, 0.294488, 0.377883, 0.453894, 0.522521, 0.583764, 0.637623, 0.684099, 0.723190, 0.754897, 0.778366, 0.803292, 0.826886, 0.849148, 0.870076, 0.889673, 0.907937, 0.923302, 0.937101, 0.949333, 0.960000, 0.969101, 0.976635, 0.982603, 0.987005, 0.989841, 0.991111, 0.992381, 0.993651, 0.994921, 0.996190, 0.997460, 0.998730, 1.000000
Física	
Esquema de radiación	RRTMG (Onda corta y larga)
Modelo de suelo	Modelo Noah Land Surface
Tratamiento de capa superficial	Revised MM5 surface layer
Parametrización de capa límite	Yonsei University
Esquema de convección	Kain-Fritsch
Microfísica de nubes y precipitación	WSM 3-class
Dinámica	
Parametrización de turbulencia	Smagorinsky
Núcleo dinámico	EM (Advanced Mass) y No hidroestático
Advección	positiva-definitiva

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.1 Selección año de modelación

Dado que el área de estudio no cuenta con estaciones de monitoreo de calidad del aire con registros públicos que permitan caracterizar una línea de base representativa, la evaluación de la dispersión atmosférica se fundamenta en la información meteorológica disponible en el entorno del Proyecto. En este contexto, la selección del año de modelación atmosférica se realizó a partir del análisis de los episodios de calma registrados en las estaciones meteorológicas cercanas de acuerdo con la línea de base, las cuales son: Zorzal Blanco, Ninhue, Puralihue y Portezuelo, donde, solo Zorzal Blanco y Portezuelo tienen datos con calidad asegurada para el trienio 2023 a 2025.

En la Tabla 4-3 presenta una caracterización de las estaciones cercanas con datos validos en el último trienio, correspondientes a Zorzal Blanco y Portezuelo.

Tabla 4-3. Caracterización de Velocidad del Viento.

Estación	Año	Velocidad del Viento (m/s)				
		Promedio	Máximo	Mínimo	Calmas (%)	Datos Validos (%)
Zorzal Blanco	2023	1,95	11,41	0	29,06	54,60
	2024	1,98	14,89	0	29,60	97,73
	2025	1,80	12,01	0	34,55	93,18
Portezuelo	2023	2,82	11,57	0	24,77	100
	2024	2,71	10,25	0	27,30	100
	2025	2,74	10,42	0	26,55	100

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de este análisis, se seleccionó el año 2024 como año representativo para la modelación atmosférica, debido a que presenta el mayor porcentaje de calmas para la estación Portezuelo, esta condición implica una menor capacidad de dispersión de contaminantes en la atmósfera y, por consiguiente, representa un escenario más conservador para la evaluación de los impactos asociados a las emisiones del Proyecto. La elección de Portezuelo se basa en que es la única estación con el único trienio disponible con más del 75% de datos validos de acuerdo con la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" y la cercanía a grandes ciudades (Chillán, que tiene un Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica) lo que, por lo tanto, representa un escenario conservador para el año de modelación.

4.6.2 Meteorología de Superficie – Valores Modelados

Para realizar el análisis de la meteorología modelada, se seleccionó el punto de referencia correspondiente a la estación Portezuelo, con disponibilidad mayor a 75% para el año de modelación.

Tabla 4-4. Coordenadas de ubicación y distancia al proyecto de estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (Datum WGS84, Huso 19S)		Periodo de Datos Disponibles	Distancia al Proyecto [m]	Propietario
	Este (m)	Norte (m)			
Portezuelo	736.359	5.954.022	Enero a diciembre de 2025	29.844	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2.1 *Estación Portezuelo*

a) Velocidad y Dirección del Viento

En la Tabla 4-5 se presenta el resumen de información para la variable velocidad del viento modelada, específicamente el promedio, máximo y mínimo del año 2024, además del porcentaje de calmas, el cual se define como el porcentaje del tiempo en que la velocidad del viento es menor a 0,5 m/s.

De acuerdo con lo establecido en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA", las series de datos meteorológicos deben contener un 75% de datos válidos, lo cual se cumple para el año en estudio debido a que se cuenta con la completitud de los datos a partir del modelo WRF.

Tabla 4-5. Resumen de información Velocidad del Viento Modelado. Estación Portezuelo.

Parámetro	Variable	Año
		2024
Velocidad de Viento (m/s)	Promedio	3,5
	Máximo	11,4
	Mínimo	0,03
	Porcentaje de Calmas (%)	4,5
	Datos Válidos (%)	100

Fuente: Elaboración Propia.

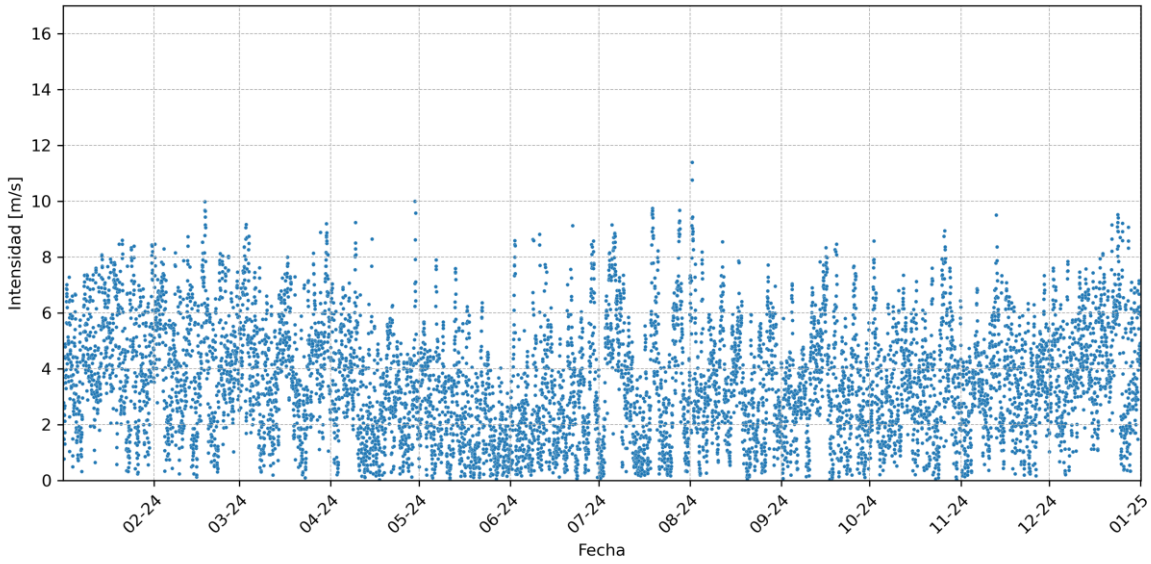
A continuación, se muestran las series de tiempo, ciclos diarios y ciclo estacional para las variables meteorológicas modeladas velocidad y dirección del viento.

Series de Tiempo

De tal manera de verificar la completitud de los datos, en la Figura 4.4 y Figura 4.5 se presentan las series de tiempo para la variable velocidad y dirección del viento modeladas, respectivamente, en donde es posible observar que se cuenta con el 100% de los registros para ambas variables.

Adicionalmente, se observa que la mayoría de las velocidades del viento se encuentran en el rango de 0 a 8 m/s durante todo el año. Sin embargo, existen algunos valores aislados que superan este intervalo, alcanzando valores máximos de 11,4 m/s aproximadamente.

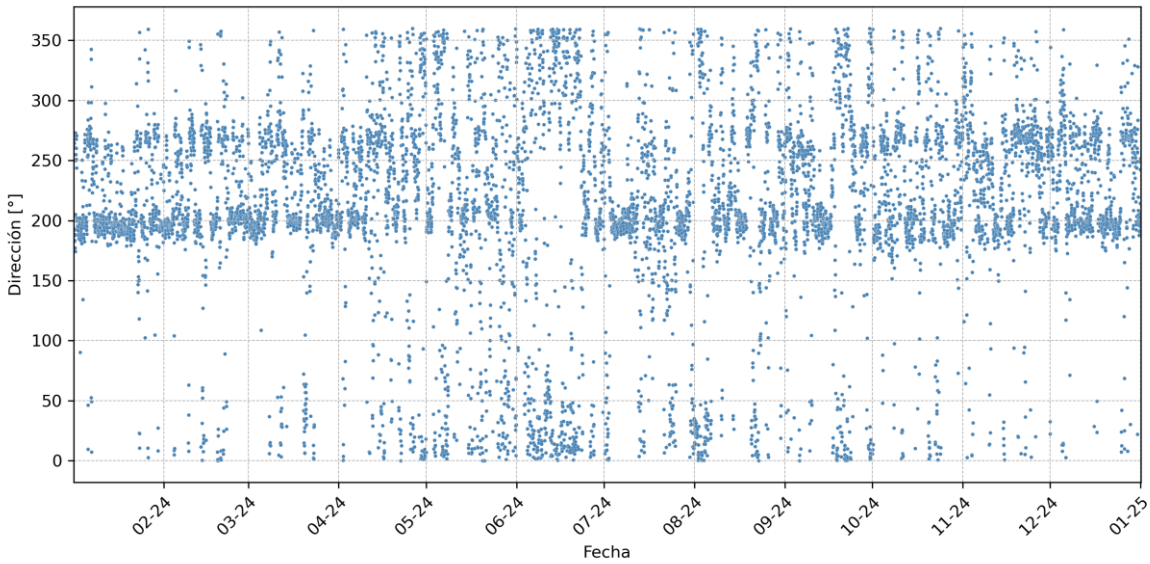
Figura 4.4. Serie de tiempo velocidad del viento modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a la dirección del viento, se observa una marcada concentración de registros entre los 200° (sur suroeste, SSO) y 250° (oeste suroeste, OSO), durante gran parte del año.

Figura 4.5. Serie de tiempo dirección del viento modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.

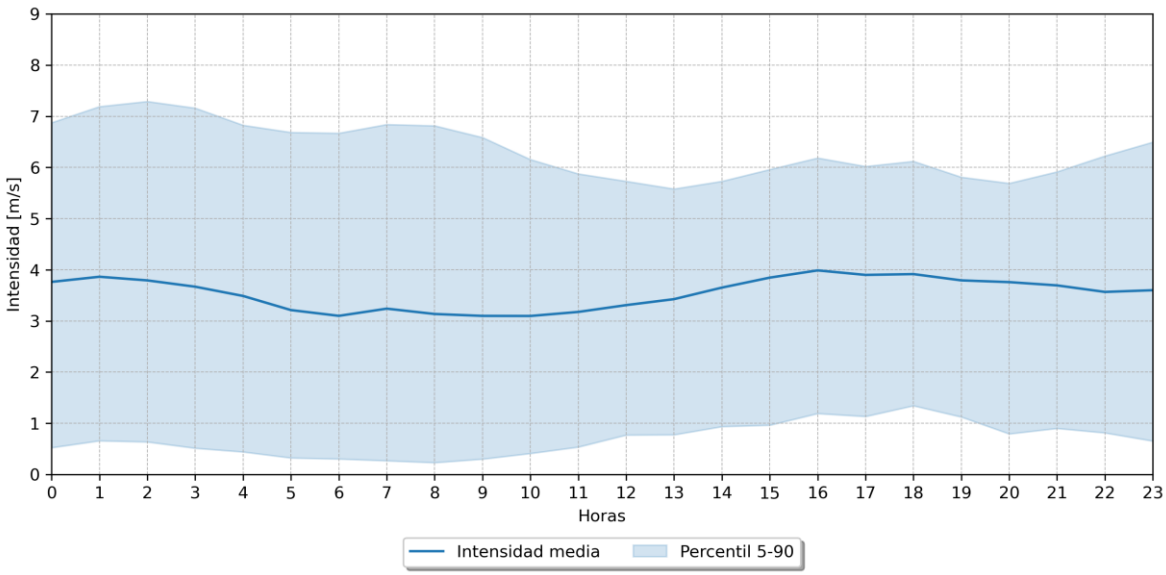


Fuente: Elaboración Propia.

Ciclos Diarios

En la Figura 4.6 se presenta el ciclo diario de la velocidad del viento modelada. Los valores mínimos se encuentran en la mañana, específicamente se alcanzan valores promedio de 3 m/s a entre las 06:00 y 10:00 horas. Luego, la intensidad comienza a aumentar, alcanzando un máximo promedio de 4 m/s a las 16:00 horas.

Figura 4.6. Ciclo Diario Velocidad del Viento Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



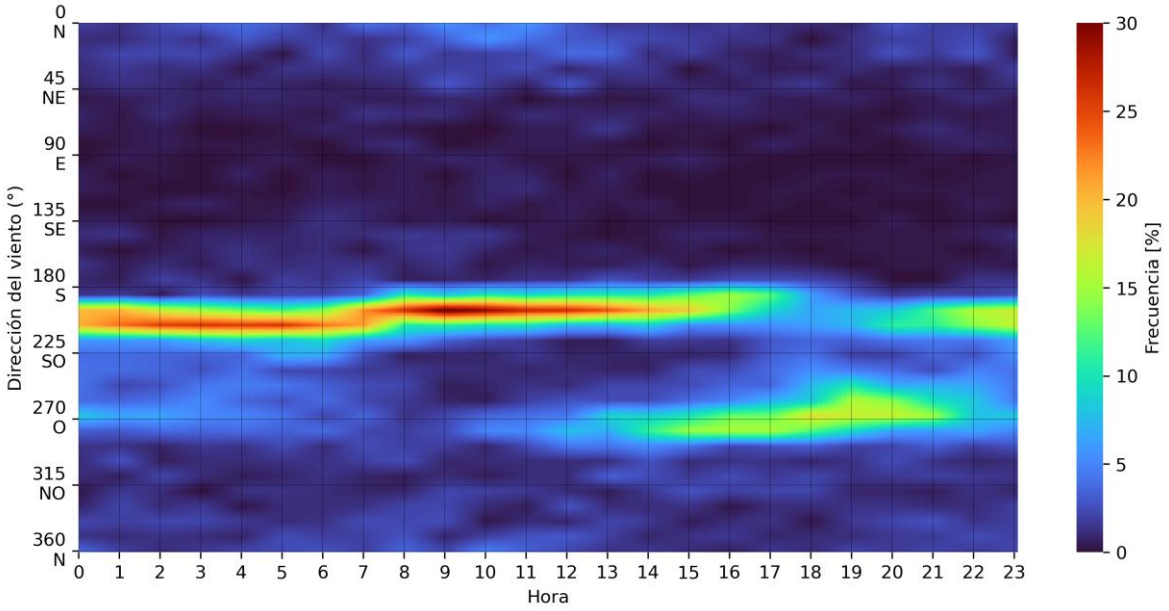
Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, con el fin de representar gráficamente la evolución diaria de la dirección y frecuencia del viento, en la

Figura 4.7 se presenta el ciclo diario de dirección del viento para el período en estudio.

De acuerdo con la figura, se observa una clara predominancia de vientos sursuroeste (SSO) a largo de casi todo el día con frecuencias máximas en la madrugada y mañana, además, se observan altas frecuencias de vientos oeste (O) entre las 13:00 y 22:00 horas.

Figura 4.7. Ciclo Diario Dirección del Viento Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



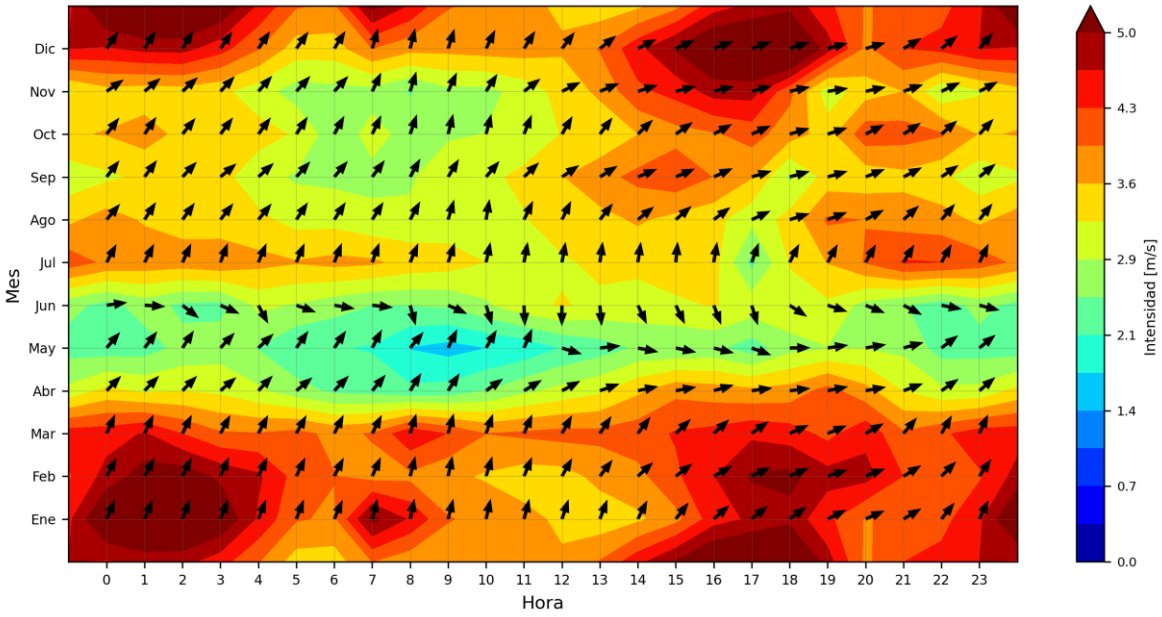
Fuente: Elaboración Propia.

Ciclo Estacional

En la Figura 4.8 se presenta presenta el ciclo estacional y horario del viento modelado. En términos de intensidad, las mayores velocidades se registran preferentemente entre las 14:00 y 19:00 horas, principalmente entre noviembre y marzo. Por el contrario, las menores intensidades se presentan de manera consistente alrededor del mes de mayo, principalmente en la mañana entre las 07:00 y 12:00 horas.

Respecto de la dirección del viento, durante las mañanas se observan vientos desde el sursuroeste (SSO) para luego pasar durante la tarde a vientos desde el oeste (O).

Figura 4.8. Ciclo Estacional de Velocidad y Dirección del Viento Modelado. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



Fuente: Elaboración Propia.

b) Temperatura

A continuación, en la Tabla 4-6 se muestra el resumen de información para la variable temperatura modelada, especificando promedio, máximo y mínimo anual, para el año en estudio.

De acuerdo con lo establecido en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA", las series de datos meteorológicos deben contar con un 75% de datos válidos, lo cual se cumple para el año 2024 debido a que se cuenta con la completitud de los datos a partir del modelo WRF.

Tabla 4-6. Resumen de información Temperatura Modelada. Estación Portezuelo.

Parámetro	Variable	Año
		2024
Temperatura (°C)	Promedio	13,7
	Máximo	35,5
	Mínimo	0,7
	Datos Válidos (%)	100%

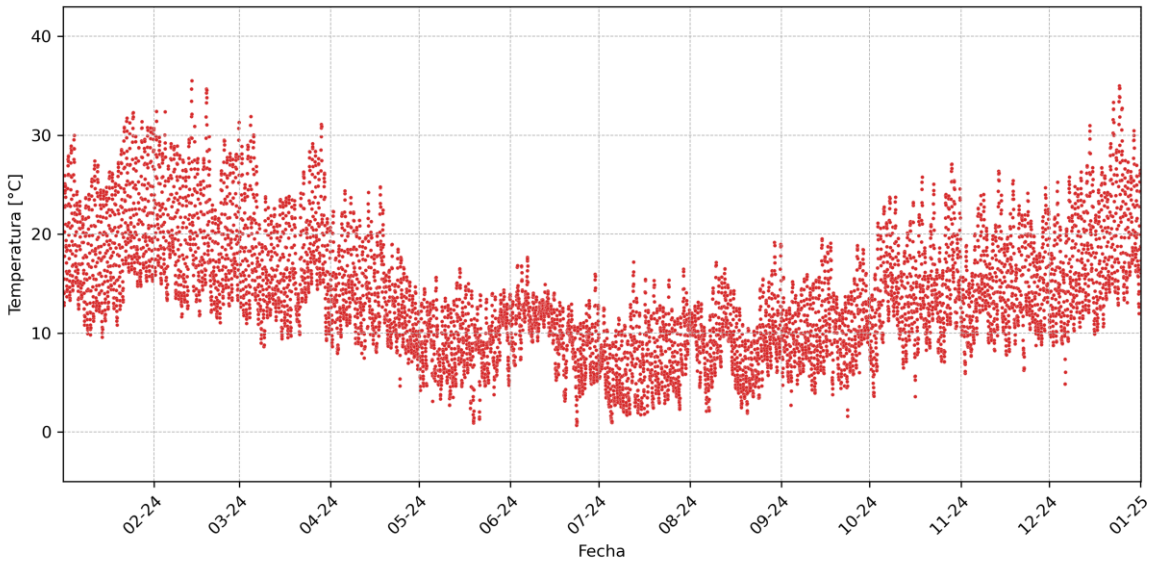
Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en los siguientes apartados se presenta la serie de tiempo, ciclo diario y ciclo estacional modelados para la variable meteorológica temperatura.

Serie de Tiempo

A modo de verificación de la completitud de los datos, en la Figura 4.9 se presenta la serie de tiempo para la variable temperatura modelada, en la cual se observa una cobertura continua durante todo el año, sin vacíos temporales, lo que confirma la disponibilidad del 100 % de los registros provistos por el modelo meteorológico WRF.

Figura 4.9. Serie de Tiempo Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



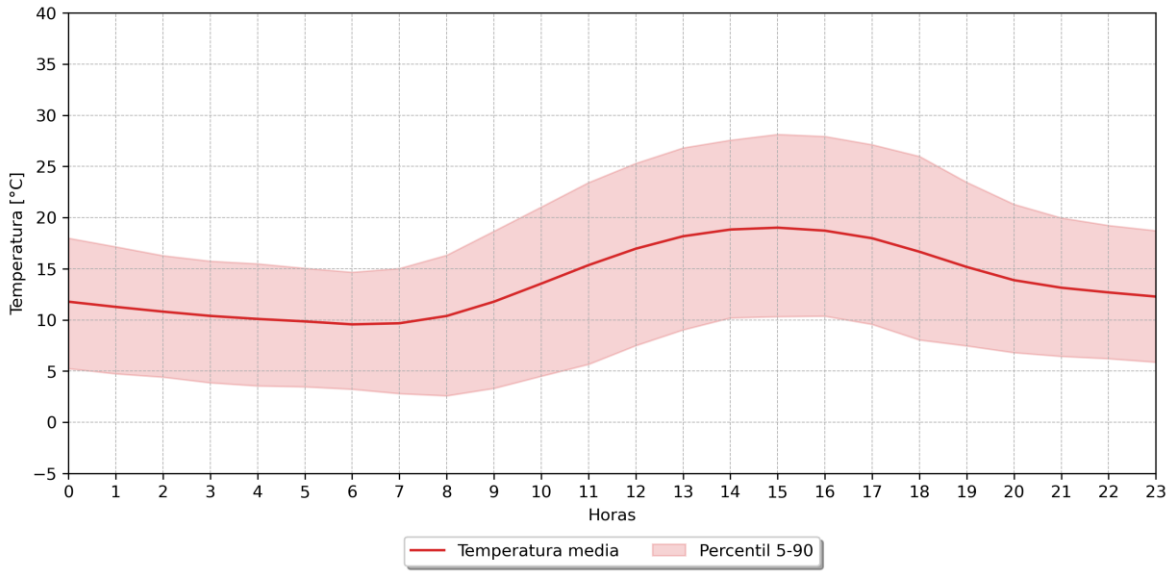
Fuente: Elaboración Propia.

Ciclo Diario

En la Figura 4.10 se expone el ciclo diario para la variable temperatura modelada, donde se observa que las temperaturas más bajas se registran durante la madrugada y primeras horas de la mañana, aproximadamente entre las 05:00 y 07:00 horas, alcanzando un mínimo promedio cercano a 9,5°C alrededor de las 06:00 horas.

A partir de ese momento, la temperatura aumenta de forma progresiva, alcanzando su valor máximo promedio cerca de las 15:00 horas, con un registro de aproximadamente 19 °C. Posteriormente, las temperaturas comienzan a descender gradualmente hacia los valores nocturnos, reiniciando así el ciclo térmico diario.

Figura 4.10. Ciclo Diario Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



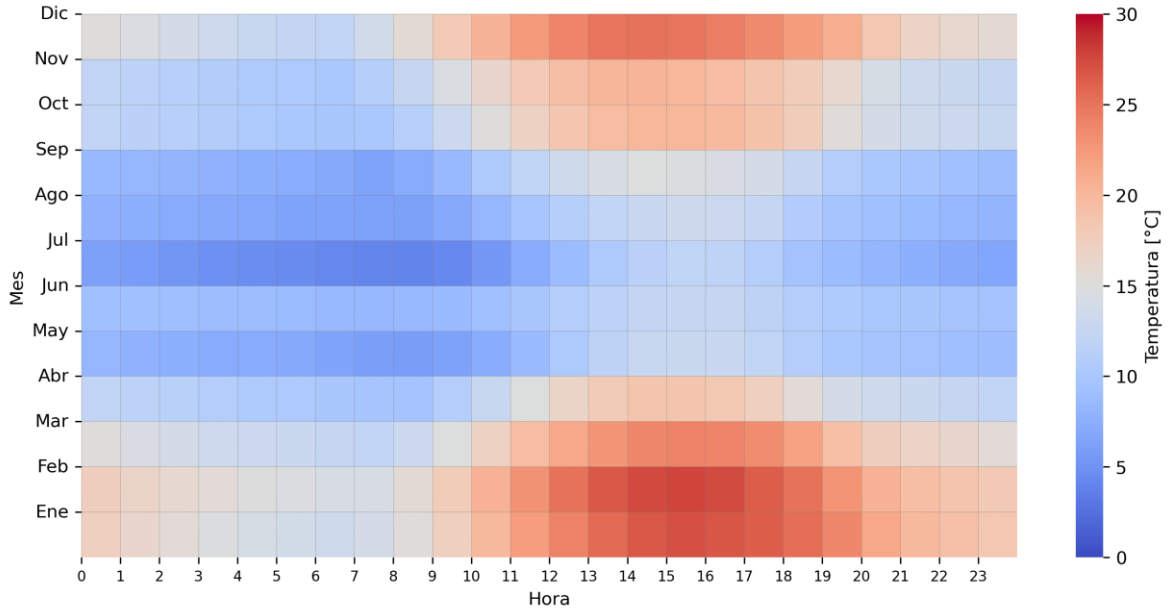
Fuente: Elaboración Propia.

Ciclo Estacional

En la Figura 4.11 se presenta el ciclo estacional de la temperatura modelada, donde se observa que las mayores temperaturas se registran durante los meses de noviembre a marzo, principalmente en el periodo diurno, alcanzando valores máximos que rondan 30°C entre las 13:00 y 18:00 horas.

Por otro lado, las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de abril a septiembre, especialmente en el mes de junio durante la noche y madrugada.

Figura 4.11. Ciclo Estacional Temperatura Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



Fuente: Elaboración Propia.

4.6.3 Meteorología de Altura – Valores Modelados

4.6.3.1 *Estación Portezuelo*

a) Altura Capa de Mezcla

La altura de capa de mezcla es un parámetro obtenido tras el procesamiento de los resultados del modelo meteorológico WRF, el cual representa la altura medida desde la superficie en donde la inestabilidad favorece la dispersión vertical de contaminantes.

A continuación, se presenta la caracterización de la variable meteorológica altura de capa de mezcla, considerado los datos entregados por el modelo meteorológico WRF correspondiente al año 2024 para el sector cercano al Proyecto, específicamente en la localización de la Estación Portezuelo, identificando los valores promedio, máximo y mínimo para esta variable, tal como se muestra en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Resumen de Información Altura de Capa de Mezcla Modelada. Estación Portezuelo.

Parámetro	Variable	Año
		2024
Altura Capa de Mezcla (m)	Promedio	566,3
	Máximo	2393,8
	Mínimo	50
	% Datos Válidos	100%

Fuente: Elaboración Propia.

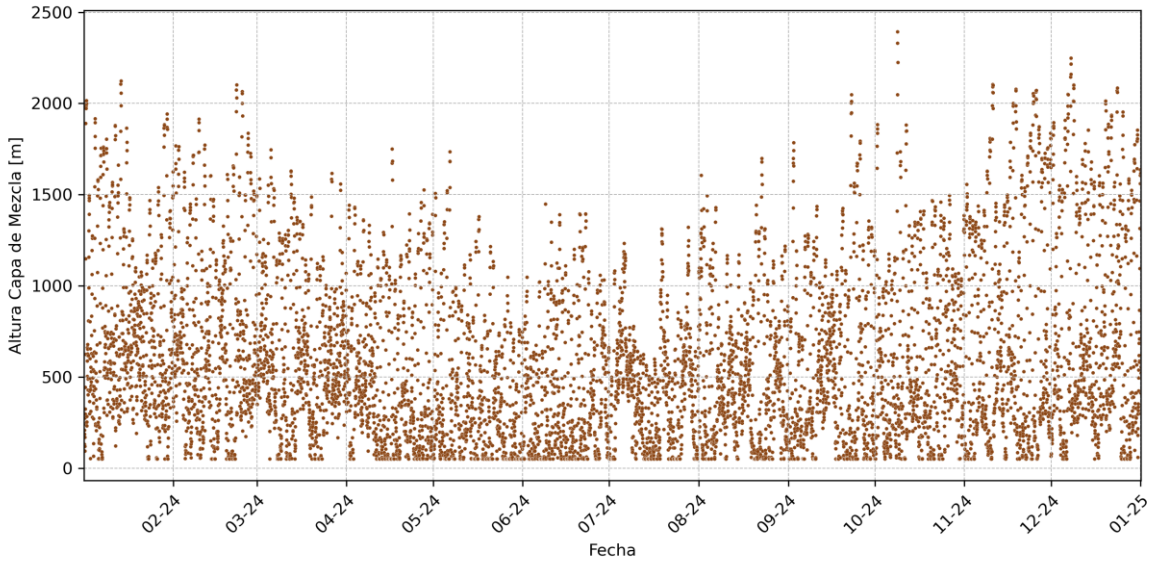
A continuación, se presenta la serie de tiempo, ciclo diario y ciclo estacional modelados para la variable meteorológica altura de capa de mezcla.

Serie de Tiempo

En la Figura 4.12 se presenta la serie de tiempo para la variable altura de capa de mezcla modelada, en donde es posible observar una completitud de los datos, esto ya que el parámetro ha sido calculado conforme a los resultados del modelo meteorológico WRF.

Los valores modelados de altura de la capa de mezcla se concentran mayoritariamente entre 50 y 1.900 metros a lo largo del período analizado, alcanzando mayores alturas principalmente entre los meses de verano.

Figura 4.12. Serie de tiempo para Altura de Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



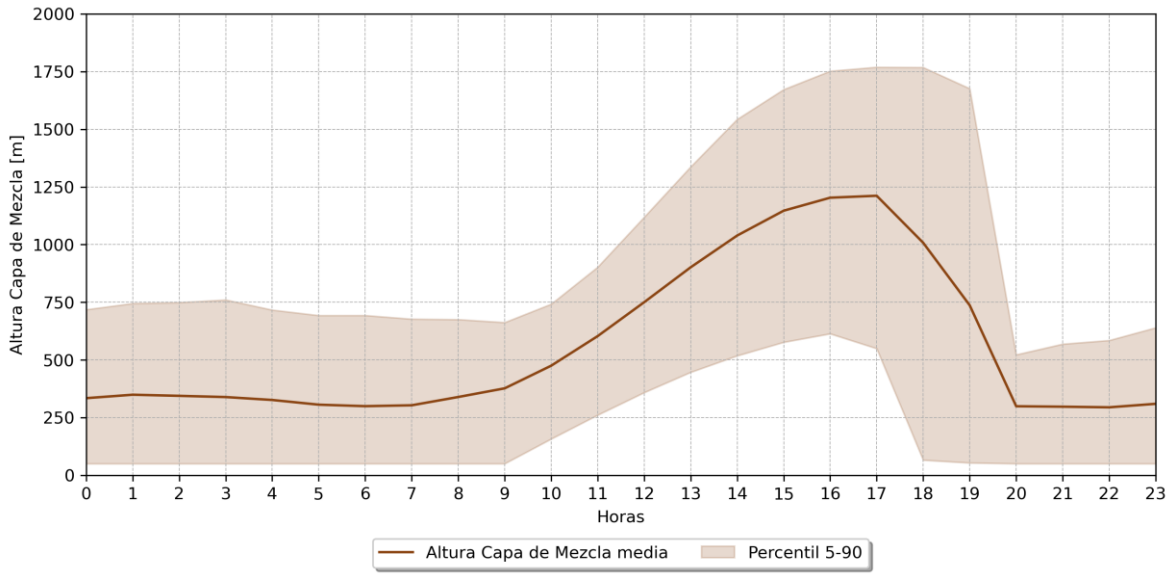
Fuente: Elaboración Propia.

Ciclo Diario

En la Figura 4.13 se presenta el ciclo diario de la altura de la capa de mezcla modelada, donde se observa que los menores valores ocurren durante el periodo nocturno, la madrugada y las primeras horas de la mañana, rondando entre los 200 y 400 metros aproximadamente, desde las 20:00 horas hasta las 09:00 horas.

A partir de ese momento, la altura de la capa de mezcla aumenta de forma progresiva debido al efecto de la radiación solar, alcanzando un valor máximo promedio cercano a los 1211 metros alrededor de las 17:00 horas. Posteriormente, la altura comienza a disminuir gradualmente hacia la noche, completando así el ciclo diario típico asociado al desarrollo convectivo diurno.

Figura 4.13. Ciclo Diario Altura de Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



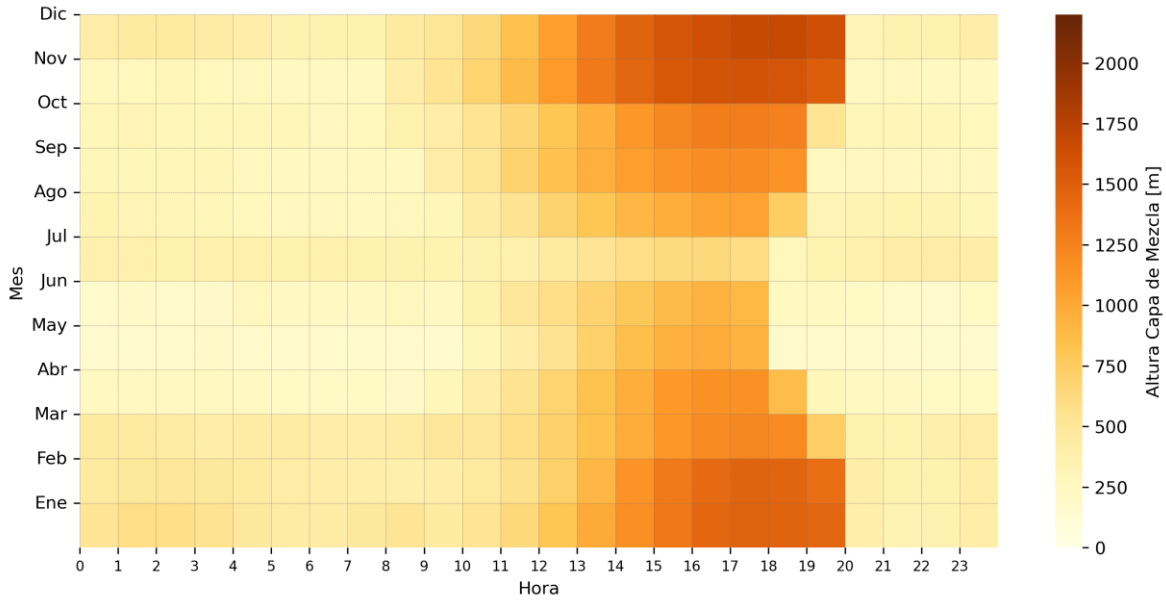
Fuente: Elaboración Propia.

Ciclo Estacional

En la siguiente figura se presenta el ciclo estacional de la altura de la capa de mezcla modelada, donde se observa que las mayores alturas se registran entre los meses de octubre y febrero, alcanzando valores mayores a los 1800 metros, especialmente entre las 15:00 y 20:00 horas.

Por el contrario, las menores alturas de la capa de mezcla se presentan de forma consistente durante todo el año en el periodo nocturno, la madrugada y las primeras horas de la mañana (aproximadamente entre las 20:00 y 11:00 horas), registrando valores generalmente inferiores a 500 metros de altura.

Figura 4.14 - Ciclo Estacional Altura Capa de Mezcla Modelada. Enero a diciembre de 2024. Estación Portezuelo.



Fuente: Elaboración Propia.

4.7 Análisis de Incertidumbre

En las siguientes secciones se presenta la comparación cuantitativa y cualitativa entre los resultados del modelo meteorológico y los datos observados, con el fin de determinar la incertidumbre entre ambos. El análisis se presenta para el año 2024 en la misma ubicación de comparación, correspondiente a la Estación Portezuelo.

Es necesario señalar que, para el análisis de la comparación cuantitativa entre los valores modelados y observados, se consideran cuatro estadígrafos que comúnmente se utilizan para la evaluación del *performance* de modelos: Sesgo, Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el coeficiente de correlación (r) y Error Absoluto Medio (MAE, por sus siglas en inglés "*Mean Absolute Error*"), los cuales fueron calculados para las series de tiempo y los ciclos diarios de las variables velocidad de viento y temperatura. De esta manera, para realizar dicho análisis se realiza una comparativa con los valores recomendados en la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA [(3)], los cuales se presentan en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8. Métricas estadísticas recomendables en el Análisis de Incertidumbre para las variables meteorológicas medias.

Estadístico o Medida de Error	Velocidad Viento	Temperatura
Sesgo	[-2,5; 2,5] m/s	[-4,0; 4,0] °C
Raíz del Error cuadrático medio (RMSE)	≤ 3,5 m/s	≤ 4,5 °C
Coeficiente de Correlación (r)	> 0,6	> 0,8
Error Absoluto Medio (MAE)	≤ 3,0 m/s	≤ 4,0 °C

Fuente: Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA [(3)].

[3] Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, SEA, 2023. Link web: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/02.FEB/28/Guia-Calidad-del-aire_V.4-final.pdf

4.7.1 Estación Portezuelo

4.7.1.1 *Comparación Cuantitativa*

A continuación, en la siguiente tabla, se presentan los estadígrafos: Sesgo, Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el coeficiente de correlación (r) y el Error Absoluto Medio (MAE) obtenidos para los datos de la Estación Portezuelo.

Tabla 4-9. Estadígrafos de Dispersión para Viento y Temperatura. Estación Portezuelo.

Estadígrafo	Velocidad Viento	Temperatura
Sesgo	0,83	-0,01
RMSE	2,1	2,5
MAE	1,6	1,9
r	0,63	0,94

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la tabla anterior, con respecto a la variable de velocidad de viento, se aprecia que el valor de error absoluto medio, igual a 1,6 m/s para la serie de tiempo, es inferior al valor máximo recomendado, según lo indicado en la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (Tabla 4-8). Con respecto al coeficiente de correlación, este es de 63% para la serie de tiempo, el cual es mayor a lo establecido en la Guía, según lo presentado en la Tabla 4-8. Por su parte, el valor de la raíz del error cuadrático medio es 2,1 m/s para la serie, inferior al valor recomendado presentado en la Tabla 4-8. De manera similar, el valor de sesgo es igual a 0,83 m/s cumpliendo con el rango recomendado según la Tabla 4-8.

Para la temperatura, se aprecia que el sesgo entra en el rango de la Tabla 4-8, mientras que el valor de la raíz del error cuadrático medio y error absoluto medio, son 2,5 y 1,9 °C respectivamente los cuales son menores a los valores de estadísticos recomendados. Finalmente, el coeficiente de correlación es de un 94% el cual es mayor al valor recomendado.

Finalmente, se puede indicar que todos los estadígrafos calculados presentan un adecuado cumplimiento de las recomendaciones de la Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA.

4.7.1.2 *Comparación Cualitativa*

Debido a que la meteorología de superficie es un factor relevante en la dispersión de los contaminantes, en el presente inciso se busca validar en forma cualitativa el modelo WRF que será utilizado como información base de entrada al modelo de dispersión CALPUFF.

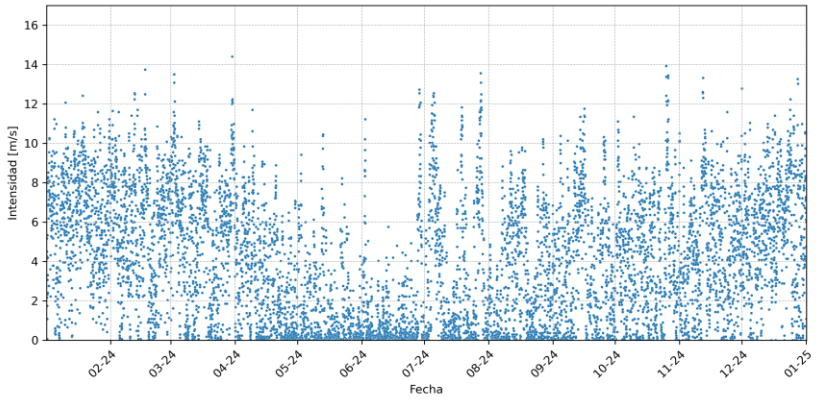
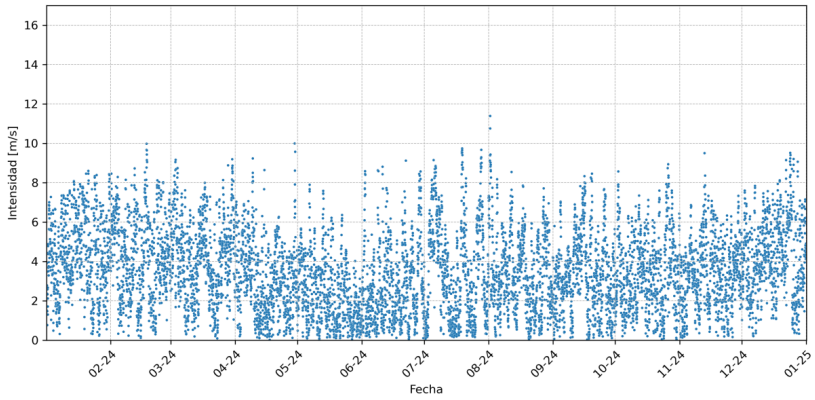
Para llevar a cabo lo anterior, se presenta una comparación de los datos observados en la Estación Portezuelo para el periodo comprendido entre el enero y diciembre del año 2024, mismo periodo para el que se realizó el modelo meteorológico WRF. Así, se comparan ciclos diarios y estacionales para las variables meteorológicas velocidad y dirección de viento.

4.7.1.3 *Velocidad y Dirección del Viento*

a) Series de Tiempo

Para asegurar una comparación consistente, los vientos observados de la estación a 2 metros fueron ajustados a la altura de referencia del modelo (10 metros). En la Figura 4.15 y Figura 4.16 se presentan las series de datos observados y modelados para las variables meteorológicas de intensidad del viento y dirección del viento, respectivamente, durante el período comprendido entre enero y diciembre de 2024 en la Estación Portezuelo. Se observa que la serie de observaciones tiene un 100% de completitud de los registros mientras que la serie modelada se encuentra completa. Respecto a la intensidad del viento se aprecia que la serie modelada tiende a subestimar los valores más altos de la serie observada.

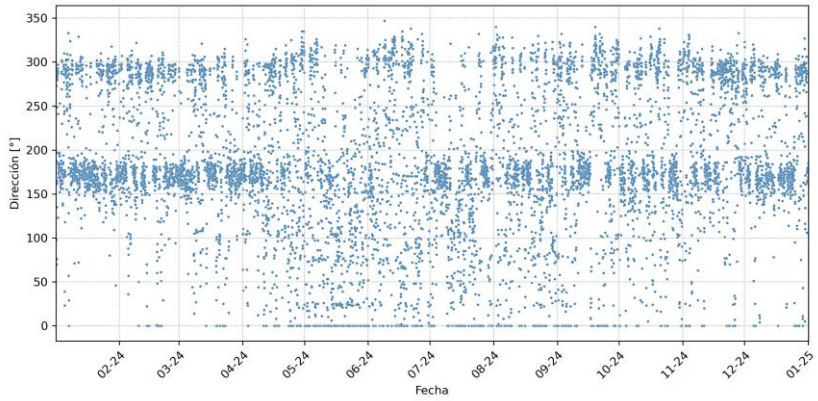
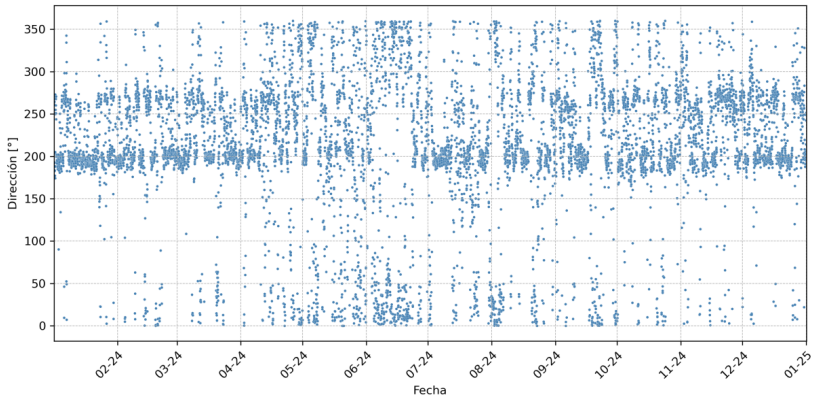
Figura 4.15. Comparación de Series de Tiempo de la Velocidad del Viento. Estación Portezuelo.

Observado	Modelado
	

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a la dirección del viento se observa que las observaciones presentan una mayor dispersión de datos, aunque ambos tienden a concentrar sus valores en la franja sursuroeste (SSO) de 200°. Aun así, en los valores observados existe una franja alrededor de los 300° indicando vientos oeste noroeste (ONO) a diferencia de los datos modelados, donde la franja ronda los vientos oeste (O).

Figura 4.16. Comparación de Series de Tiempo de la Dirección del Viento. Estación Portezuelo.

Observado	Modelado
	

Fuente: Elaboración Propia.

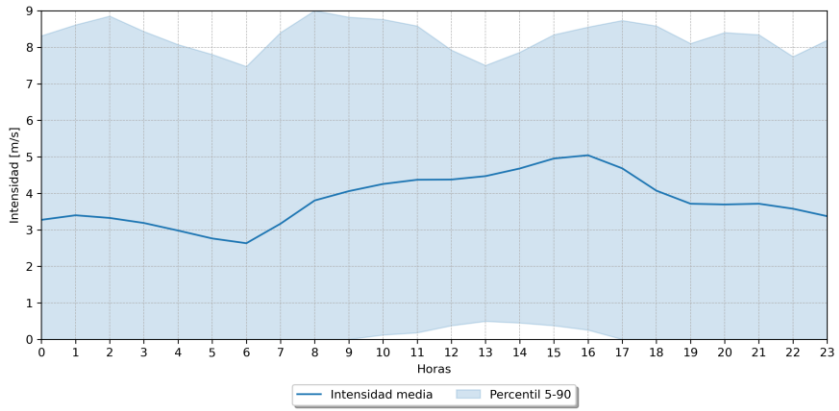
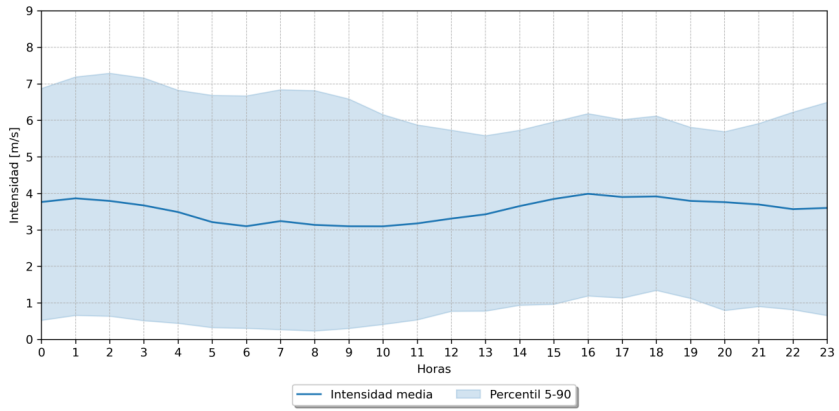
b) Ciclo Diario

En la Figura 4.17 se presenta la comparación de los ciclos diarios de velocidad del viento para el período en estudio, correspondiente a la Estación Portezuelo. En este caso, se observa un ciclo diario débil en ambas series.

El modelo tiende a subestimar los valores de las observaciones durante el periodo diurno lo que implica vientos más débiles en las tardes.

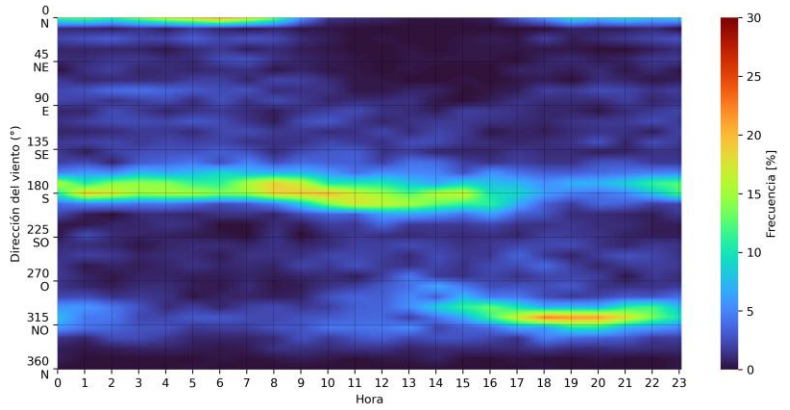
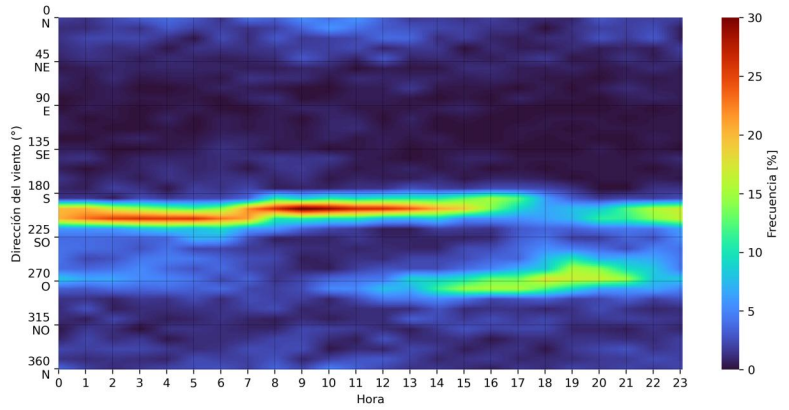
Por su parte, en la Figura 4.18 se muestra la comparativa de los ciclos diarios de dirección del viento para el período en estudio. Se observa que ambas figuras tienen una franja de vientos entre los 180° y 225°, indicando predominancia de vientos sur y sursuroeste para el observado y modelado respectivamente. Además, observamos valores en las tardes de vientos noroestes para los observados y oeste para los modelados.

Figura 4.17. Comparación del Ciclo Diario de la Velocidad del Viento. Estación Portezuelo.

Observado	Modelado
	

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.18. Comparación de Histogramas de Dirección. Estación Portezuelo.

Observado	Modelado
	

Fuente: Elaboración Propia.

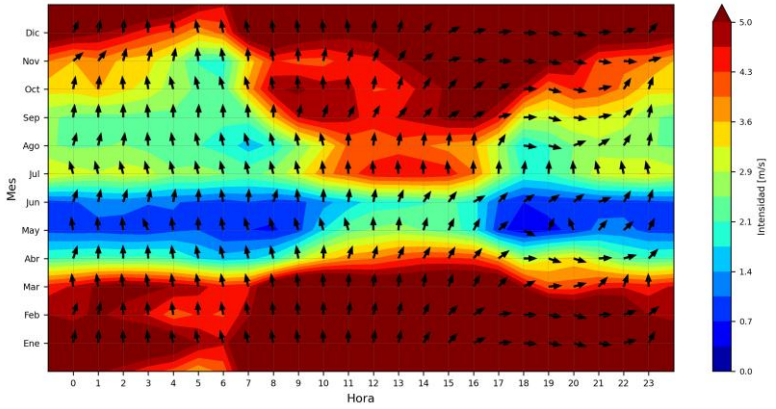
c) Ciclo Estacional

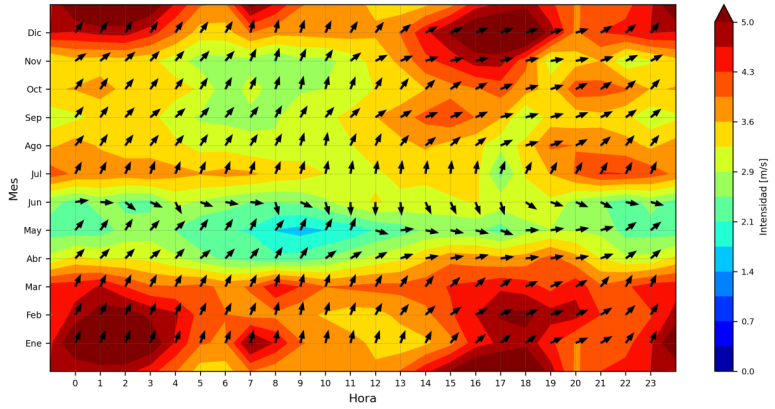
A continuación, en la Figura 4.19 se presenta la comparación del ciclo estacional de velocidad y dirección del viento

Se observa que el modelo representa adecuadamente el patrón estacional de la intensidad del viento, capturando el bajo ciclo horario, pero manteniendo el ciclo anual donde las mayores velocidades ocurren entre abril y julio. Además, se observan disminuciones durante todo el día para los meses de mayo y junio. Para la dirección del viento, observamos que los datos observados tienen una componente norte más fuerte que el modelo pero que los principales vientos, en especial en las noches, vienen del oeste y sursuroeste. En términos de intensidad, el modelo tiende a subestimar las velocidades más altas observadas. Sin embargo, también presenta una frecuencia de calmas considerablemente menor, con un 4,5% frente a un 27% observado. Por lo tanto, el modelo muestra una menor representación tanto de condiciones de viento muy débil como de parte de las velocidades más altas, concentrando una mayor proporción de registros en velocidades intermedias. En consecuencia, no se identifica un sesgo uniforme hacia condiciones más o menos favorables para la dispersión, sino diferencias en la representación de la distribución de velocidades del viento.

Figura 4.19. Comparación de Ciclo Estacional de Velocidad y Dirección del Viento. Estación Portezuelo.

Observado	Modelado





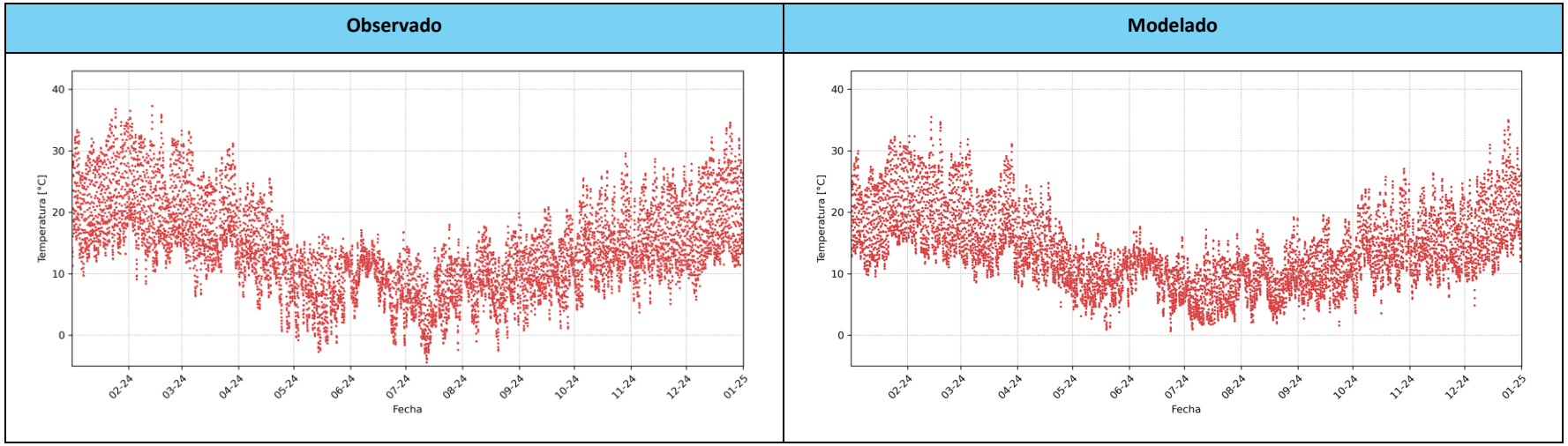
Fuente: Elaboración Propia.

4.7.1.4 *Temperatura*

a) Series de Tiempo

En la Figura 4.20 se presenta la serie de datos observados y modelados para la variable meteorológica de temperatura en la Estación Portezuelo. Se observa que ambas poseen un alto grado de completitud de los registros tanto observados como modelados. También se aprecia que el modelo tiende a subestimar los valores máximos y sobrestimar los valores mínimos.

Figura 4.20. Comparación de Series de Tiempo de la Temperatura. Estación Portezuelo.

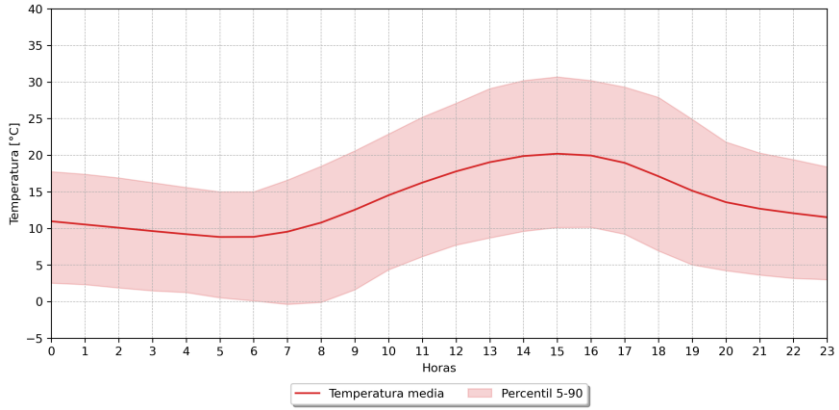
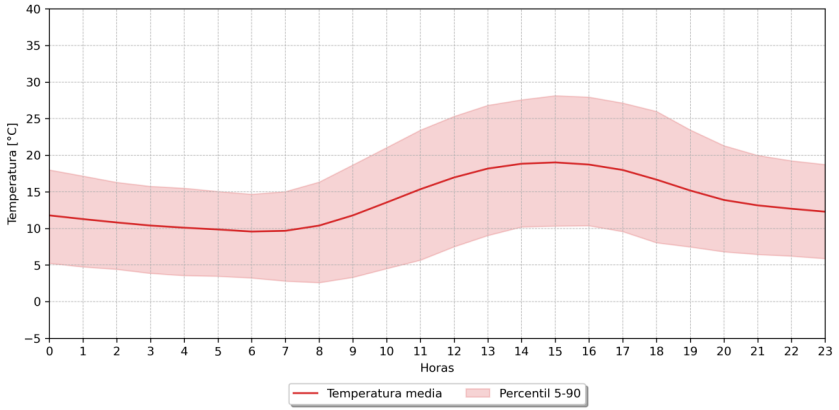


Fuente: Elaboración Propia.

b) Ciclo Diario

En la Figura 4.21 presentada a continuación, se muestran los ciclos diarios de la variable meteorológica temperatura obtenidos a partir de los valores observados y modelados, con el propósito de comparar esta variable en las distintas horas del día y a lo largo del año. De esta manera, es posible apreciar que el modelo predice satisfactoriamente las distintas tendencias de la temperatura en su ciclo diario, ya que se observan, en ambos escenarios, valores máximos entre las 14:00 y 16:00 horas; y valores mínimos durante la madrugada. No obstante, el modelo tiende a subestimar la temperatura durante el periodo diurno y sobrestimar los valores en la madrugada.

Figura 4.21. Comparación del Ciclo Diario de la Temperatura. Estación Portezuelo.

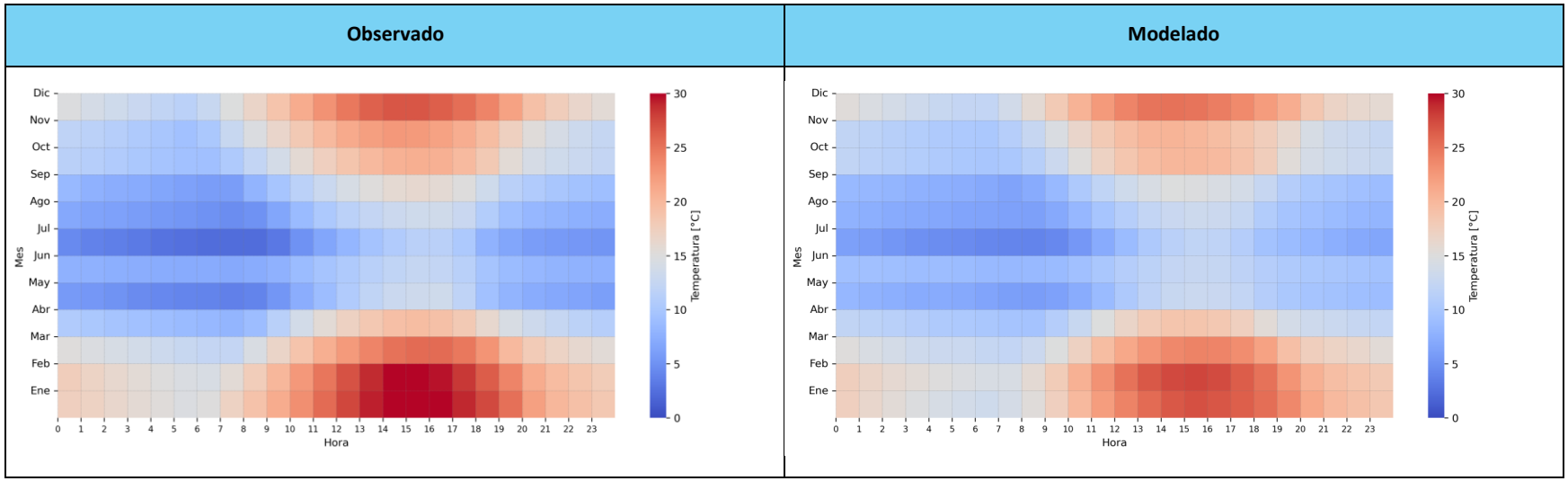
Observado	Modelado
	

Fuente: Elaboración Propia

c) Ciclo Estacional

A continuación, en la Figura 4.22 se presenta la comparativa del ciclo estacional de temperaturas observadas y modeladas para el período en estudio, para la estación de monitoreo Portezuelo. En ésta se puede distinguir que el modelo representa adecuadamente los máximos y mínimos del ciclo, tanto diario como anual, dado que los datos observados y modelados presentan valores máximos entre las 12:00 y las 19:00 horas, durante todo el año y particularmente en los meses de verano. Además, se observa que el modelo capturó los valores más bajos de las madrugadas de los meses de abril y junio.

Figura 4.22. Comparación de Ciclo Estacional de Temperatura. Estación Portezuelo.



Fuente: Elaboración Propia.

4.8 Escenarios de Modelación

A continuación, se presentan los escenarios considerados para la modelación de contaminantes atmosféricos del Proyecto.

Para la evaluación de impactos atmosféricos se consideró el escenario correspondiente al primer año de construcción del Proyecto. La selección de este período se fundamenta en los resultados del inventario de emisiones, el cual identifica dicha etapa como la de mayor generación de contaminantes atmosféricos durante el ciclo de vida del Proyecto.

En consecuencia, la modelación fue desarrollada para el Año 1 de construcción, por representar el escenario más conservador desde el punto de vista de las emisiones atmosféricas y, por tanto, aquel con el mayor potencial de generar concentraciones ambientales.

Para efectos de la estimación de emisiones atmosféricas del Proyecto, se evaluaron las emisiones generadas en las distintas fases de desarrollo del Proyecto correspondientes a construcción, operación y cierre.

A continuación, en la Tabla 4-10 se presenta el resumen de emisiones estimadas para el Proyecto:

Tabla 4-10. Resumen de emisiones Proyecto.

Fase	Año	Emisión [ton/año]								
		MP2,5	MP10	MPS	CO	NOx	SO2	NH3	COV	BC
Construcción	1	0,92	2,88	9,67	3,45	7,90	0,26	0,01	0,55	0.22
Const. + Op	2	0,19	0,70	1,96	0,68	1,84	0,09	0,00	0,14	0.06
Operación	3 a 50	0,49	2,38	4,79	1,92	3,50	0,09	0,00	0,31	0.15
Cierre	51	0,59	2,68	8,14	3,18	7,30	0,26	0,00	0,54	0.22
	52	0,14	0,53	1,56	0,60	1,69	0,08	0,00	0,13	0.05
Total		**2.33**	**9,17**	**26,12**	**9,83**	**22,23**	**0,78**	**0,01**	**1,67**	**0,71**

Fuente: Anexo 1.2: "Inventarios de Emisiones Atmosféricas".

De acuerdo con el resumen de emisiones presentado, la fase de construcción concentra los mayores niveles de emisión de material particulado y gases. La fase de operación presenta emisiones menores considerando que se consideran desde el año 3 al 50, mientras que la fase de cierre vuelve a generar un incremento de emisiones respecto de la operación en sus dos años. En consideración a lo anterior, la modelación atmosférica se desarrolló incorporando las emisiones representativas del primer año de construcción.

A continuación, en la Tabla 4-11, se presentan las emisiones atmosféricas estimadas para cada una de las fases del Proyecto que serán consideradas en la modelación, desagregadas por actividad emisora.

Tabla 4-11. Resumen de emisiones Proyecto – Fase Construcción – Año 1.

Actividad	Emisión [ton/año]								
	MP2,5	MP10	MPS	CO	NOx	SO2	NH3	COV	BC
Maquinaria Fuera de Ruta	0,08	0,08	0,08	2,16	2,96	0,01	2,E-03	0,22	0,07
Movimiento de Tierra	0,38	0,88	3,70						
Grupos Electrógenos	0,27	0,27	0,27	0,82	3,81	0,25		0,31	0,15
Resuspensión de Polvo	0,17	1,64	5,61						
Combustión Vehicular	0,01	0,01	0,01	0,47	1,13	0,00	3,E-03	0,01	0,01
Total	**0,92**	**2,88**	**9,67**	**3,45**	**7,90**	**0,26**	**0,01**	**0,55**	**0,22**

Fuente: Anexo 1.2: "Inventarios de Emisiones Atmosféricas".

4.8.1 Fuentes Emisoras

En este apartado, se presentan las fuentes emisoras para el escenario modelado.

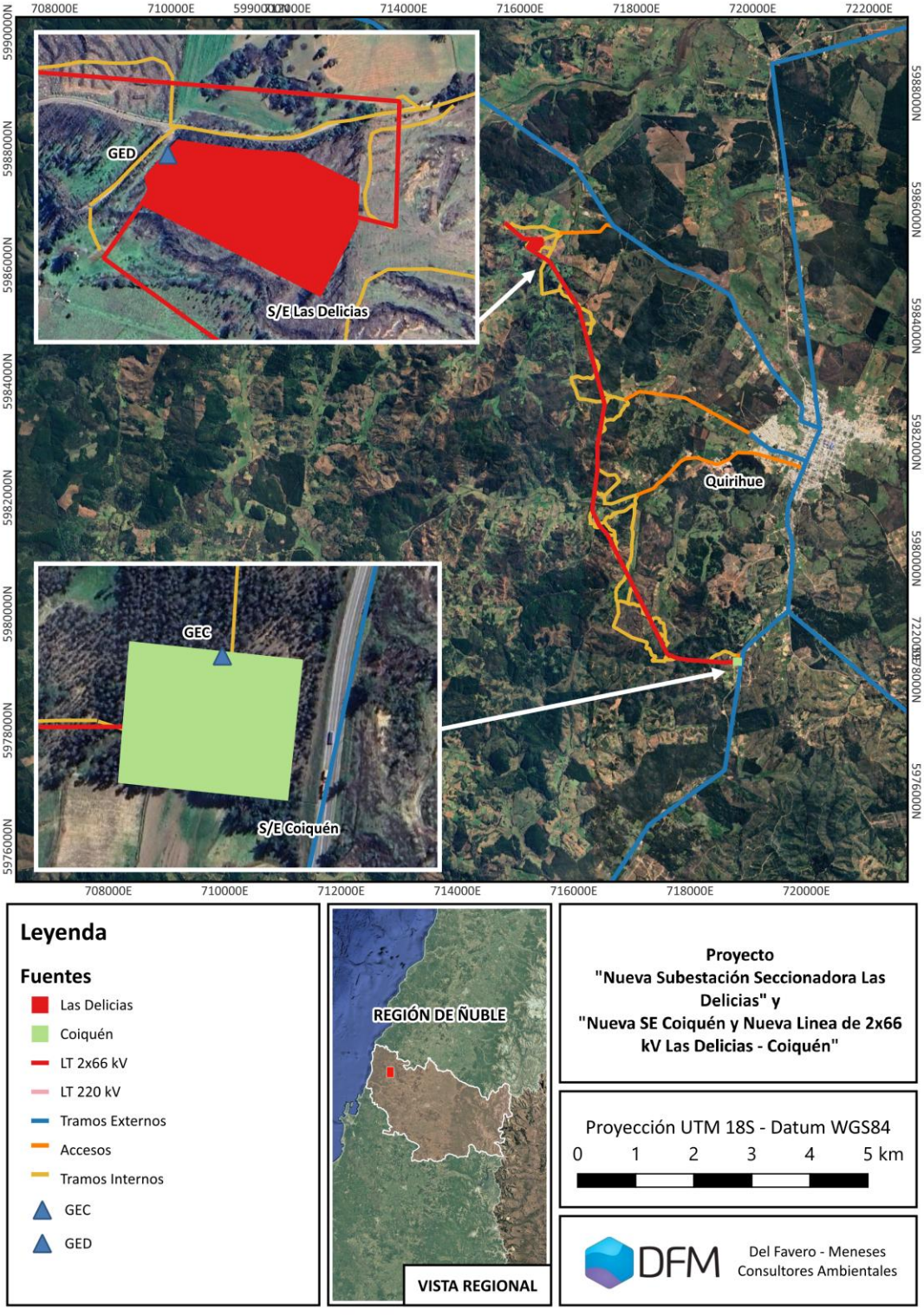
Las fuentes emisoras del presente escenario corresponden a:

- Actividades de movimientos de material realizadas durante la ejecución el proyecto.
- Uso de maquinaria fuera de ruta para la realización de actividades durante la ejecución el proyecto.
- Uso de grupos electrógenos la ejecución el proyecto.
- Resuspensión de polvo y combustión producto del tránsito vehicular asociado a las distintas actividades desarrolladas durante la ejecución el proyecto.

Cabe destacar que, conforme a la información proporcionada por el Titular, las actividades asociadas a la fase de construcción del Proyecto consideran, en términos generales, un régimen operacional de lunes a viernes entre las 08:00 y las 18:00 horas, equivalente a 9 horas diarias, con una hora de almuerzo mientras que los grupos electrógenos se consideran constantes durante la jornada, desde 09:00 a 18:00 horas.

A continuación, en la siguiente figura, se presenta la ubicación espacial de las fuentes emisoras, para el escenario modelado donde se exhibe una vista general y ampliada de las fuentes emisoras. Debido a la longitud del Proyecto, se consideraron distancias promedio desde los accesos hacia cada una de las torres del tendido eléctrico las cuales serán distribuidas en los caminos internos reales existentes y habilitados en el sector al momento de modelar.

Figura 4.23. Ubicación Fuentes Emisoras



Fuente: Elaboración Propia.

En las siguientes tablas, se presentan las dimensiones de cada fuente y su respectiva tasa de emisión, estimadas para el modelo en el año 1 de la fase de construcción considerando un periodo de modelación correspondiente a un año, con un ciclo semanal de 9 horas, de lunes a viernes con una hora de almuerzo, exceptuando los grupos electrógenos.

Las fuentes SED y SEC corresponden a las Subestaciones Las Delicias y Coiquén respectivamente, mientras que sus grupos electrógenos están determinados como fuente puntual (GED, GEC). Además de los tramos externo (T01 a T10) y los accesos (A01 a A04), se consideraron los tramos internos existentes (IE) y los que serán construidos (IC). La extensión del dominio de modelación se definió buscando un equilibrio entre la adecuada representación de las principales obras del Proyecto y los tiempos computacionales requeridos. En este contexto, el tramo T11, que ingresa a la zona de Chillán, no fue considerado debido a que se encuentra fuera del dominio WRF definido y a que su aporte al inventario de emisiones es considerablemente bajo.

Tabla 4-12. Características Fuentes Emisoras Puntuales, Areales y Lineales-Areales.

Fuente	Tipo de Fuente	Dimensión	Dimensión	Variabilidad	Ciclo	Tiempo	Tasa de Emisión								
				(s)			MP2,5	MP10	MPS	CO	NO	NO2	SO2	NH3	Unidad
SED	AREA_POLYGONAL	14.179	m2	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,4E-06	2,9E-06	1,2E-05	7,5E-06	9,3E-06	1,6E-06	2,8E-08	7,4E-09	g/s-m²
SEC	AREA_POLYGONAL	7.446	m2	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,8E-06	3,5E-06	1,4E-05	1,3E-05	1,7E-05	2,8E-06	5,1E-08	1,3E-08	g/s-m²
LT220	LINE-AREA	10.282	m2	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,6E-07	5,6E-07	5,6E-07	1,7E-06	6,8E-06	1,2E-06	5,2E-07	0,0E+00	g/s-m²
LT2x66	LINE-AREA	108.138	m2	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,0E-07	3,4E-07	1,4E-06	2,9E-07	6,7E-07	1,1E-07	5,0E-08	1,6E-10	g/s-m²
GED	POINT	1	-	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	3,1E-02	1,2E-01	2,1E-02	9,4E-03	0,0E+00	g/s
GEC	POINT	1	-	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	3,1E-02	1,2E-01	2,1E-02	9,4E-03	0,0E+00	g/s
T01	ROAD	604	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,0E-07	7,5E-07	3,8E-06	8,7E-07	1,7E-06	2,9E-07	4,1E-09	6,2E-09	g/s-m
T02	ROAD	1.069	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,6E-08	6,3E-08	3,2E-07	7,0E-08	1,4E-07	2,4E-08	3,2E-10	5,3E-10	g/s-m
T03	ROAD	127	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,9E-07	7,3E-07	3,7E-06	8,5E-07	1,7E-06	2,9E-07	4,0E-09	6,0E-09	g/s-m
T04	ROAD	2.538	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	6,5E-08	1,9E-07	8,9E-07	9,8E-07	2,1E-06	3,6E-07	4,1E-09	7,1E-09	g/s-m
T05	ROAD	1.081	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	6,5E-08	1,9E-07	8,9E-07	9,8E-07	2,1E-06	3,6E-07	4,1E-09	7,1E-09	g/s-m
T06	ROAD	5.205	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	7,3E-08	2,1E-07	9,9E-07	1,1E-06	2,4E-06	4,1E-07	4,2E-09	8,0E-09	g/s-m
T08	ROAD	20.515	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	8,9E-08	2,6E-07	1,2E-06	1,5E-06	3,0E-06	5,1E-07	7,2E-09	1,1E-08	g/s-m

Fuente	Tipo de Fuente	Dimensión	Dimensión	Variabilidad	Ciclo	Tiempo	Tasa de Emisión								
				(s)			MP2,5	MP10	MPS	CO	NO	NO2	SO2	NH3	Unidad
T09	ROAD	41.149	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-09	9,5E-09	4,4E-08	5,8E-08	1,1E-07	1,9E-08	2,7E-10	4,0E-10	g/s-m
T10	ROAD	34.610	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,6E-08	4,9E-08	2,3E-07	2,6E-07	5,5E-07	9,4E-08	1,2E-09	2,1E-09	g/s-m
A01	ROAD	986	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	9,3E-06	9,0E-05	3,0E-04	4,2E-06	5,9E-06	1,0E-06	1,3E-08	1,1E-08	g/s-m
A02	ROAD	2.358	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	9,6E-07	7,0E-06	2,1E-05	3,1E-06	3,6E-06	6,1E-07	9,3E-09	2,9E-09	g/s-m
A03	ROAD	3.185	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-08	7,9E-08	4,1E-07	8,9E-08	1,8E-07	3,1E-08	4,1E-10	6,7E-10	g/s-m
A04	ROAD	82	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	8,0E-06	7,7E-05	2,6E-04	3,9E-06	5,3E-06	9,1E-07	1,3E-08	9,2E-09	g/s-m
IE_100	ROAD	326	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-07	3,3E-06	1,1E-05	5,3E-08	1,4E-07	2,3E-08	9,9E-11	4,0E-10	g/s-m
IE_120	ROAD	238	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-07	3,3E-06	1,1E-05	5,3E-08	1,4E-07	2,3E-08	9,9E-11	4,0E-10	g/s-m
IE_121	ROAD	73	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-07	3,3E-06	1,1E-05	5,3E-08	1,4E-07	2,3E-08	9,9E-11	4,0E-10	g/s-m
IE_130	ROAD	328	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,3E-06	1,3E-05	4,4E-05	2,1E-07	5,4E-07	9,2E-08	4,0E-10	1,6E-09	g/s-m
IE_131	ROAD	168	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,2E-06	1,1E-05	3,8E-05	1,9E-07	4,7E-07	8,1E-08	3,5E-10	1,4E-09	g/s-m
IE_132	ROAD	960	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-06	1,0E-05	3,4E-05	1,7E-07	4,3E-07	7,2E-08	3,1E-10	1,3E-09	g/s-m
IE_133	ROAD	224	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	8,2E-07	8,2E-06	2,7E-05	1,3E-07	3,4E-07	5,8E-08	2,5E-10	1,0E-09	g/s-m
IE_134	ROAD	156	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	6,6E-07	6,6E-06	2,2E-05	1,1E-07	2,7E-07	4,6E-08	2,0E-10	8,0E-10	g/s-m
IE_135	ROAD	102	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	4,9E-06	1,6E-05	8,0E-08	2,0E-07	3,5E-08	1,5E-10	6,0E-10	g/s-m
IE_136	ROAD	376	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-07	3,3E-06	1,1E-05	5,3E-08	1,4E-07	2,3E-08	9,9E-11	4,0E-10	g/s-m
IE_137	ROAD	240	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,6E-07	1,6E-06	5,5E-06	2,6E-08	6,8E-08	1,2E-08	5,0E-11	2,0E-10	g/s-m
IE_200	ROAD	633	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	5,5E-06	1,8E-05	7,8E-08	2,0E-07	3,3E-08	2,0E-10	6,0E-10	g/s-m
IE_210	ROAD	248	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	5,5E-06	1,8E-05	7,9E-08	2,0E-07	3,3E-08	2,0E-10	6,0E-10	g/s-m
IE_211	ROAD	63	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,1E-07	4,1E-06	1,4E-05	5,9E-08	1,5E-07	2,5E-08	1,5E-10	4,5E-10	g/s-m
IE_212	ROAD	904	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,8E-07	2,7E-06	9,1E-06	3,9E-08	9,8E-08	1,7E-08	1,0E-10	3,0E-10	g/s-m
IE_201	ROAD	64	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,1E-07	4,1E-06	1,4E-05	5,9E-08	1,5E-07	2,5E-08	1,5E-10	4,5E-10	g/s-m
IE_300	ROAD	594	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-07	2,1E-06	7,0E-06	3,1E-08	8,0E-08	1,4E-08	6,8E-11	2,4E-10	g/s-m
IE_301	ROAD	127	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-07	2,1E-06	6,9E-06	3,1E-08	8,0E-08	1,4E-08	6,8E-11	2,4E-10	g/s-m

Fuente	Tipo de Fuente	Dimensión	Dimensión	Variabilidad	Ciclo	Tiempo	Tasa de Emisión								
				(s)			MP2,5	MP10	MPS	CO	NO	NO2	SO2	NH3	Unidad
IE_310	ROAD	203	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,5E-06	1,5E-05	4,9E-05	2,2E-07	5,6E-07	9,6E-08	4,8E-10	1,7E-09	g/s-m
IE_320	ROAD	662	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	5,2E-06	1,7E-05	7,8E-08	2,0E-07	3,4E-08	1,7E-10	6,0E-10	g/s-m
IE_321	ROAD	146	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-07	2,1E-06	7,0E-06	3,1E-08	8,0E-08	1,4E-08	6,8E-11	2,4E-10	g/s-m
IE_322	ROAD	104	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-07	1,0E-06	3,5E-06	1,6E-08	4,0E-08	6,8E-09	3,4E-11	1,2E-10	g/s-m
IE_323	ROAD	37	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-07	1,0E-06	3,5E-06	1,6E-08	4,0E-08	6,8E-09	3,4E-11	1,2E-10	g/s-m
IE_324	ROAD	292	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,1E-07	3,1E-06	1,0E-05	4,7E-08	1,2E-07	2,0E-08	1,0E-10	3,6E-10	g/s-m
IE_325	ROAD	292	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-07	2,1E-06	6,9E-06	3,1E-08	8,0E-08	1,4E-08	6,8E-11	2,4E-10	g/s-m
IE_326	ROAD	1.095	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	9,4E-07	9,4E-06	3,1E-05	1,4E-07	3,6E-07	6,1E-08	3,1E-10	1,1E-09	g/s-m
IE_327	ROAD	664	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	8,4E-07	8,3E-06	2,8E-05	1,2E-07	3,2E-07	5,5E-08	2,7E-10	9,6E-10	g/s-m
IC_330	ROAD	183	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	9,1E-07	6,6E-06	2,0E-05	3,0E-06	3,5E-06	6,0E-07	8,8E-09	2,9E-09	g/s-m
IC_331	ROAD	286	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	8,0E-07	5,5E-06	1,6E-05	3,0E-06	3,5E-06	5,9E-07	8,8E-09	2,8E-09	g/s-m
IE_332	ROAD	664	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	2,1E-07	2,1E-06	6,9E-06	3,1E-08	8,0E-08	1,4E-08	6,8E-11	2,4E-10	g/s-m
IE_333	ROAD	112	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,0E-07	1,0E-06	3,5E-06	1,6E-08	4,0E-08	6,8E-09	3,4E-11	1,2E-10	g/s-m
IE_340	ROAD	1.806	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,3E-07	3,3E-06	1,1E-05	4,9E-08	1,3E-07	2,2E-08	1,1E-10	3,8E-10	g/s-m
IC_341	ROAD	30	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	7,0E-07	4,5E-06	1,3E-05	3,0E-06	3,4E-06	5,9E-07	8,7E-09	2,7E-09	g/s-m
IE_400	ROAD	359	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	1,1E-07	1,1E-06	3,5E-06	1,6E-08	4,0E-08	6,9E-09	3,4E-11	1,2E-10	g/s-m
IC_500	ROAD	128	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,9E-07	3,5E-06	9,3E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_220_89	ROAD	67	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,8E-07	1,4E-06	2,3E-06	2,9E-06	3,3E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,3E-09	g/s-m
IC_220_01	ROAD	182	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,8E-07	1,4E-06	2,3E-06	2,9E-06	3,3E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,3E-09	g/s-m
IC_220_02	ROAD	20	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,8E-07	1,4E-06	2,3E-06	2,9E-06	3,3E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,3E-09	g/s-m
IC_220_03	ROAD	164	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	3,8E-07	1,4E-06	2,3E-06	2,9E-06	3,3E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,3E-09	g/s-m
IC_66_02	ROAD	35	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	7,1E-07	4,6E-06	1,3E-05	3,0E-06	3,5E-06	5,9E-07	8,7E-09	2,7E-09	g/s-m
IC_66_03	ROAD	323	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_04	ROAD	71	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,6E-09	2,5E-09	g/s-m

Fuente	Tipo de Fuente	Dimensión	Dimensión	Variabilidad	Ciclo	Tiempo	Tasa de Emisión								
				(s)			MP2,5	MP10	MPS	CO	NO	NO2	SO2	NH3	Unidad
IC_66_05	ROAD	149	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_06	ROAD	45	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_07	ROAD	24	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,6E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_08	ROAD	19	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,4E-07	3,0E-06	7,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,6E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_09	ROAD	212	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_10	ROAD	75	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,5E-07	3,0E-06	7,7E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_11	ROAD	307	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_12	ROAD	473	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	6,6E-07	4,1E-06	1,1E-05	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,6E-09	g/s-m
IC_66_13	ROAD	314	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_14	ROAD	126	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_15	ROAD	96	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_16	ROAD	30	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_17	ROAD	233	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	6,6E-07	4,1E-06	1,1E-05	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,6E-09	g/s-m
IC_66_18	ROAD	205	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,2E-07	2,7E-06	6,8E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_19	ROAD	842	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,1E-07	2,5E-06	6,0E-06	3,1E-06	3,5E-06	6,0E-07	9,0E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_20	ROAD	196	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_21	ROAD	221	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_22	ROAD	98	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_23	ROAD	151	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_24	ROAD	25	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_25	ROAD	142	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_26	ROAD	93	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_27	ROAD	350	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_28	ROAD	31	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,8E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m

Fuente	Tipo de Fuente	Dimensión	Dimensión	Variabilidad	Ciclo	Tiempo	Tasa de Emisión								
				(s)			MP2,5	MP10	MPS	CO	NO	NO2	SO2	NH3	Unidad
IC_66_29	ROAD	201	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	7,0E-07	4,5E-06	1,3E-05	3,0E-06	3,4E-06	5,9E-07	8,7E-09	2,7E-09	g/s-m
IC_66_30	ROAD	231	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_31	ROAD	101	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_32	ROAD	92	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,7E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_33	ROAD	206	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,9E-07	3,5E-06	9,2E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m
IC_66_34	ROAD	180	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_35	ROAD	290	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,8E-06	2,9E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,6E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_36	ROAD	144	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	4,9E-07	2,4E-06	5,8E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,7E-07	8,7E-09	2,4E-09	g/s-m
IC_66_37	ROAD	46	m	Weekly/Diurnal	-	8.521.200	5,9E-07	3,5E-06	9,3E-06	3,0E-06	3,4E-06	5,8E-07	8,7E-09	2,5E-09	g/s-m

Fuente: Elaboración Propia.

4.8.2 Receptores de Interés

Para la modelación de dispersión de contaminantes, se definieron un total de 15 receptores discretos, los cuales corresponden a estaciones de monitoreo, receptores humanos (viviendas) y fauna más cercanos a la zona de emplazamiento del proyecto.

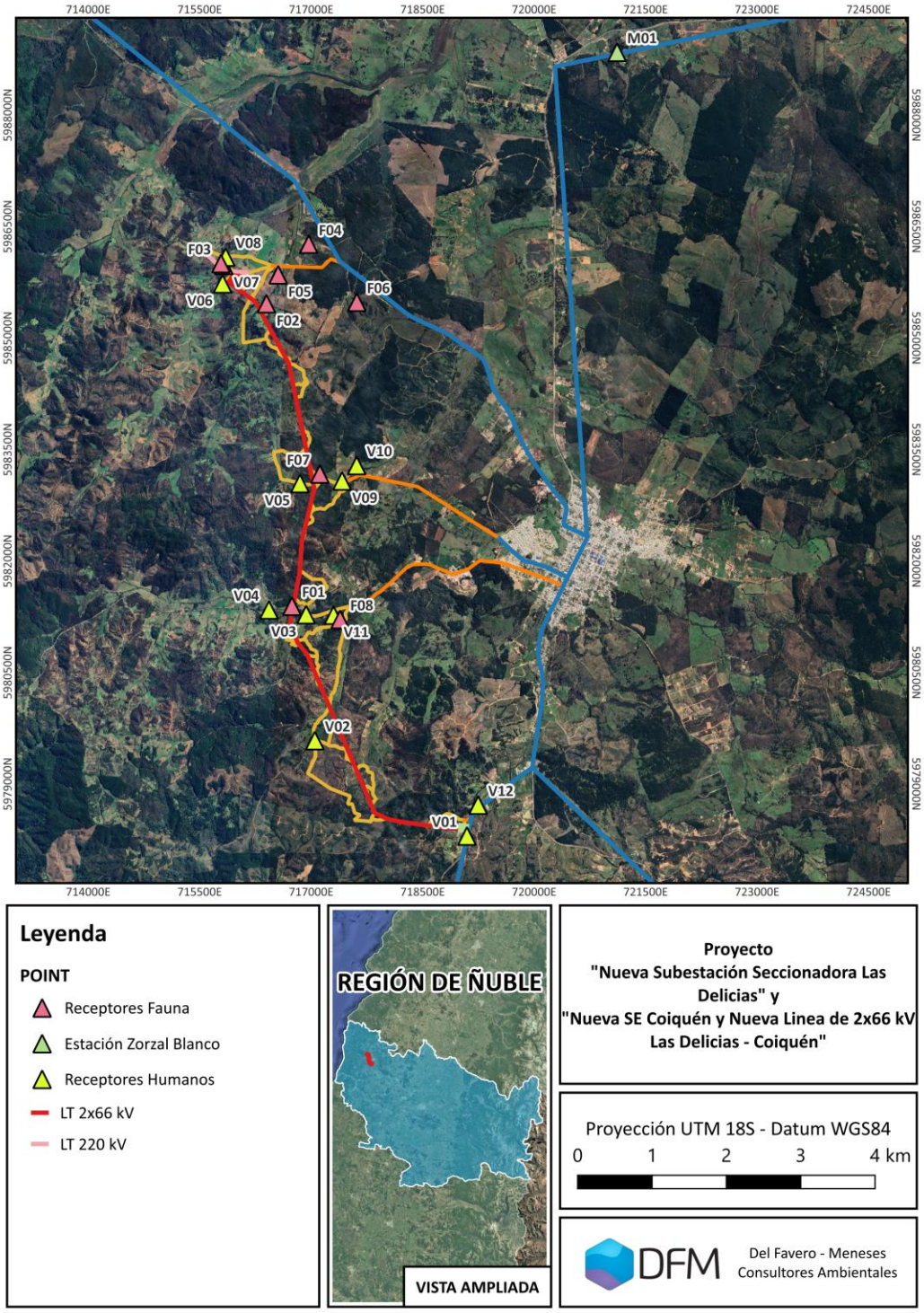
Tabla 4-13. Receptores de Interés.

Receptor	Descripción	Tipo de Receptor	Coordenadas [Datum WGS84]		Distancia al Proyecto [m]	Elevación (m.s.n.m)
			Este [m]	Norte [m]		
V01	Vivienda	Primario	719.097	5.978.299	69,1	257,43
V02	Vivienda	Primario	717.050	5.979.583	350,2	269,63
V03	Vivienda	Primario	716.933	5.981.278	193,2	261,4
V04	Vivienda	Primario	716.433	5.981.342	320,3	269,68
V05	Centro Ecoturismo	Primario	716.850	5.983.043	173,3	299,34
V06	Galpón	Primario	715.808	5.985.729	81,3	269,03
V07	Vivienda	Primario	715.824	5.985.978	48,15	266,76
V08	Vivienda	Primario	715.851	5.986.089	147,3	265,76
V09	Vivienda	Primario	717.417	5.983.077	393,7	289,54
V10	Galpón	Primario	717.613	5.983.285	633,3	284,97
V11	Centro de Eventos	Primario	717.301	5.981.270	558,9	258,13
V12	Motel	Primario	719.248	5.978.715	310,6	255,6
F01	Flora y Fauna	Secundario	716.742	5.981.392	13,3	264,52
F02	Flora y Fauna	Secundario	716.399	5.985.461	128,9	262,8
F03	Flora y Fauna	Secundario	715.787	5.986.002	38,4	267,44
F04	Flora y Fauna	Secundario	716.968	5.986.262	914,2	262,32
F05	Ganadería	Secundario	716.556	5.985.850	422,7	263,45
F06	Cultivos	Secundario	717.615	5.985.482	1.202,8	275,14
F07	Flora y Fauna	Secundario	717.117	5.983.171	111,6	293,82
F08	Ganadería	Secundario	717.390	5.981.213	651,3	259,23
M01	Estación MET	Primario	721.117	5.988.844	5.813,1	276,53

Fuente: Elaboración Propia.

Así, en la siguiente figura se presentan, de manera georreferenciada, la ubicación de los receptores de interés utilizados en la modelación.

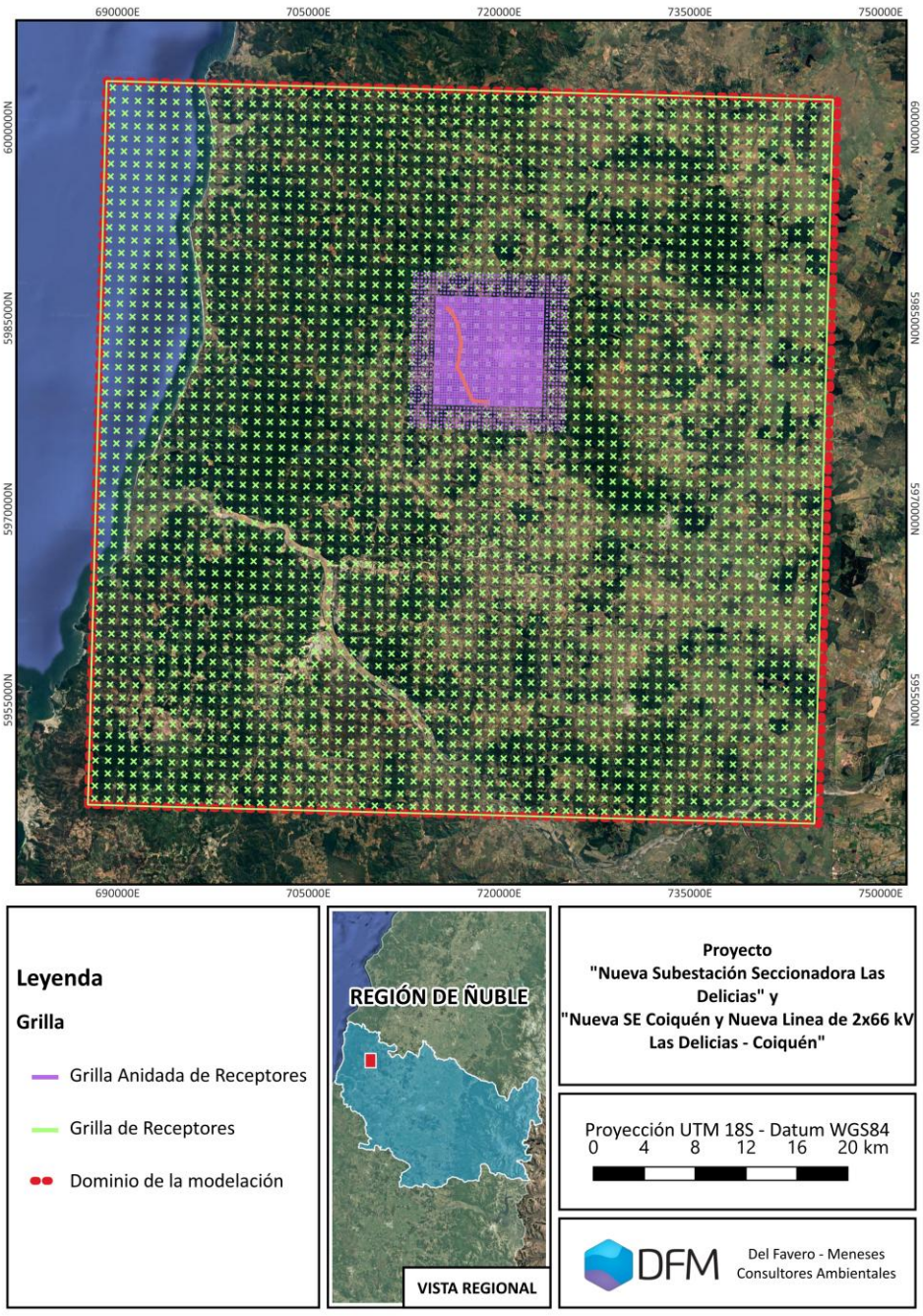
Figura 4.24. Ubicación de Receptores de Interés.



Fuente: Elaboración Propia.

Adicionalmente, como se muestra en la Figura 4.25, se definió una grilla de receptores, con resolución de 1.000 x 1.000 m y dos grillas anidadas de 200 x 200 m y 300 x 300 m.

Figura 4.25. Ubicación de Grilla de Receptores.



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.3 Resultados de la Modelación

En este inciso se presentan los resultados de la modelación de calidad del aire. En primer lugar, se incluyen tablas en las que se cuantifica el aporte del Proyecto para cada uno de los contaminantes evaluados en los receptores de interés. Posteriormente, estos resultados se comparan con la normativa de calidad del aire correspondiente, a fin de determinar el porcentaje de aporte del Proyecto respecto del valor normativo aplicable a cada contaminante.

Complementariamente, se presentan las curvas de isoconcentración e isodepositación, según corresponda, para todos los contaminantes evaluados. Estas permiten analizar la distribución espacial del aporte del Proyecto en el conjunto del dominio de modelación y estimar su incidencia en sectores distintos de los receptores de interés.

Es importante mencionar, que debido que en el Anexo 1.2: “Inventarios de Emisiones Atmosféricas” las emisiones de NO_2 son contabilizadas dentro de la categoría general de NOx, es que, para representar adecuadamente la dispersión del NO_2, se utilizó la opción 6 del método de transformación química, el cual utiliza el mecanismo RIVAD con ISORROPIA, donde se separaron las emisiones de NOx en una relación de 10% de NO_2/NO; a su vez, las emisiones de NO se estimaron considerando que el factor de emisión asume el total de NOx como NO_2, por lo que se ponderó la emisión total, considerando el peso molecular del compuesto.

Para los resultados de este escenario se muestra la dispersión de las emisiones de: movimientos de material, operación de maquinaria fuera de ruta, resuspensión de polvo, grupos electrógenos y combustión por tránsito vehicular.

4.8.3.1 *Material Particulado Fino Respirable (MP2.5)*

En la Tabla 4-14 se presentan las concentraciones de Material Particulado Fino Respirable (MP2.5) aportadas por proyecto en los receptores de interés para la modelación en estudio.

Tabla 4-14. Resultados de modelo de dispersión de MP2,5.

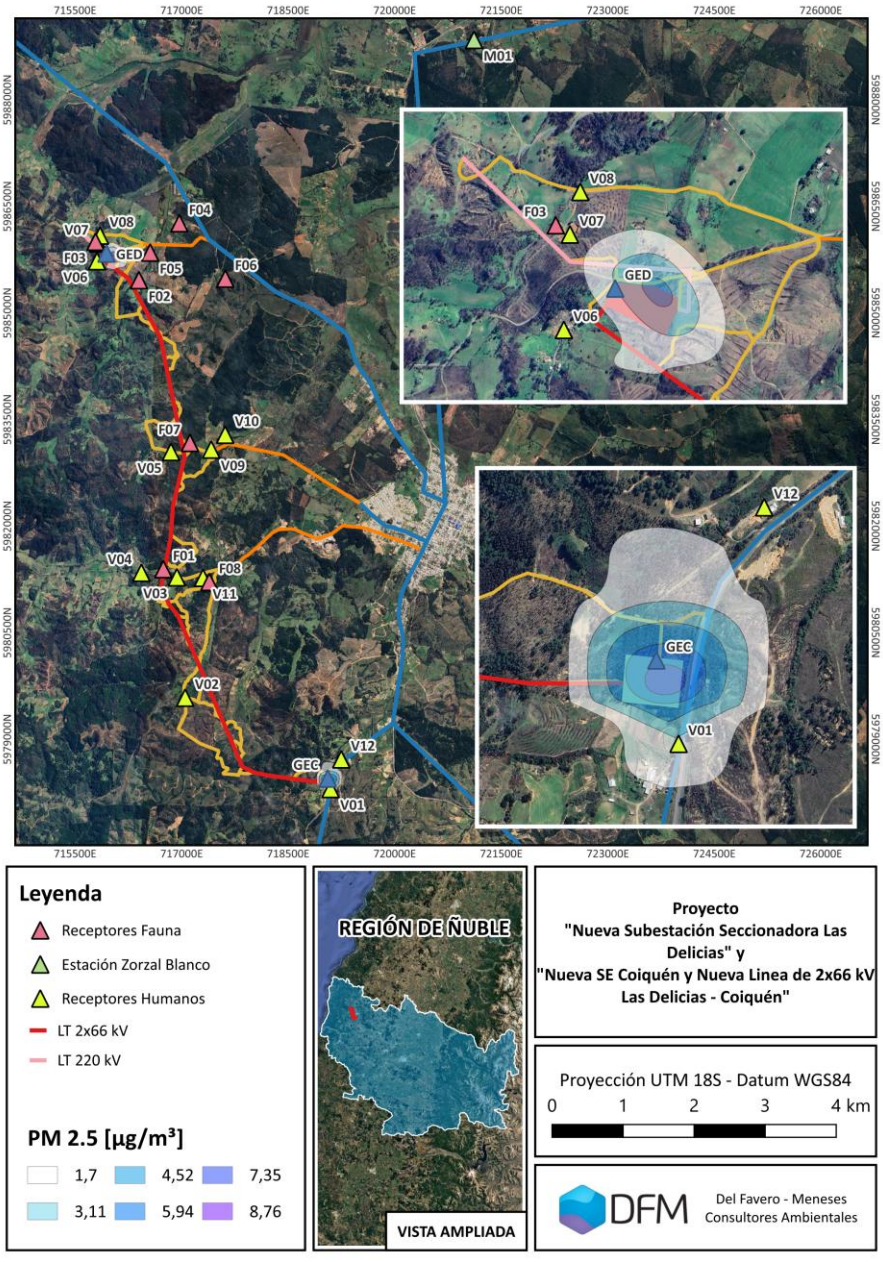
ID	Receptor	Material Particulado Fino [MP2,5]			
		Concentración [µg/m³]		Porcentaje de la Norma de Calidad	
		Percentil 98 24 horas	Período Anual	Percentil 98 24 horas	Período Anual
Normativa		**50**	**20**		
V01	V01	2,56	0,32	**5,12%**	**1,58%**
V02	V02	0,18	0,05	**0,36%**	**0,25%**
V03	V03	0,10	0,03	**0,19%**	**0,15%**
V04	V04	0,04	0,00	**0,08%**	**0,02%**
V05	V05	0,10	0,02	**0,19%**	**0,10%**
V06	V06	1,33	0,14	**2,66%**	**0,69%**
V07	V07	1,03	0,17	**2,07%**	**0,87%**
V08	V08	0,84	0,13	**1,68%**	**0,67%**
V09	V09	0,09	0,03	**0,19%**	**0,13%**
V10	V10	0,05	0,01	**0,10%**	**0,07%**
V11	V11	0,07	0,02	**0,14%**	**0,10%**
V12	V12	0,69	0,14	**1,39%**	**0,71%**
F01	F01	0,17	0,06	**0,33%**	**0,29%**
F02	F02	0,72	0,07	**1,45%**	**0,37%**
F03	F03	0,94	0,15	**1,89%**	**0,77%**
F04	F04	0,42	0,06	**0,84%**	**0,31%**
F05	F05	0,92	0,11	**1,84%**	**0,54%**
F06	F06	0,09	0,01	**0,17%**	**0,06%**
F07	F07	0,13	0,04	**0,26%**	**0,19%**
F08	F08	0,14	0,03	**0,27%**	**0,17%**
M01	M01	0,01	0,00	**0,02%**	**0,01%**

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se observa en la tabla anterior, los aportes del Proyecto sobre los receptores de interés alcanzan como máximo el 5,12% de la norma de este contaminante en periodo diario (V01), mientras que, para periodo anual, los valores son iguales o menores al 1,58% de la normativa respectiva en el mismo receptor.

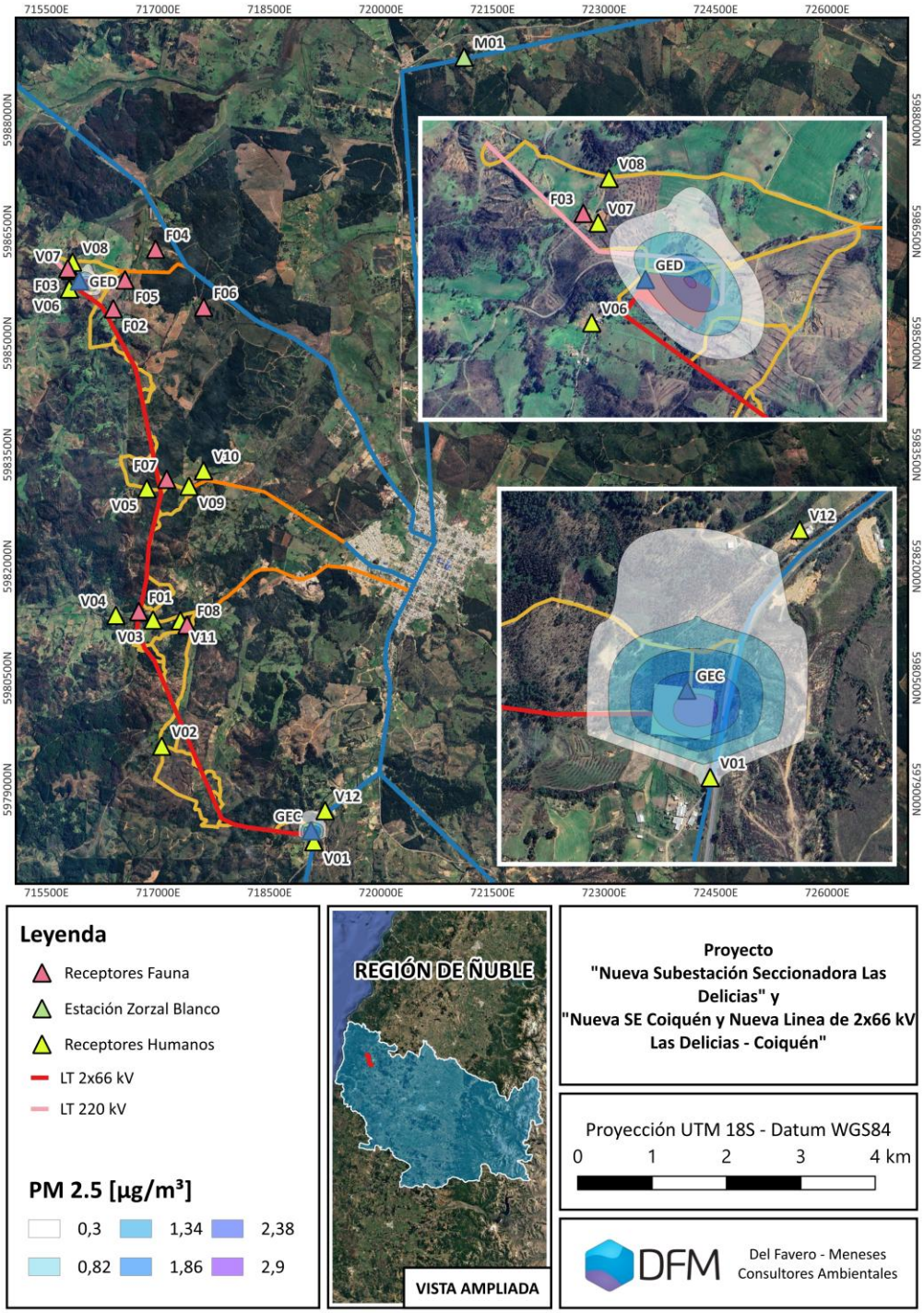
A continuación, en la Figura 4.26 se presenta la curva de isoconcentración para Percentil 98 periodo 24 horas MP2,5 y en la Figura 4.27 la curva de isoconcentración de Material Particulado Fino Respirable (MP2,5) para el período anual.

Figura 4.26. Curva de Isoconcentración percentil 98 período 24 horas MP2,5 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.27. Curva de Isoconcentración período anual MP2,5 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.3.2 *Material Particulado Respirable (MP10)*

En la Tabla 4-15 se presentan las concentraciones de Material Particulado Respirable (MP10) aportadas por el proyecto en los receptores de interés para el escenario de modelación en estudio.

Tabla 4-15. Resultados de modelo de dispersión de MP10.

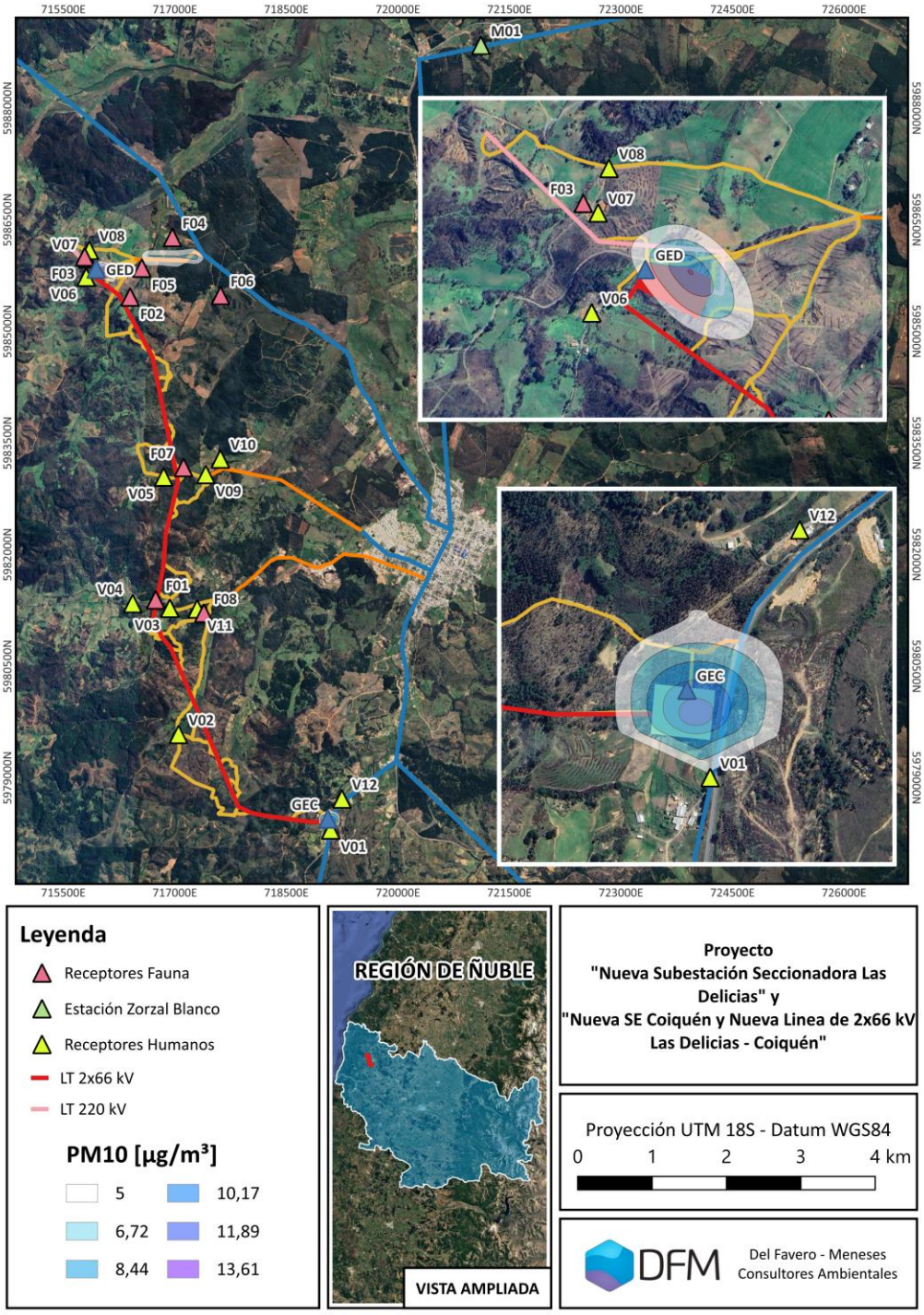
ID	Receptor	Material Particulado Respirable [MP10]			
		Concentración [µg/m³]		Porcentaje de la Norma de Calidad	
		Percentil 98 24 horas	Período Anual	Percentil 98 24 horas	Período Anual
Normativa		**130**	**50**		
V01	V01	4,23	0,56	**3,25%**	**1,13%**
V02	V02	1,44	0,44	**1,11%**	**0,89%**
V03	V03	0,49	0,13	**0,38%**	**0,26%**
V04	V04	0,12	0,01	**0,09%**	**0,03%**
V05	V05	0,49	0,10	**0,38%**	**0,20%**
V06	V06	2,39	0,25	**1,84%**	**0,49%**
V07	V07	1,94	0,26	**1,49%**	**0,51%**
V08	V08	1,62	0,21	**1,25%**	**0,42%**
V09	V09	0,62	0,18	**0,47%**	**0,35%**
V10	V10	0,32	0,08	**0,24%**	**0,15%**
V11	V11	0,46	0,11	**0,35%**	**0,22%**
V12	V12	1,62	0,30	**1,24%**	**0,60%**
F01	F01	0,35	0,11	**0,27%**	**0,23%**
F02	F02	2,09	0,25	**1,61%**	**0,50%**
F03	F03	1,78	0,22	**1,37%**	**0,44%**
F04	F04	2,14	0,42	**1,65%**	**0,83%**
F05	F05	4,07	0,56	**3,13%**	**1,12%**
F06	F06	0,45	0,06	**0,35%**	**0,12%**
F07	F07	0,47	0,14	**0,36%**	**0,29%**
F08	F08	1,01	0,27	**0,78%**	**0,54%**
M01	M01	0,03	0,01	**0,03%**	**0,02%**

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se observa en la tabla anterior, los aportes del Proyecto sobre los receptores de interés alcanzan un máximo de 3,25% de la norma diaria para el receptor V01 mientras que el receptor V01 y F05 alcanza el máximo porcentaje de la norma anual, con 1,13% y 1,12% respectivamente.

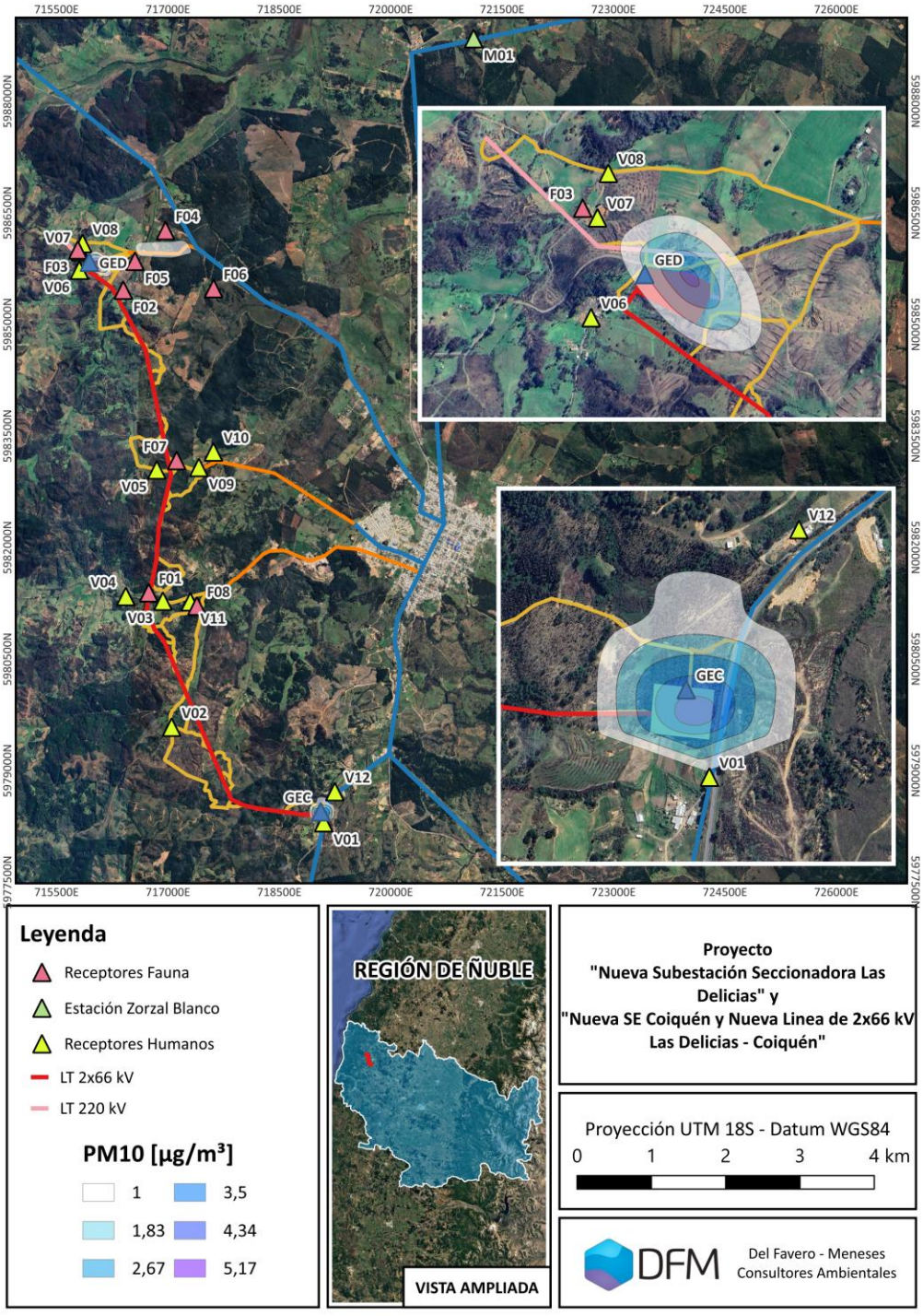
A continuación, en la Figura 4.28 y Figura 4.29 se presentan las curvas de isoconcentración de Material Particulado Respirable (MP10) para la norma de percentil 98 de 24 horas y la norma periodo anual respectivamente.

Figura 4.28. Curva de Isoconcentración percentil 98 período 24 horas MP10 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.29. Curva de Isoconcentración período anual MP10 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.3.3 *Material Particulado Sedimentable (MPS)*

En la Tabla 4-16 se presentan las concentraciones de Material Particulado Sedimentable (MPS) aportadas por el proyecto en los receptores de interés para el escenario de modelación en estudio.

Tabla 4-16. Resultados de modelo de dispersión de MPS.

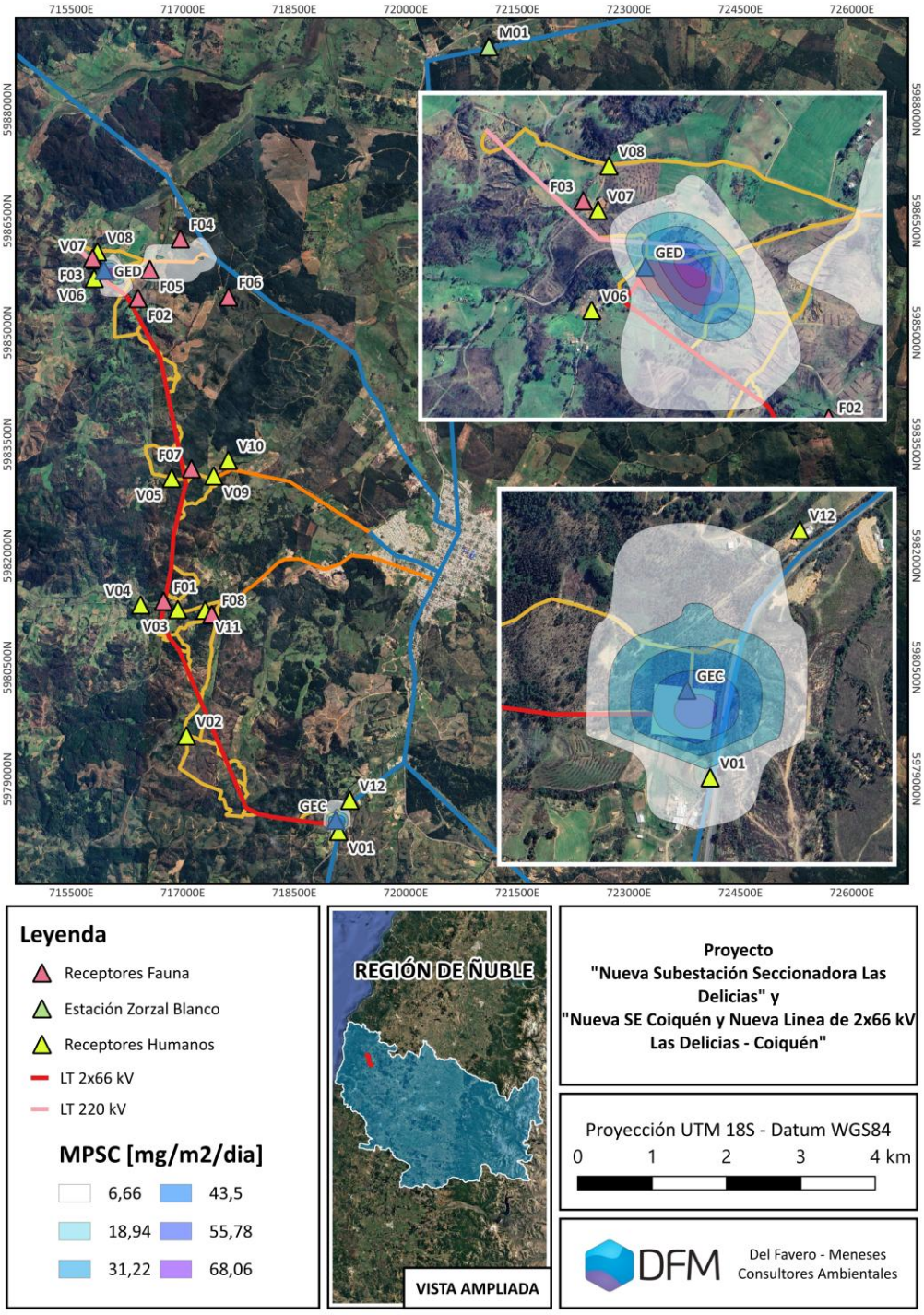
ID	Receptor	Material Particulado Sedimentable [MPS]			
		Concentración [mg/m²/día]		Porcentaje de la Norma de Calidad	
		Periodo Mensual	Período Anual	Periodo Mensual	Período Anual
Normativa		**333**	**200**		
V01	V01	11,14	4,44	**3,34%**	**2,22%**
V02	V02	4,74	4,48	**1,42%**	**2,24%**
V03	V03	1,48	1,05	**0,45%**	**0,53%**
V04	V04	0,06	0,03	**0,02%**	**0,01%**
V05	V05	1,25	0,89	**0,38%**	**0,45%**
V06	V06	2,14	1,08	**0,64%**	**0,54%**
V07	V07	1,69	1,06	**0,51%**	**0,53%**
V08	V08	1,79	0,94	**0,54%**	**0,47%**
V09	V09	2,22	1,68	**0,67%**	**0,84%**
V10	V10	0,70	0,47	**0,21%**	**0,24%**
V11	V11	0,96	0,72	**0,29%**	**0,36%**
V12	V12	2,73	1,82	**0,82%**	**0,91%**
F01	F01	1,72	1,30	**0,52%**	**0,65%**
F02	F02	2,50	1,60	**0,75%**	**0,80%**
F03	F03	1,21	0,81	**0,36%**	**0,40%**
F04	F04	4,48	3,01	**1,34%**	**1,50%**
F05	F05	12,56	4,39	**3,77%**	**2,20%**
F06	F06	0,41	0,21	**0,12%**	**0,11%**
F07	F07	1,32	1,13	**0,40%**	**0,56%**
F08	F08	3,03	2,22	**0,91%**	**1,11%**
M01	M01	0,10	0,09	**0,03%**	**0,04%**

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se observa en la tabla anterior, los aportes del Proyecto sobre los receptores de interés alcanzan un máximo de 3,77% del valor de referencia para MPS en período mensual en el receptor F05, mientras que para el período anual los valores son iguales o menores al 2,24% de la normativa respectiva para el receptor V02.

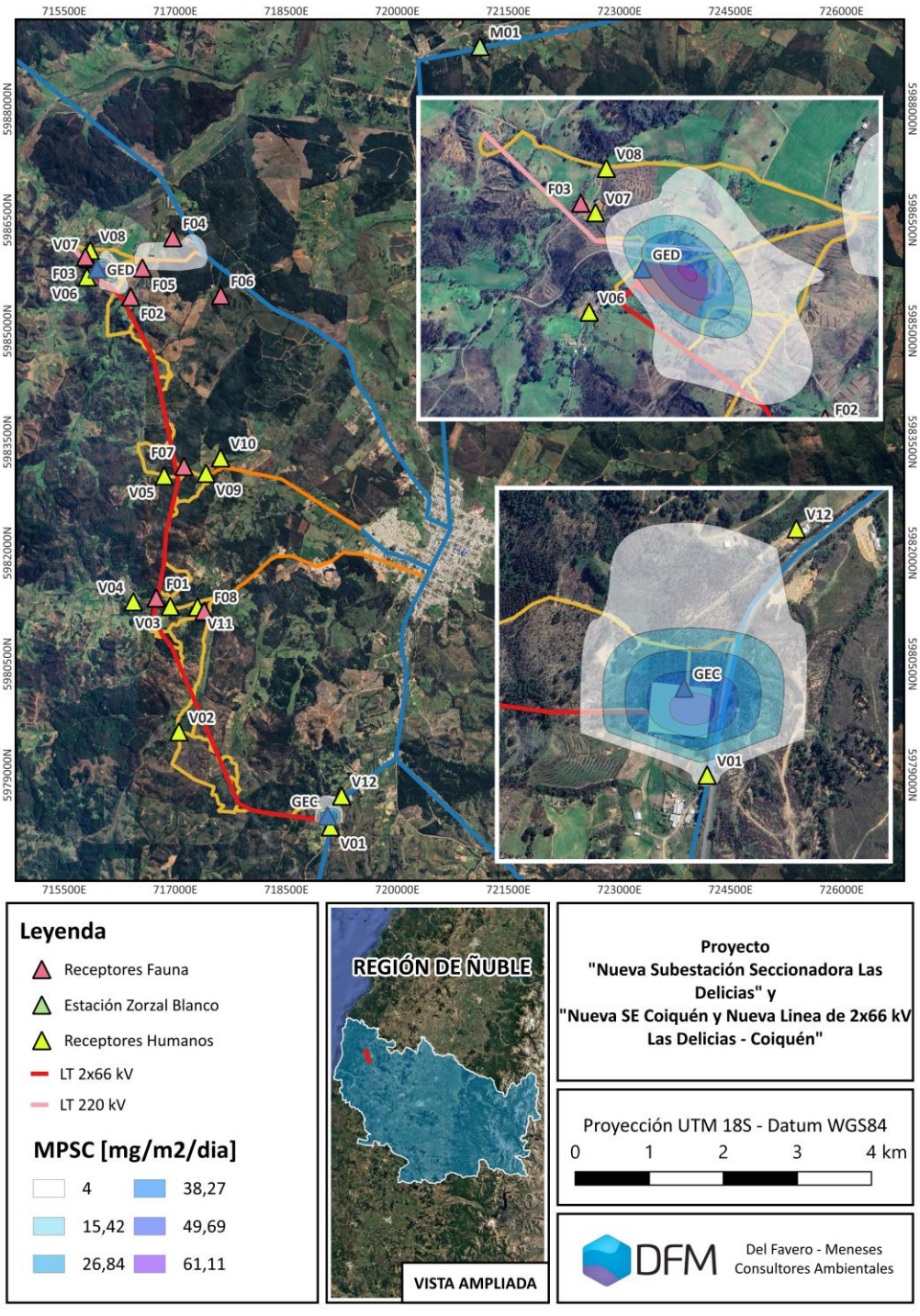
A continuación, en las siguientes figuras se presenta la curva de Isodeposición para periodo mensual y anual de MPS respectivamente.

Figura 4.30. Curva de Isodepositación periodo mensual MPS (mg/m²/día).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.31. Curva de Isodepositación periodo anual MPS (mg/m²/día).



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.3.4 *Monóxido de Carbono (CO)*

En la Tabla 4-17 se presentan las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO) aportadas por el proyecto en los receptores de interés para el escenario de modelación en estudio.

Tabla 4-17. Resultados de modelo de dispersión de CO.

ID	Receptor	Monóxido de Carbono [CO]			
		Concentración [mg/m3]		Porcentaje de la Norma de Calidad	
		Percentil 98 24 horas	Período Anual	Percentil 99 1 hora	Percentil 99 8 horas
Normativa		**30**	**10**		
V01	V01	0,16	0,04	**0,52%**	**0,36%**
V02	V02	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**
V03	V03	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**
V04	V04	0,00	0,00	**0,00%**	**0,00%**
V05	V05	0,00	0,00	**0,01%**	**0,01%**
V06	V06	0,07	0,02	**0,24%**	**0,15%**
V07	V07	0,06	0,01	**0,20%**	**0,13%**
V08	V08	0,06	0,01	**0,20%**	**0,10%**
V09	V09	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**
V10	V10	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**
V11	V11	0,00	0,00	**0,00%**	**0,00%**
V12	V12	0,06	0,01	**0,20%**	**0,10%**
F01	F01	0,00	0,00	**0,01%**	**0,01%**
F02	F02	0,05	0,01	**0,17%**	**0,06%**
F03	F03	0,06	0,01	**0,19%**	**0,11%**
F04	F04	0,02	0,00	**0,06%**	**0,03%**
F05	F05	0,05	0,01	**0,18%**	**0,07%**
F06	F06	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**
F07	F07	0,00	0,00	**0,02%**	**0,01%**
F08	F08	0,00	0,00	**0,00%**	**0,00%**
M01	M01	0,00	0,00	**0,01%**	**0,00%**

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se observa en la tabla anterior, los aportes del Proyecto, sobre los receptores de interés no superan el 0,52% de la norma de este contaminante para el período de 1 hora, ni el 0,36% para el período de 8 horas, ambos máximos en el receptor V1. En consecuencia, es posible establecer que la contribución del proyecto, en cuanto a emisiones de CO, sobre los receptores de interés, es muy baja.

Cabe señalar que no se presentan las curvas de Monóxido de Carbono (CO) debido a que los aportes no alcanzan valores estadísticamente significativos en todo el dominio de modelado.

4.8.3.5 *Dióxido de Nitrógeno (NO_2)*

En la Tabla 4-18 se presentan las concentraciones de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) aportadas por el proyecto en los receptores de interés para el escenario de modelación en estudio.

Tabla 4-18. Resultados de modelo de dispersión de NO_2.

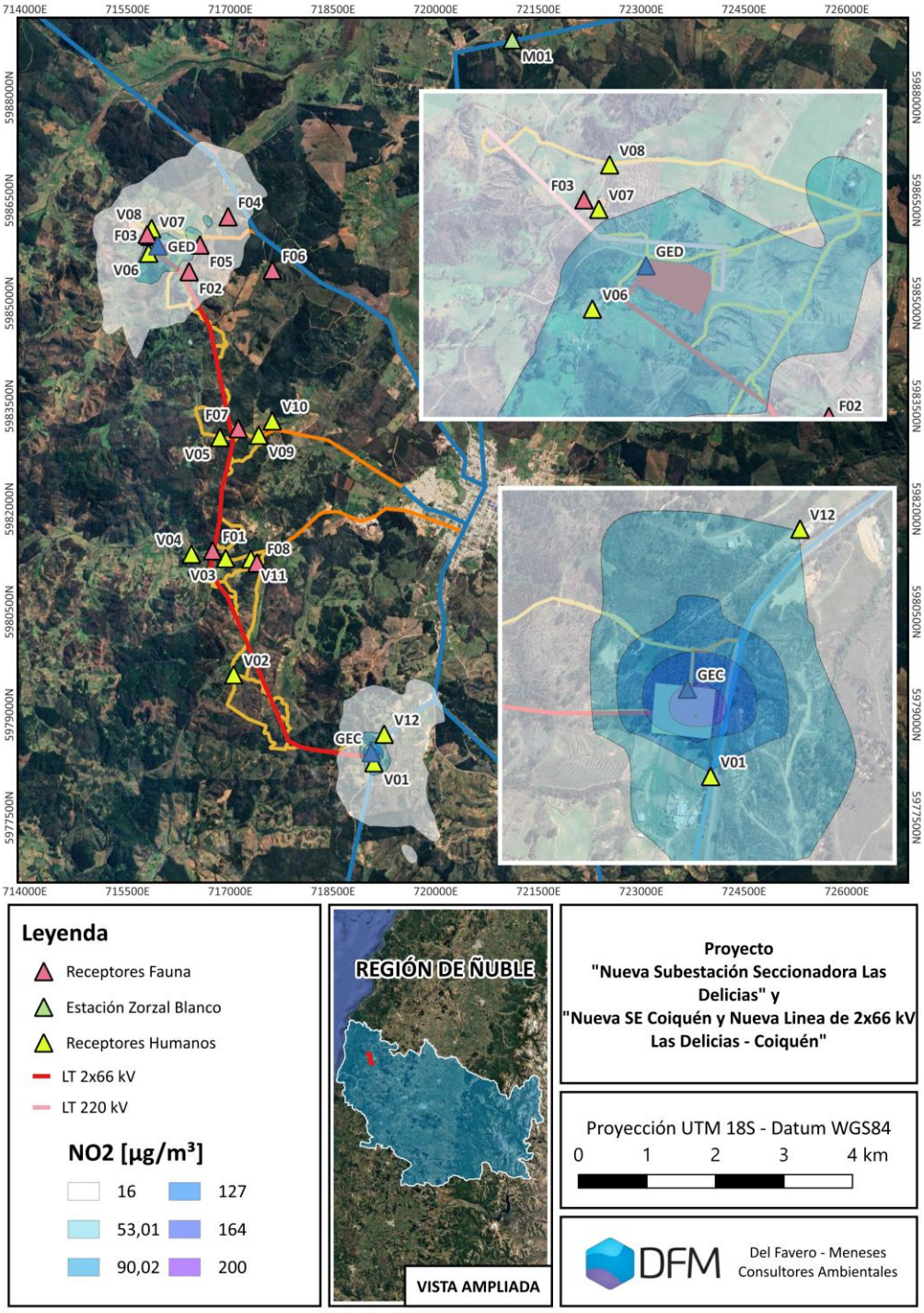
ID	Receptor	Dióxido de Nitrógeno [NO_2]					
		Concentración [µg/m³]			Porcentaje de la Norma de Calidad		
		Percentil 99 1 hora	Percentil 99 24 horas	Período Anual	Percentil 99 1 hora	Percentil 99 24 horas	Período Anual
Normativa		**200**	**100**	**40**			
V01	V01	82,69	8,26	0,95	**41,34%**	**8,26%**	**2,38%**
V02	V02	2,73	0,20	0,02	**1,37%**	**0,20%**	**0,05%**
V03	V03	2,39	0,23	0,05	**1,20%**	**0,23%**	**0,11%**
V04	V04	2,05	0,15	0,01	**1,02%**	**0,15%**	**0,03%**
V05	V05	4,14	0,36	0,04	**2,07%**	**0,36%**	**0,09%**
V06	V06	58,16	5,87	0,45	**29,08%**	**5,87%**	**1,14%**
V07	V07	45,01	4,24	0,51	**22,50%**	**4,24%**	**1,28%**
V08	V08	43,30	4,17	0,49	**21,65%**	**4,17%**	**1,22%**
V09	V09	2,24	0,17	0,04	**1,12%**	**0,17%**	**0,09%**
V10	V10	1,65	0,16	0,03	**0,82%**	**0,16%**	**0,07%**
V11	V11	2,93	0,23	0,04	**1,46%**	**0,23%**	**0,10%**
V12	V12	52,06	4,36	0,68	**26,03%**	**4,36%**	**1,71%**
F01	F01	3,69	0,27	0,07	**1,85%**	**0,27%**	**0,16%**
F02	F02	37,40	2,48	0,19	**18,70%**	**2,48%**	**0,47%**
F03	F03	44,91	3,83	0,47	**22,46%**	**3,83%**	**1,17%**
F04	F04	35,94	1,80	0,17	**17,97%**	**1,80%**	**0,43%**
F05	F05	50,31	3,11	0,28	**25,16%**	**3,11%**	**0,69%**
F06	F06	4,52	0,36	0,04	**2,26%**	**0,36%**	**0,09%**
F07	F07	4,38	0,36	0,07	**2,19%**	**0,36%**	**0,17%**
F08	F08	2,73	0,21	0,04	**1,36%**	**0,21%**	**0,10%**
M01	M01	0,91	0,08	0,02	**0,46%**	**0,08%**	**0,05%**

Fuente: Elaboración Propia.

Conforme a lo que se observa en la tabla anterior, los aportes Proyecto, sobre los receptores de interés, no superan la norma horaria de este contaminante, específicamente el máximo porcentaje con respecto a la norma es 41,34% para la norma horaria, 8,26% para la diaria y 2,38% para la anual, todas en el receptor V01.

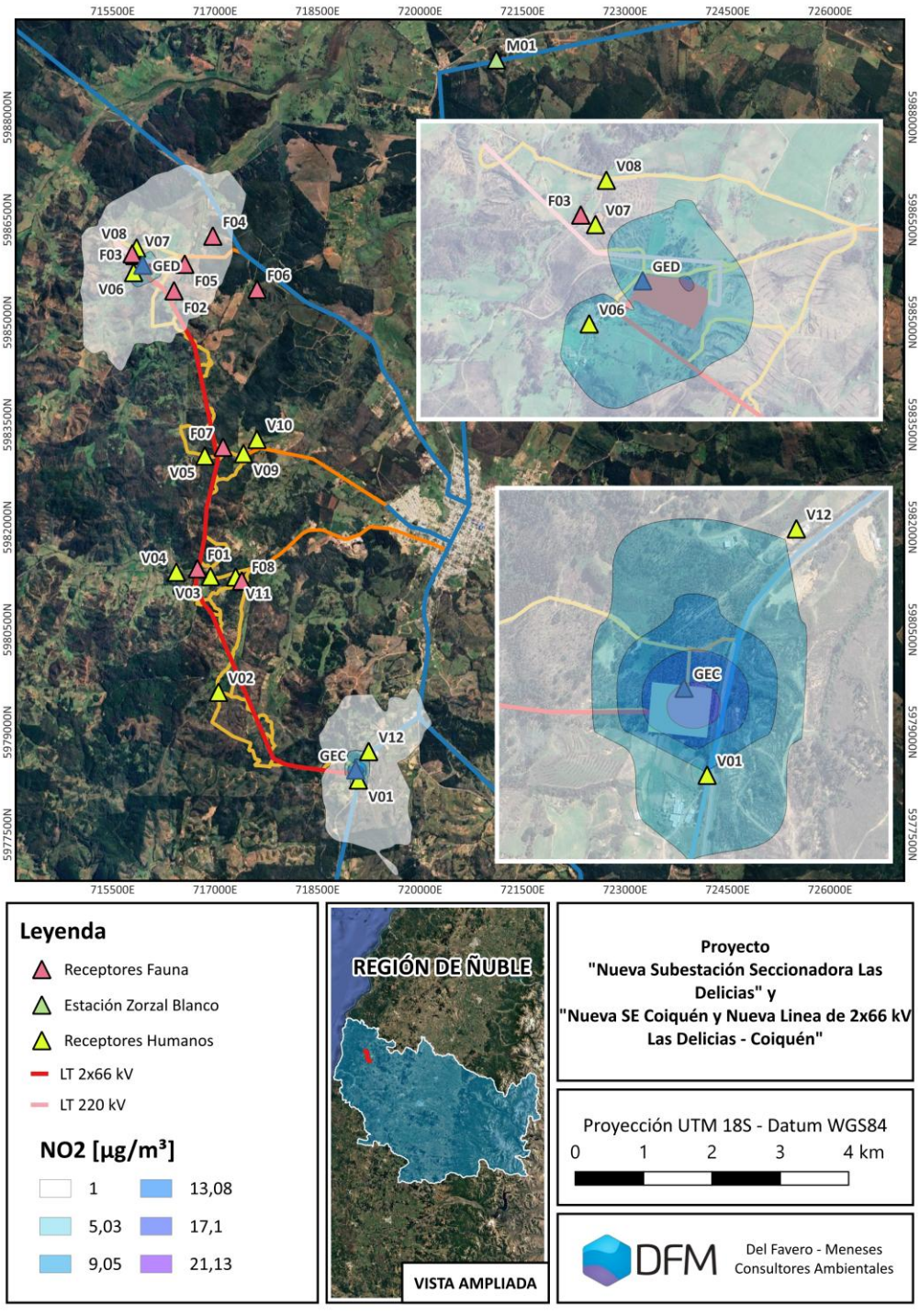
A continuación, en las siguientes figuras se presentan las curvas de isoconcentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) para la norma de percentil 99 de 1 hora, percentil 99 de 24 horas y la norma de periodo anual, respectivamente.

Figura 4.32. Curva de Isoconcentración percentil 99 periodo 1 hora NO_2 (µg/m³).



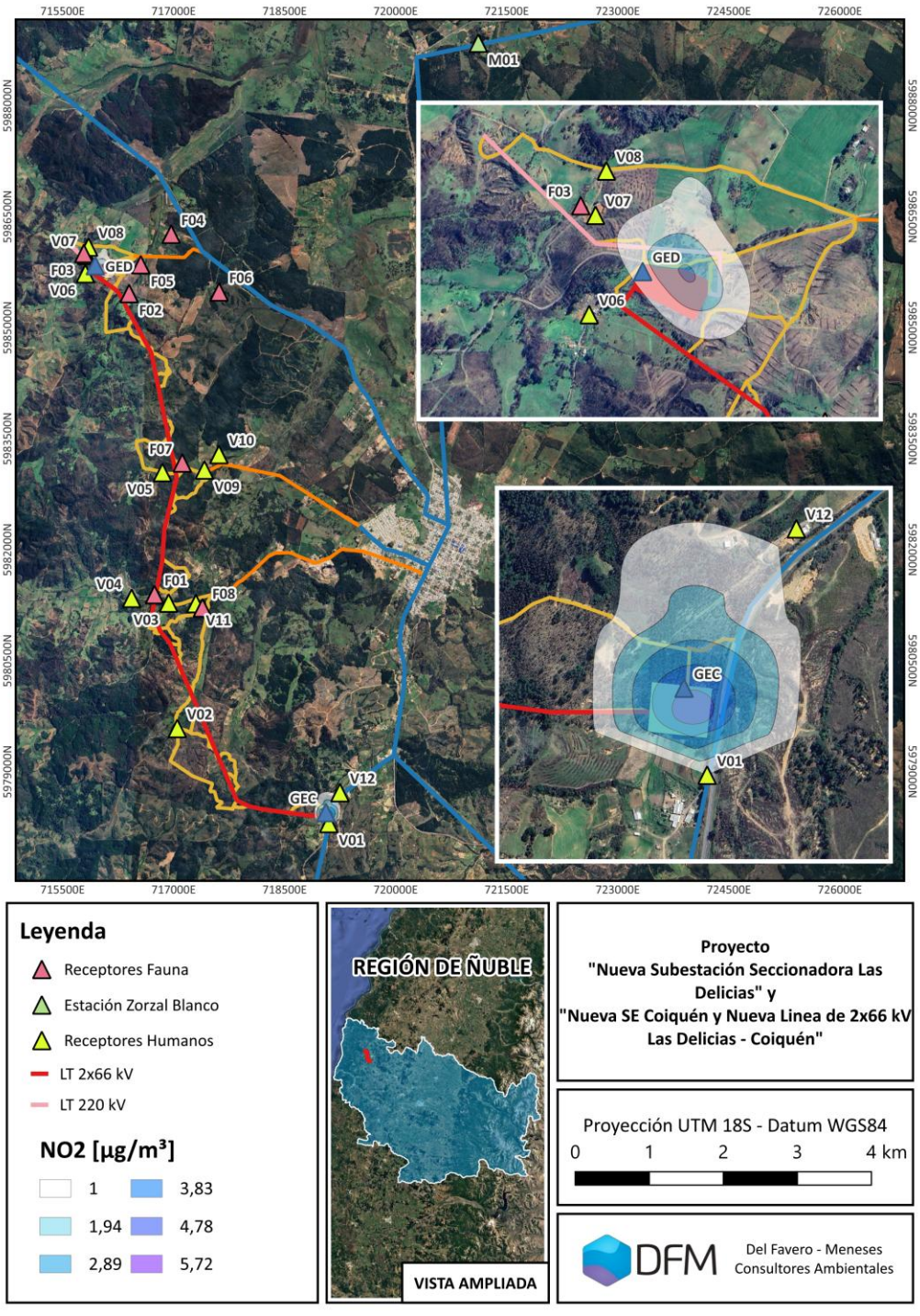
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.33. Curva de Isoconcentración percentil 99 periodo 24 horas NO_2 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.34. Curva de Isoconcentración periodo anual NO2 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.3.6 *Dióxido de Azufre (SO_2)*

En la Tabla 4-19 se presentan las concentraciones de Dióxido de Azufre (SO_2) aportadas por el proyecto en los receptores de interés para el escenario de modelación en estudio.

Tabla 4-19. Resultados de modelo de dispersión de SO_2.

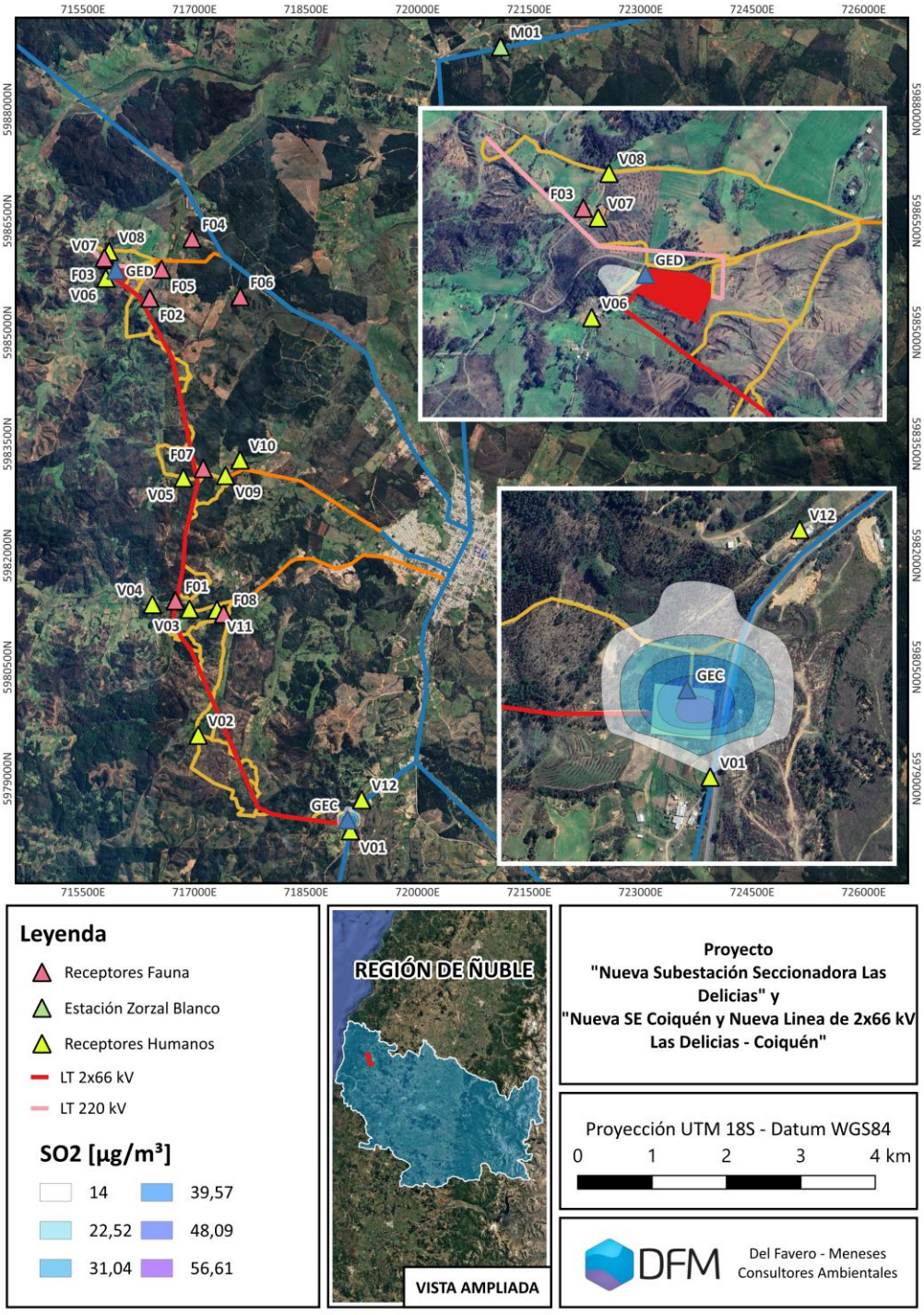
ID	Receptor	Dióxido de Azufre [SO_2]					
		Concentración [µg/m³]			Porcentaje de la Norma de Calidad		
		Percentil 99 1 hora	Percentil 99 24 horas	Período Anual	Percentil 99 1 hora	Percentil 99 24 horas	Período Anual
Normativa		**350**	**150**	**60**			
V01	V01	2,91	1,06	0,08	**0,83%**	**0,71%**	**0,14%**
V02	V02	0,02	0,01	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**
V03	V03	0,06	0,02	0,00	**0,02%**	**0,01%**	**0,01%**
V04	V04	0,02	0,01	0,00	**0,00%**	**0,01%**	**0,00%**
V05	V05	0,03	0,02	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**
V06	V06	1,28	0,69	0,05	**0,36%**	**0,46%**	**0,08%**
V07	V07	1,51	0,54	0,10	**0,43%**	**0,36%**	**0,17%**
V08	V08	1,33	0,40	0,07	**0,38%**	**0,26%**	**0,11%**
V09	V09	0,03	0,01	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**
V10	V10	0,02	0,01	0,00	**0,01%**	**0,00%**	**0,00%**
V11	V11	0,03	0,01	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**
V12	V12	1,07	0,35	0,04	**0,31%**	**0,23%**	**0,07%**
F01	F01	0,16	0,04	0,01	**0,05%**	**0,03%**	**0,02%**
F02	F02	0,22	0,12	0,01	**0,06%**	**0,08%**	**0,02%**
F03	F03	1,35	0,42	0,10	**0,38%**	**0,28%**	**0,16%**
F04	F04	0,08	0,05	0,00	**0,02%**	**0,03%**	**0,01%**
F05	F05	0,26	0,15	0,01	**0,07%**	**0,10%**	**0,02%**
F06	F06	0,02	0,01	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**
F07	F07	0,08	0,02	0,01	**0,02%**	**0,01%**	**0,01%**
F08	F08	0,03	0,01	0,00	**0,01%**	**0,01%**	**0,00%**

Fuente: Elaboración Propia.

Conforme a lo que se observa en la tabla anterior, los aportes Proyecto, sobre los receptores de interés, no superan el 0,83% de la norma horaria de este contaminante; para el caso de la norma diaria los aportes no superan el 0,71%; y para periodo anual, no superan el 0,17% de la normativa, todos para el receptor V1 en los primeros dos, y V7 para la normativa anual.

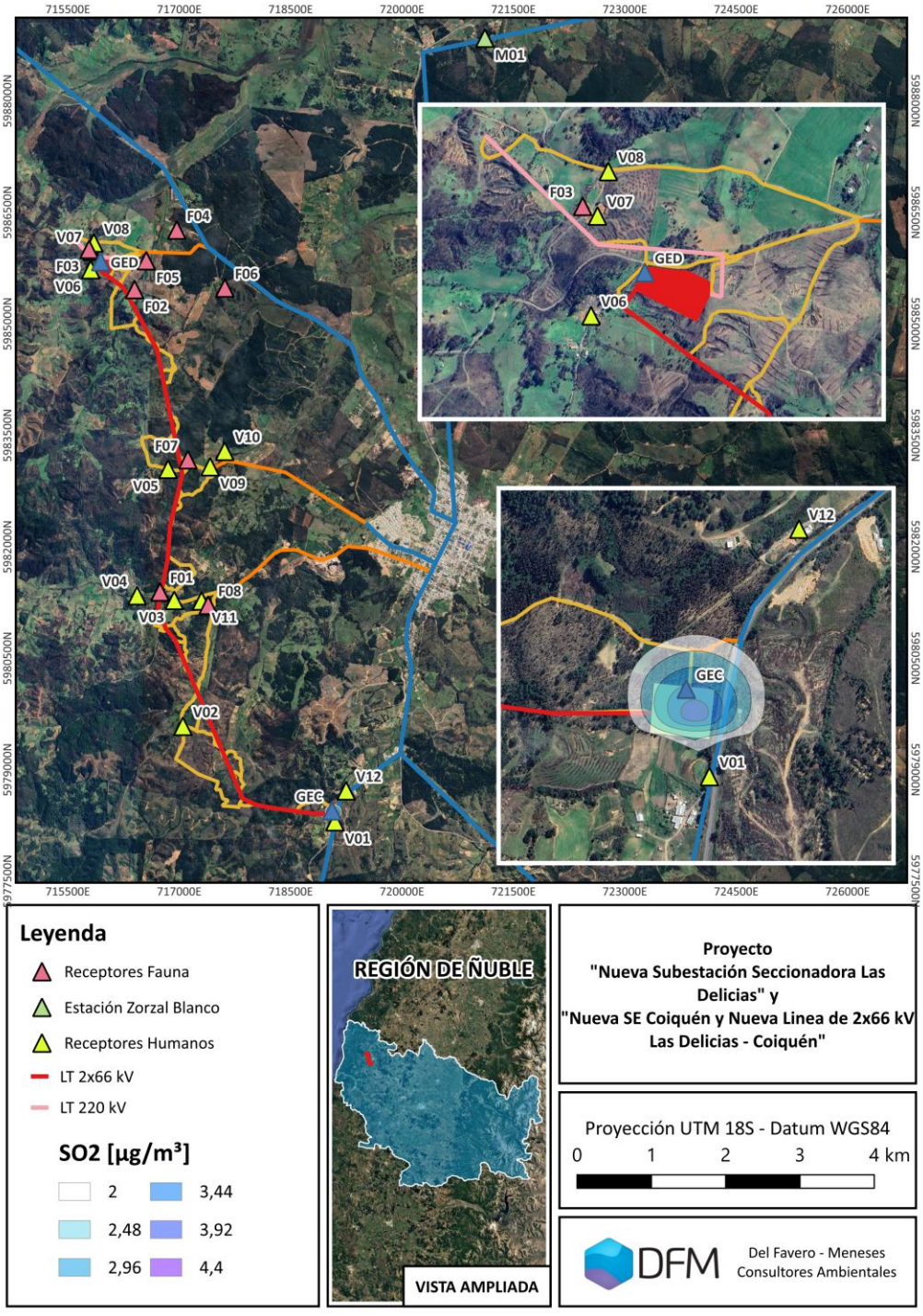
Cabe señalar que solo se presentan las curvas de dióxido de azufre (SO_2) con respecto a la norma horaria y diaria debido a que la anual no alcanza valores estadísticamente significativos, lo que implica un aporte no significativo.

Figura 4.35. Curva de Isoconcentración periodo horario SO_2 (µg/m³).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.36. Curva de Isoconcentración periodo diario SO_2 (µg/m³)



Fuente: Elaboración Propia.

4.8.4 Análisis de Efectos Sinérgicos y/o Acumulativos

Con el objetivo de analizar los efectos sinérgicos y/o acumulativos asociados a la implementación del proyecto, se revisaron los proyectos (EIA o DIA) con Resolución de Calificación Ambiental Favorable existentes en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de los últimos 5 años, y que se encuentren como máximo a un radio de 15 kilómetros de la zona del proyecto. De esta revisión se identificaron los proyectos definidos en la siguiente tabla:

Tabla 4-20. Análisis de Efectos Sinérgicos y/o Acumulativos.

Nombre del Proyecto	Tipo	RCA	Registro SNIFA	Comentario
Sistema de Transmisión Zonal Grupo 3 S/E Itahue – S/E Hualqui	EIA	202599101936/2025	Registra inicio de ejecución del proyecto	No presenta receptores en el área cercana al Proyecto, la modelación de dispersión se restringe a las áreas de Concepción Metropolitano y Talca-Maule, indicando un aporte no significativo en Ñuble.
Parque Eólico Culenco	DIA	20241600170/2024	Registra inicio de etapa de construcción	Parque Eólico se encuentra a una distancia superior a 5 kilómetros de distancia del Proyecto y no presenta receptores en el área de influencia o cercanos.
Nueva Línea de Subtransmisión Eléctrica de 66 kV Ninhue - Quirihue	DIA	56/2009	En etapa de operación	No presenta inventario de emisiones atmosféricas, dado que la DIA señala que, por la naturaleza del proyecto, no se generarán emisiones atmosféricas propias. Solo se contemplan emisiones asociadas al tránsito de vehículos y maquinaria durante la etapa de construcción.

Fuente: Elaboración Propia.

Observamos en la Tabla 4-20 que ninguno de los dos proyectos presenta impactos significativos al Proyecto. En consecuencia, el análisis de efectos sinérgicos y/o acumulativos sobre los receptores sensibles se considera únicamente los aportes del Proyecto.

4.9 Área de Influencia

Tomando en consideración lo señalado en los artículos 5 y 6 del RSEIA así como lo estipulado en la "Guía Calidad del Aire en el Área de Influencia de Proyectos que ingresan al SEIA" (SEA, 2015), para la definición del área de influencia, y en función de evaluar el "riesgo a la salud de la población" y la afectación de los recursos naturales renovables debido a la calidad del aire, se han considerado criterios sobre la base de los receptores sensibles en los cuales existe un objeto de protección, con norma primaria o secundaria vigente en Chile, o alguna norma de referencia. Lo anterior en función a que se busca establecer si, con el aporte del Proyecto (obras, partes y acciones), se superan o no los límites normados de las concentraciones ambientales de los distintos parámetros.

El Proyecto se emplaza en la comuna de Quirihue, provincia de Itata, Región de Ñuble, considerando además desplazamientos por rutas externas dentro de la Región, el área de influencia para la evaluación del componente calidad del aire se extiende por las cercanías del Proyecto y no se define

en el contexto de ninguna zona declarada Zona Saturada o Latente, como lo indica la Figura 4.37, sin embargo ante la ausencia de monitoreos de calidad del aire que permitan la caracterización de la línea de base, el área de influencia se define, en este caso, para la normativa primaria de calidad del aire de: material particulado respirable fino (MP2.5), material particulado respirable (MP10), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), en base a los SILs (Niveles de Impacto Significativo). Estos corresponden a las variaciones en las concentraciones definidas de contaminantes criterio en el aire ambiental que se consideran intrascendentes en comparación con los NAAQS [4] (Estándares Nacionales de Calidad del Aire) y a la variabilidad propia de las concentraciones del respectivo contaminante en las mediciones realizadas por redes de monitoreo, las que de acuerdo al Documento "Evaluación Significancia del Impacto de las Emisiones de un Proyecto o Actividad en Zonas Saturadas en el Marco del SEIA", elaborado por el DICTUC para el Servicio de Evaluación Ambiental (2022). Estos valores se usarán como referencia conservadora, y se indican en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21. Valores de significancia para la evaluación de impacto significativo

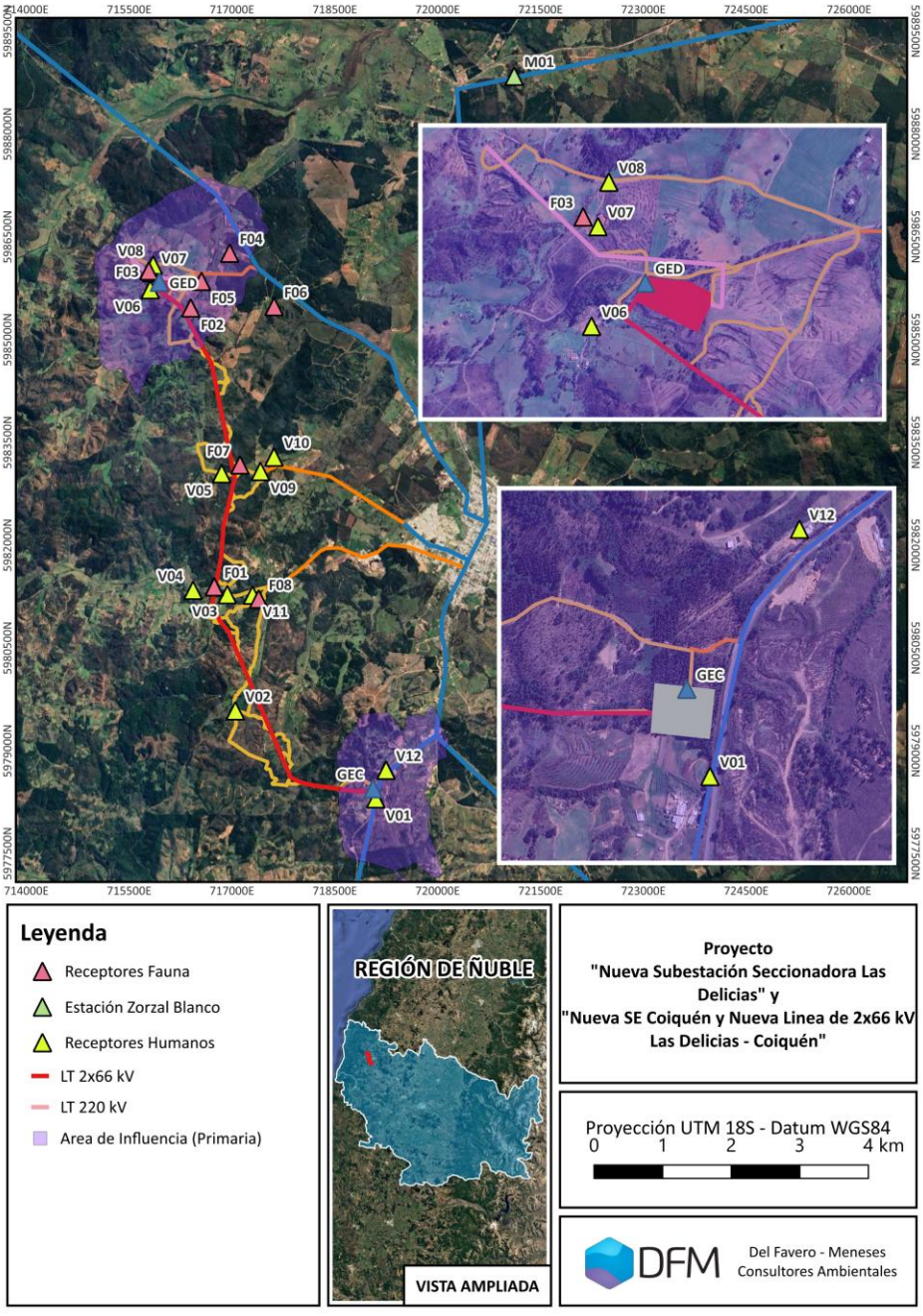
Contaminante	Período	Valor de significancia para el aumento de concentración de contaminantes (µg/m³)	Referencia
MP2.5	24 horas	1,7	Evaluación Significancia del Impacto de las Emisiones de un Proyecto o Actividad en Zonas Saturadas en el Marco del SEIA, DICTUC, 2022
	Anual	0,3	
MP10	24 horas	5,0	
	Anual	1,0	
NO_2	1 hora	16,0	
	24 horas	1,0[5]	
	Anual	1,0	
CO	1 hora	1.500	
	8 horas	488,90	
SO_2	1 hora	14,0	
	24 horas	2,0	
	Anual	1,2	

Fuente: Elaboración Propia en base a estudio DICTUC 2022

[4] NAAQS: National Ambient Air Quality Standards.
[5] Referencial

En consecuencia, las siguientes figuras presentan la superposición de las curvas de isoconcentración correspondientes al valor del SIL para los contaminantes con norma primaria de calidad del aire.

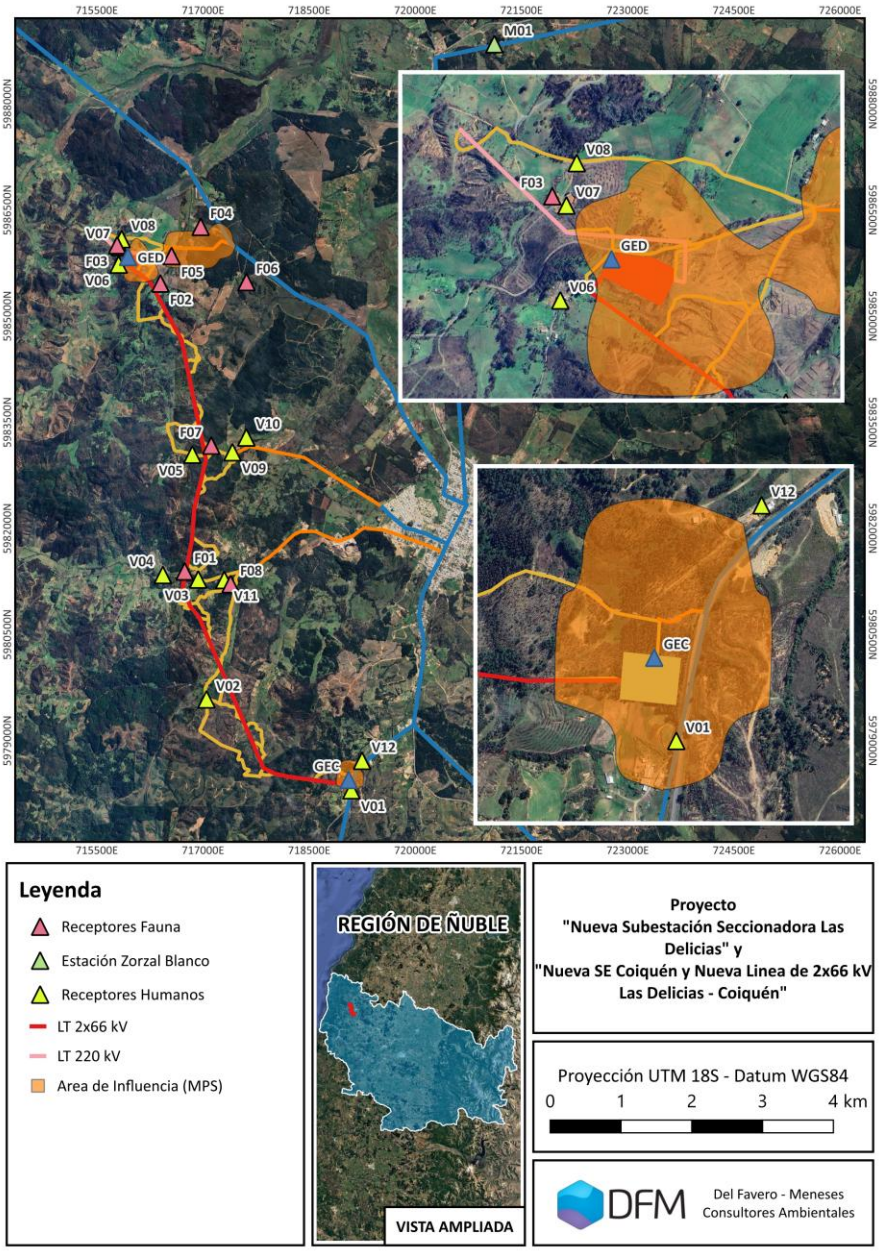
Figura 4.37. Área de Influencia Proyecto para Normativa Primaria de Calidad de Aire.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la siguiente figura se presenta la curva del área de influencia del MPS, la cual es la unión de las curvas que representan al 2% de la norma mensual y anual de isodepositación, como referencia conservadora.

Figura 4.38. Área de Influencia Proyecto para Normativa Secundaria de Calidad de Aire. (MPS)



Fuente: Elaboración propia.

5 CONCLUSIONES

5.1 Modelación de Dispersión de Contaminantes

En términos generales, el área de influencia del Proyecto se concentra en los accesos y las subestaciones, asociado mayoritariamente a las emisiones de dióxido de nitrógeno. Por su parte, los aportes asociados a las obras de la Línea 2x66 kV y al Seccionamiento 220 kV no presentan una contribución perceptible en los resultados de la modelación. A partir de los resultados obtenidos en la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos, se destacan las siguientes conclusiones para cada contaminante evaluado:

- **Material Particulado Respirable Fino (MP2,5):**

  Los aportes netos del proyecto sobre los receptores de interés que se encuentran en el área de influencia del proyecto no superan los valores de la norma del percentil 98 de 24 horas ni la norma del periodo anual, llegando a un máximo de 5,12% y 1,58% respectivamente, valores asociados al receptor V01, una vivienda ubicada en las cercanías de la construcción de la Subestación Coiquén. Considerando la magnitud de los aportes a la concentración ambiental MP2,5 modelados en los receptores, es posible afirmar que el proyecto no tiene el potencial de generar riesgos a la salud producto de un aumento en las concentraciones de MP2,5.

- **Material Particulado Respirable (MP10):**

  De igual manera que el MP2,5, los aportes netos del proyecto sobre los receptores no superan los valores de la norma con respecto a MP10, siendo los valores máximos de porcentaje con respecto a la norma 3,25% para la norma de 24 horas en el receptor V01 y 1,13% de la norma anual para el receptor V01. Considerando la magnitud de los aportes a la concentración ambiental MP10 modelados en los receptores, es posible afirmar que el proyecto no tiene el potencial de generar riesgos a la salud producto de un aumento en las concentraciones de MP10.

- **Material Particulado Sedimentable (MPS):**

  En el caso del material particulado sedimentable, se observa un máximo de 3,77% del valor de referencia de MPS para el periodo mensual en el receptor F05, mientras que el periodo anual registra un máximo de 2,24% respecto a la norma para el receptor V02. Considerando la magnitud de los aportes a las tasas de depositación de MPS modelados en los receptores, es posible afirmar que el proyecto no tiene el potencial de generar daños a los recursos

naturales producto de un aumento en la tasa de depositación de MPS en el entorno del proyecto.

- **Monóxido de Carbono (CO):**

  Los aportes netos del proyecto de CO alcanzan un máximo de concentración de 0,52% y 0,36% respecto a la norma de 1 y 8 horas respectivamente, ambos para el receptor V01. En base los resultados se pueden afirmar que los aportes no tienen la magnitud para ser considerados estadísticamente significativos.

- **Dióxido de Nitrógeno (NO_2):**

  Las concentraciones esperadas para NO_2 corresponden al contaminante que alcanza el mayor porcentaje respecto a la normativa aplicable. No obstante, en ningún caso se superan los límites establecidos para sus tres normas. En particular, el máximo corresponde al 41,34% de la norma horaria, 8,26% de la norma diaria y 2,38% de la norma anual, registrándose todos estos valores en el receptor V01. Teniendo en cuenta que al área de influencia corresponde a un sector rural con baja densidad de fuentes emisoras presentes en el área de influencia, la magnitud y duración acotada a periodo de construcción de las emisiones, es posible inferir que los aportes de las emisiones al proyecto a la concentración ambiental de NO_2 no tiene la magnitud para generar riegos a la salud en los receptores considerados

- **Dióxido de Azufre (SO_2):**

  Para la norma horaria, el mayor valor se registra en el receptor V1, alcanzado el 0,83% del límite normativo. En el caso de la norma de 24 horas, el máximo también se presenta en el receptor V01 con un 0,71% de la norma. Finalmente, para la norma anual, el receptor V07 presentan el mayor porcentaje, equivalente al 0,17% del valor de la norma. En base los resultados se pueden afirmar que los aportes no tienen la magnitud para ser considerados estadísticamente significativos.

6 APÉNDICE 1: ARCHIVOS DIGITALES MODELACIÓN

En la siguiente tabla se detallan los archivos de entrada y salida de la modelación de calidad del aire presentada en este estudio. Los archivos se listan según lo indicado en la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA", considerando los archivos de entrada y salida de los módulos CALMET, CALPUFF y CALPOST.

Tabla 6-1. Archivos de modelación entregados.

Archivos	Entregado	Observación
Archivos CALPUFF:		
- CALPUFF.DAT	NO	Corresponde a los archivos CONC.DAT
- CALPUFF.LST	SI	-
- CALPUFF.INP	SI	-
- CONC.DAT	SI	-
- DFLX.DAT	SI	-
- WFLX.DAT	SI	-
Archivos Meteorológicos:		
- CALMET.DAT	SI	Corresponde al archivo: calmetv6_Nuble_2024.dat
- GEO.DAT	SI	-
- SURF.DAT	NO	No fueron utilizados.
- UP.DAT	NO	
- CALMET.LST	SI	Corresponden a los archivos en la carpeta CALMET_WRF
- CALMET.INP	SI	
namelist.wps	SI	Archivo de configuración de preproceso de WRF (WPS)
namelist.input	SI	Archivo de configuración de WRF
Archivos CALPOST:		
- CALPOST.DAT	SI	Los archivos se presentan en forma separada según contaminantes y periodo.
- CALPOST.LST	SI	
- CALPOST.INP	SI	
Archivos Complementarios:		
- Coastline Data File, Dry Flux Data File, Wet Flux Data File, Ozone Data File, Chem Data File.	NO	No se incluyen, debido a que corresponden a datos que no fueron modelados.

Fuente: Elaboración Propia.