Proyecto “Modificación Proyecto Distrito Norte”

Declaración de Impacto Ambiental

Compañía Mantos de la Luna

Anexo 5.2 Modelación de emisiones atmosféricas

Documento elaborado para

Octubre, 2026

Consultoría y Tecnología al Servicios del Medio Ambiente
San Sebastián 2839, of 305, Las Condes
contacto@csw.cl

Índice de contenido

1 Introducción 6

2 Justificación del modelo a utilizar 6

2.1 Modelo de dispersión de contaminantes CALPUFF 7

2.2 Fundamentos del modelo 8

3 Caracterización calidad del aire 10

4 Caracterización meteorológica del área del Proyecto 13

5 Parámetros de entrada modelo CALPUFF 18

5.1 Escenario meteorológico 18

5.2 Dominio de modelación 19

5.3 Uso de suelos 20

5.4 Escenario de emisiones 21

5.5 Escenario de receptores 23

6 Cuerpo normativo 24

6.1 Normativa nacional de calidad del aire 24

6.2 Normativa internacional de referencia 25

7 Resultados de la modelación 30

7.1 Escenario geofísico 30

7.2 Modelo meteorológico 35

7.3 Resultados modelación CALPUFF 45

7.3.1 Material particulado 45

8 Análisis de incertidumbre modelo WRF 48

8.1 Análisis cualitativo 48

8.2 Análisis cuantitativo 52

9 Evaluación de impactos 53

9.1 Evaluación de impactos sobre la salud de la población 53

9.2 Análisis de significancia de MP10 y MP2.5 en Zonas Saturadas 55

9.3 Evaluación de impactos sobre la calidad del aire, flora y vegetación, fauna, aguas superficiales y suelo 57

10 Área de influencia (AI) 60

11 Conclusiones 62

12 Bibliografía 63

Índice de Figuras

Figura 1. Representación Gráfica del Modelo Tipo Puff y de Pluma 8

Figura 2. Serie de tiempo velocidad viento Estación Super Site 14

Figura 3. Velocidad del viento (m/s) Estación Super Site 15

Figura 4. Serie de tiempo dirección viento (m/s) Estación Super Site 15

Figura 5. Rosa de los vientos Estación Super Site 16

Figura 6. Dirección del viento (°) Estación Super Site 16

Figura 7. Serie de tiempo temperatura (°C) Estación Super Site 17

Figura 8. Temperatura (°C) Estación Super Site 18

Figura 9. Grilla meteorológica y grilla computacional 19

Figura 10. Uso de suelo dominio de modelación 20

Figura 11. Escenario de fuentes 21

Figura 12. Escenario de fuentes 22

Figura 13. Receptores 24

Figura 14. Topografía 30

Figura 15. Albedo 31
Figura 16. Rµgosidad superficial 32
Figura 17. Leaf Area Index 33
Figura 18. Razón de Bowen 34
Figura 19. Rosa de los vientos año 2024 38
Figura 20. Serie de tiempo dirección (°) del viento 39
Figura 21. Variación dirección del viento 39
Figura 22. Serie de tiempo velocidad del viento (m/s) 40
Figura 23. Velocidad del viento (m/s) 40
Figura 24. Serie de tiempo (°C) temperatura 41
Figura 25. Ciclo mensual temperatura (°C) 41
Figura 26. Mapa de isoconcentraciones de MP10 promedio anual 46
Figura 27. Mapa de isoconcentraciones de MP10 promedio 24h 46
Figura 28. Mapa de isoconcentraciones de MP2,5 promedio anual 47
Figura 29. Mapa de isoconcentraciones de MP2,5 promedio 24h 47
Figura 30. Mapa de isoconcentraciones depositación MPS promedio anual 48
Figura 31. Modelo conceptual 53
Figura 32. Área de influencia calidad del aire 61

Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones caracterización meteorológica 10
Tabla 2. Parámetros cumplimiento norma MP2,5 años 2023 – 2025 EMRP Bomberos 11
Tabla 3. Parámetros cumplimiento norma MP10 años 2023 - 2025 11
Tabla 4. Parámetros cumplimiento norma MP10 años 2023 – 2025 Estación Super Site 12
Tabla 5. Parámetros cumplimiento norma MP2,5 años 2023 – 2025 Estación Super Site 12

Tabla 6. Estación Puente Alto 13

Tabla 7. Construcción detalle del dominio de los datos meteorológicos..... 18

Tabla 8. Resumen tasa de emisiones atmosféricas para la fase de operación 22

Tabla 9. Receptores modelación..... 23

Tabla 10. Cuerpo normativo 24

Tabla 11. Análisis criterio evaluación norma de referencia para MPS de la Ordenanza de la Confederación Suiza 26

Tabla 12. Cuerpo normativo 29

Tabla 13. Campo de vientos 35

Tabla 14. Altura de la capa de mezcla 43

Tabla 15. Resultados modelación año 1 material particulado 45

Tabla 16. Análisis de incertidumbre cuantitativo velocidad del viento..... 52

Tabla 17. Análisis de incertidumbre cuantitativo velocidad del viento..... 52

Tabla 18. Comparación material particulado con normas de calidad primaria y secundaria 54

Tabla 19. Tabulación de impactos en Estaciones de calidad del aire año 2024..... 54

Tabla 20. Análisis de significancia Zona saturada 56

Tabla 21. Potenciales impactos sobre componente calidad del aire 57

Tabla 22. Evaluación de impactos..... 58

1 Introducción

El presente documento tiene como objetivo establecer el impacto de las emisiones del Proyecto "Modificación Proyecto Distrito Norte" en la calidad del aire, utilizando los resultados del Inventario de emisiones atmosféricas, detallado en el Anexo 5.1 de la DIA.

Según lo establecido por la "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), la selección del modelo meteorológico utilizado en el presente estudio se realizó fundamentándose en las condiciones del dominio de modelación, motivo por el cual la Guía recomienda un modelo que permita simular una meteorología heterogénea. Por esta razón, el campo meteorológico tridimensional horario del año 2024 completo, fue generado utilizando el modelo meteorológico WRF en su versión 4.0.3, y procesado con MMIF v3.2. Posteriormente esta información fue utilizada como parámetro de entrada del modelo de calidad de aire CALPUFF.

Las tasas de emisión se consideraron para el escenario más desfavorable, es decir para el año en que el Proyecto genera mayor cantidad de emisiones atmosféricas, correspondiente al Año 1, el cual comprende el primer año de la fase de operación del Proyecto. A partir de las emisiones estimadas, se proyectan mediante el modelo CALPUFF, valores de concentración para material particulado, los que posteriormente serán comparados con las normas de calidad el aire.

2 Justificación del modelo a utilizar

La "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023) establece dos criterios para la selección de un modelo de dispersión de contaminantes. El primer criterio se basa en la distancia a lo largo del territorio nacional, donde se considera que a menor distancia existe una mayor probabilidad de que el terreno sea homogéneo, lo que significa que habrá menos factores que alteren significativamente el transporte y la dilución de contaminantes. Para el análisis del modelo a elegir, este criterio considerará una distancia lineal referencial de 5 km desde la fuente de emisión hasta la zona de impacto de las emisiones atmosféricas. El segundo criterio se refiere al tipo de contaminante a modelar, distinguiendo entre contaminantes primarios, que son emitidos directamente a la atmósfera, y contaminantes secundarios, que son productos de reacciones fisicoquímicas en la atmósfera.

En el caso específico del Proyecto, se aplicará el criterio recomendado por la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023) para contaminantes primarios, considerando un alcance de los impactos de las emisiones mayor a los 5 km. Para esta situación, la Guía recomienda utilizar un modelo que permita simular la meteorología heterogénea. Los modelos de tipo "puff" y Eulerianos son capaces de representar esta variabilidad meteorológica. La elección del modelo se basó en las recomendaciones del apartado 3.2 de la Guía, ya que las emisiones a considerar son de tipo primario y provienen de una fuente de emisión en un área de modelación de más de 5 kilómetros, abarcando fuentes y receptores sensibles.

Por lo tanto, siguiendo las directrices de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), se utilizará un modelo que permita simular la meteorología heterogénea. En este

sentido, se ha seleccionado un modelo de tipo "puff" para llevar a cabo la modelación de calidad del aire. A continuación, se proporciona el detalle del modelo de tipo "puff" que se utilizará.

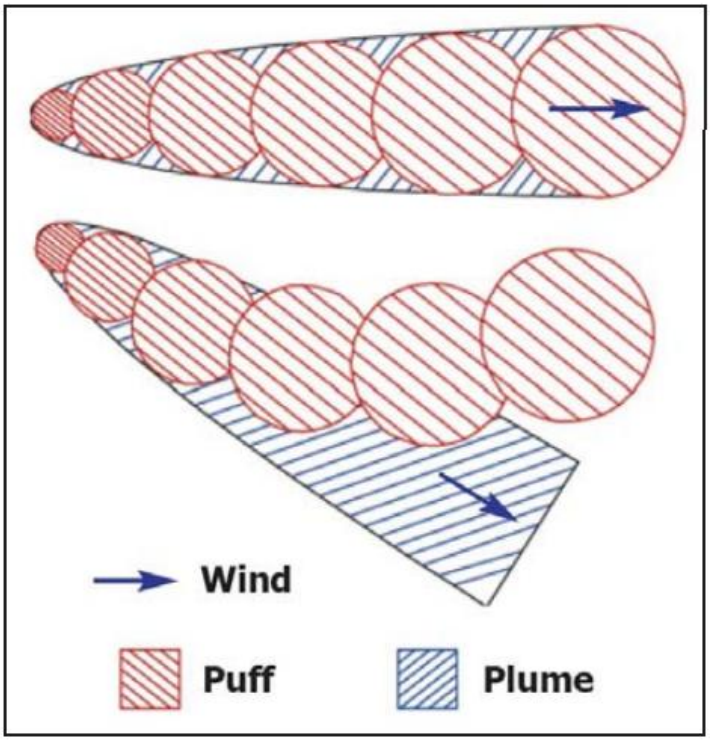
2.1 Modelo de dispersión de contaminantes CALPUFF

El sistema de modelación, tal como su nombre lo indica, incluye dos componentes principales: WRF y CALPUFF, además de una larga selección de preprocesadores, diseñados para incluir en el modelo datos geofísicos y de usos de suelos, y postprocesadores como por ejemplo CALPOST, que permiten convertir los resultados a los estadísticos considerados por las normas primarias y secundarias de calidad del aire.

En cuanto a la meteorología base utilizada en la modelación, se desarrolló un modelo de retrospectiva (Hindcast) WRF (Weather Research and Forecasting, por sus siglas en ingles), el cual provee los datos de entrada que simulan la meteorología de un año pasado y permiten modelar la dispersión de las emisiones en la atmósfera mediante el software CALPUFF. En cuanto a esto, cabe destacar que, el modelo cumple con las recomendaciones de configuración definidas por el Servicio de Evaluación Ambiental, particularmente respecto de los documentos "Configuración WRF" y "Namelist.input". Adicionalmente, la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), establece que el modelo numérico recomendado para la generación de datos meteorológicos es el WR, el cual corresponde a uno de simuladores meteorológicos de pronóstico más avanzados, completos y en constante mejora, mantenido por NCAR/NOAA de Estados Unidos. Además, ha sido utilizado en la mayoría de los proyectos relacionados con el comportamiento atmosférico encargados por la Comisión Nacional de Energía, Ministerio del Medio Ambiente.

Por otra parte, CALPUFF es un modelo tipo "puff", corresponde a una combinación entre los modelos Gaussianos y los modelos Lagrangeanos. Lo que hacen estos modelos es esencialmente calcular la dispersión de una emisión puntual (puntual en el tiempo), llamado puff, a lo largo de una trayectoria. Su aproximación matemática es estimar la dispersión en forma Gaussiana en cada punto de una trayectoria. Es decir, a diferencia de los modelos Langrangeanos que necesitan el cálculo de un gran número de trayectorias para una fuente, en el caso de los modelos tipo puff sólo se requiere una trayectoria por puff lo que hace su cálculo mucho más rápido. En el caso de emisiones continuas, se simulan trayectorias y la dispersión Gaussiana de muchos puff. Además, son capaces de simular muchas fuentes y fuentes de distinto tipo al mismo tiempo (SEA, 2023). Los modelos tipo "puff" representan una pluma de contaminantes continua como un número discreto de paquetes de material contaminante, tal como se muestra la siguiente Figura:

Figura 1. Representación Gráfica del Modelo Tipo Puff y de Pluma



Fuente: Lakes Environmental (2006).

2.2 Fundamentos del modelo

CALMET

CALMET es un modelo de diagnóstico meteorológico que consta de dos módulos principales:

- Módulo de campo de vientos.
- Módulo de capa límite

La aproximación usada por CALMET para calcular el campo de viento consiste en dos pasos:

En el primer paso, se obtiene un campo de vientos inicial considerando únicamente los efectos que sobre el flujo atmosférico tienen las características físicas del terreno: efectos cinemáticos, efectos producidos por las laderas y posibilidad de bloqueos. En el segundo paso se aplica un procedimiento objetivo sobre la base de los vientos observados en estaciones de monitoreo, obteniendo el campo de vientos final después de un proceso iterativo para minimizar la divergencia del campo de viento y garantizar el cumplimiento de la ecuación de conservación de mas (EPA, 2017).

Cabe señalar, que en este caso solo se cargaron los datos tipo CALMET-Ready WRF usándolos directamente, puesto que por recomendación del SEA en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023).

CALPUFF

El modelo CALPUFF junto con el modelo meteorológico CALMET constituye un sistema de modelos enfocados a tratar la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Es un modelo Lagrangiano-Gaussiano de transporte y dispersión de soplos o "puff" emitidos por las fuentes consideradas por el proyecto que se simulan considerando el efecto de las condiciones meteorológicas (simuladas con CALMET) variando en el tiempo y en el espacio sobre el transporte, transformación y eliminación de varios contaminantes. En cuanto a distancia, puede aplicarse a escalas desde decenas a centenas de kilómetros. Incluye algoritmos para tratar procesos a escala subgrid, así como, efectos a gran escala. Puede tratar los efectos de terreno complejo, zonas costeras, cizalla del viento permitiendo la división de las nubes de contaminantes, efectos de estelas de edificios, depósito de contaminantes por vía seca y húmeda (EPA, 2023).

El modelo evalúa la contribución de un "puff" en la concentración atmosférica de un punto de la grilla en un instante determinado, para luego permitir que el "puff" se mueva, evolucione en tamaño, fuerza, etc., hasta la próxima iteración, en el próximo punto de la grilla, respondiendo a la meteorología del sector en la que se encuentre inmerso el "puff" en cada instante. Luego, la concentración total en un receptor resultará de la sumatoria de las contribuciones de todos los "puff". La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g\ exp[-d_a^2/(2\sigma_x^2)]\ exp\left[-d_c^2/\left(2\sigma_y^2\right)\right]$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} exp[-(H_e + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)]$$

Dónde:

C: Concentración [g/m³].
Q: Masa del contaminante en el "puff" [g].
σx: Coeficiente de dispersión en dirección del viento [m].
σy: Coeficiente de dispersión en dirección perpendicular al viento [m].
σz: Coeficiente de dispersión vertical [m].
da: Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje de la dirección del viento [m].
dc: Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje perpendicular a la dirección del viento [m].
g: Altura de la ecuación gaussiana [m].
H: Altura efectiva del "puff" [m].
h: Altura de la capa de mezcla [m].

Para casos que involucran un alto grado de variabilidad espacial del flujo dentro de la capa límite, tales como flujos ascendentes o descendentes o flujos a lo largo de un valle fluvial sinuoso, la

suposición de estado estacionario en línea recta puede ser poco válida incluso a algunos kilómetros de la fuente, por lo que un modelo del tipo "puff" puede ser el más apropiado (EPA, 2017).

CALPOST

Parte fundamental del proceso de modelación con la plataforma CALMET/CALPUFF, es el módulo CALPOST quien procesa las salidas de CALPUFF creando los archivos que permiten realizar la evaluación de los resultados, según lo establecido en las normas de calidad del aire. Además, es capaz de gestionar los datos de cada contaminante según el período de tiempo requerido, ordenando las máximas concentraciones obtenidas e identificando el momento en que cada una de éstas suceden (hora, día, mes y año) (EPA, 2017).

3 Caracterización calidad del aire

Para la caracterización de la calidad del aire se consideró la información entregada por las siguientes estaciones de monitoreo, de propiedad del CESMEC S.A, las que forman parte de la red del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), las cuales corresponden a las estaciones con datos validados más cercanas a la ubicación del Proyecto. Para la caracterización se emplearon los datos de concentración de material particulado MP2,5 y MP10.

Las coordenadas UTM de cada estación se presentan en la siguiente Tabla junto con las variables monitoreadas.

Tabla 1. Estaciones caracterización meteorológica

Estación	Coordenadas UTM		Variables Meteorológicas Registradas
	Este (m)	Norte (m)	
EMRP Bomberos	375.319	7.554.741	-
EMRP Gobernación	376.284	7.556.725	Velocidad del viento
EMRP Super Site	377.404	7.557.193	Velocidad del viento Dirección del viento Humedad

Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

El D.S. N°12/11, establece que la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Fino MP2,5 es 50 µg/m^{3}N como concentración de 24 horas, considerándose sobrepasada cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora calificada EMRP, sea mayor a 50 µg/m^{3}N. Asimismo, la norma establece el límite de 20 µg/m^{3}N, como concentración anual, considerándose sobrepasada cuando el promedio trianual de las concentraciones anuales sea mayor a 20 µg/m^3, en cualquier estación monitora calificada como EMRP.

Por otra parte, el D.S. N°12/22, establece que la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10 es 130 µg/m^{3}N como concentración de 24

horas, considerándose sobrepasada cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora calificada EMRP, sea mayor a 130 µg/m^{3}N. Asimismo, la norma establece el límite de 50 µg/m^{3}N, como concentración anual, considerándose sobrepasada cuando el promedio trianual de las concentraciones anuales sea mayor a 50 µg/m^3, en cualquier estación monitora calificada como EMRP.

EMRP Bomberos

La información respecto a la evaluación de la norma de calidad primaria de M2,5 para la estación de monitoreo Bomberos se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 2. Parámetros cumplimiento norma MP2,5 años 2023 – 2025 EMRP Bomberos

Parámetro	2023	2024	2025
Norma anual (µg/m^3)			
Promedio anual	13,5	13,4	15,3
% datos validados	94%	95%	97%
Promedio trianual	14,1		
Norma	20		
% Norma	70,3%		
Norma diaria (µg/m^3)			
Percentil 98 en 24 horas	37.0	31,1	
Norma	50	50	50
% Norma	74,0%	62,2%	76,0%

Fuente: Elaboración propia en base a la data de calidad del aire de la estación Bomberos, www.sinca.cl

Los resultados dan cuenta de que tanto la norma anual como la norma en 24 horas para MP2,5 no se encuentran sobrepasadas ni en estado de latencia entre los años 2023, 2024 y 2025 en la Estación Bomberos.

EMRP Gobernación

La información respecto a la evaluación de la norma de calidad primaria de MP10 para la estación de monitoreo Gobernación se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 3. Parámetros cumplimiento norma MP10 años 2023 - 2025

Parámetro	2023	2024	2025
Norma anual (µg/m^3)			
Promedio anual	38,8	35,0	34,1
% datos validados	98%	97%	98%
Promedio trianual	35,9		
Norma	50		
% Norma	71,9%		
Norma diaria (µg/m^3)			
Percentil 98	81,0	64,9	69,0
Norma	130	130	130
% Norma	62,3%	50,0%	53,1%

Fuente: Elaboración propia en base a la data de calidad del aire de la estación Gobernación, www.sinca.cl

Los resultados dan cuenta de que tanto la norma anual como la norma en 24 horas para MP10 no se encuentran sobrepasadas ni en estado de latencia entre los años 2023, 2024 y 2025 en la Estación Gobernación.

EMRP Super Site

La información respecto a la evaluación de la norma de calidad primaria de MP10 para la estación de monitoreo Super Site se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 4. Parámetros cumplimiento norma MP10 años 2023 – 2025 Estación Super Site

Parámetro	2023	2024	2025
Norma anual (µg/m^3)			
Promedio anual	38,8	39,1	42,4
% datos validados	87%	91%	88%
Promedio trianual	40,1		
Norma	50		
% Norma	80,2%		
Norma diaria (µg/m^3)			
Percentil 98	86,0	81,4	104,1
Norma	130	130	130
% Norma	66,1%	62,6%	80,0%

Fuente: Elaboración propia en base a la data de calidad del aire de la estación Super Site, www.sinca.cl

Los resultados dan cuenta de que tanto la norma anual como la norma en 24 horas para MP10 no se encuentran sobrepasadas entre los años 2023, 2024 y 2025. Sin embargo, existe condición de latencia para MP10 en la Estación Super Site. Para el caso de la norma anual, se identifica latencia únicamente en el año 2025.

Tabla 5. Parámetros cumplimiento norma MP2,5 años 2023 – 2025 Estación Super Site

Parámetro	2023	2024	2025
Norma anual (µg/m^3)			
Promedio anual	13,7	30,5	18,5
% datos validados	87%	95%	89%
Promedio trianual	20,9		
Norma	20		
% Norma	104,6%		
Norma diaria (µg/m^3)			
Percentil 98	56,0	306,0	98,0
Norma	50	50	50
% Norma	112,0%	612,0%	196,0%

Fuente: Elaboración propia en base a la data de calidad del aire de la estación Super Site, www.sinca.cl

Los resultados dan cuenta de que tanto la norma anual como la norma en 24 horas para MP2,5 se encuentran sobrepasadas entre los años 2023, 2024 y 2025, identificándose estado de saturación en todos los años del periodo 2023 – 2025, en particular durante el año 2024, alcanzando valores del 602% de la norma.

Año de modelación

Para la elección del periodo de modelación, se procedió de acuerdo con la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), de manera que se analizaron los datos observados entre los años 2023- 2025 dentro el dominio de modelación, considerando los datos de las estaciones meteorológicas. Tras evaluar los datos de las estaciones meteorológicas en el dominio de estudio, se seleccionó el año 2024 como el escenario de mayor potencial de dispersión crítica. Esta decisión se fundamenta en que dicho periodo registró las condiciones atmosféricas más desfavorables, reflejadas en la Estación Super Site, la cual presenta un estado de saturación para MP2,5. Específicamente, el año 2024 mostró concentraciones significativamente superiores a los años adyacentes, alcanzando en el percentil 98 (24 horas) un valor equivalente al 602% de la norma.

4 Caracterización meteorológica del área del Proyecto

La meteorología de superficie utilizada para caracterizar el área del Proyecto corresponde a los registros horarios de velocidad del viento, dirección del viento y temperatura, pertenecientes a la estación meteorológicas con representatividad poblacional (EMRP) Super Site, perteneciente al Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA).

En la siguiente Tabla se presentan las variables meteorológicas medidas en la estación, junto con el porcentaje de registros válidos. Se destaca que el porcentaje de datos válidos es cercano al 100%, cumpliendo así con las recomendaciones establecidas en la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" (2023). Esta guía sµgiere que el porcentaje de datos válidos en un año debe ser superior al 75%.

Tabla 6. Estación Puente Alto

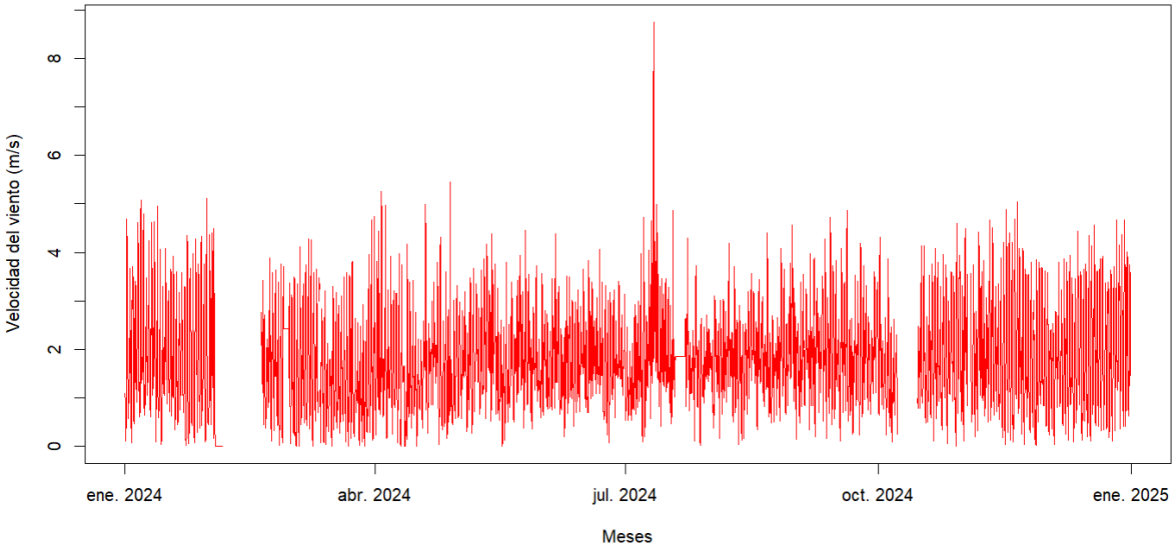
Variable	Año	N° Registros válidos	% Registros válidos
Dirección del viento	2024	8207	93%
Velocidad del viento	2024	8267	94%
Temperatura	2024	8744	100%

Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

Velocidad del viento

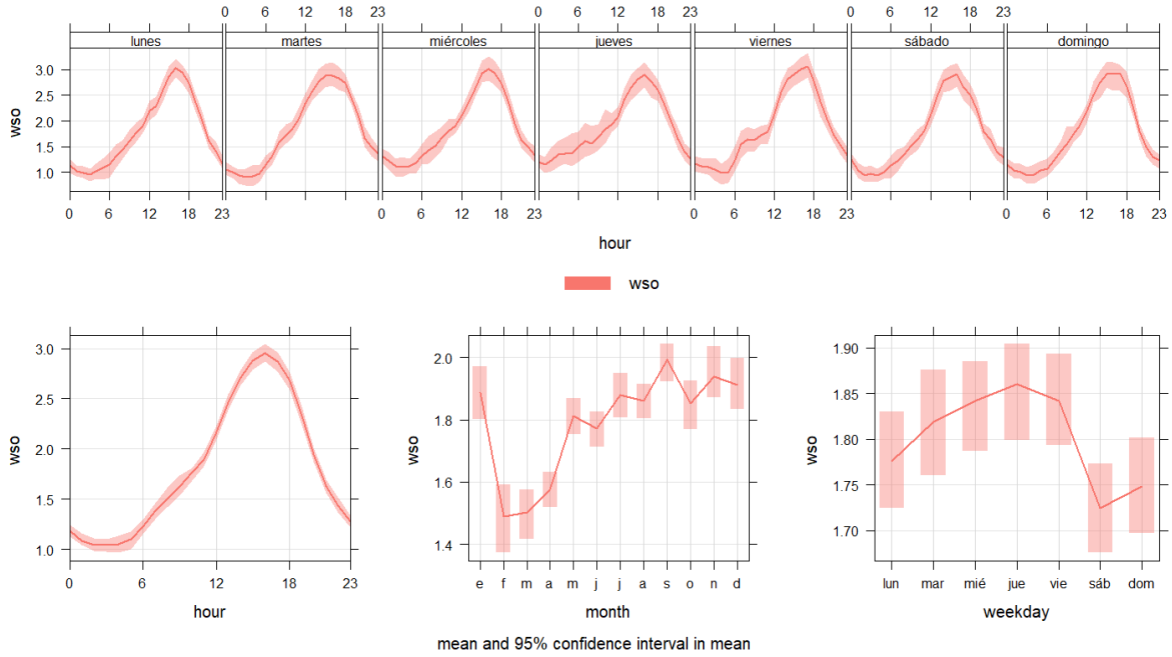
La serie de tiempo de la velocidad del viento registrada en la estación Super Site durante el año 2024 se presenta en la siguiente Figura. Con respecto al comportamiento anual, la velocidad del viento promedio registrada en la estación Super Site es de 1,8 m/s. Esta variable oscila principalmente entre 0 y 4 m/s durante el año, sin embargo, se aprecia un máximo cercano a 8 m/s durante julio del 2024. Por otra parte, respecto al ciclo diario, las velocidades de viento más bajas se presentan durante el período nocturno (entre las 0:00 y las 6:00 horas) y comienzan a aumentar desde las 7:00 am. En promedio, las velocidades más altas se registran entre las 13:00 y las 18:00 horas, con valores promedio cercanos a 3 m/s.

Figura 2. Serie de tiempo velocidad viento Estación Super Site



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

Figura 3. Velocidad del viento (m/s) Estación Super Site

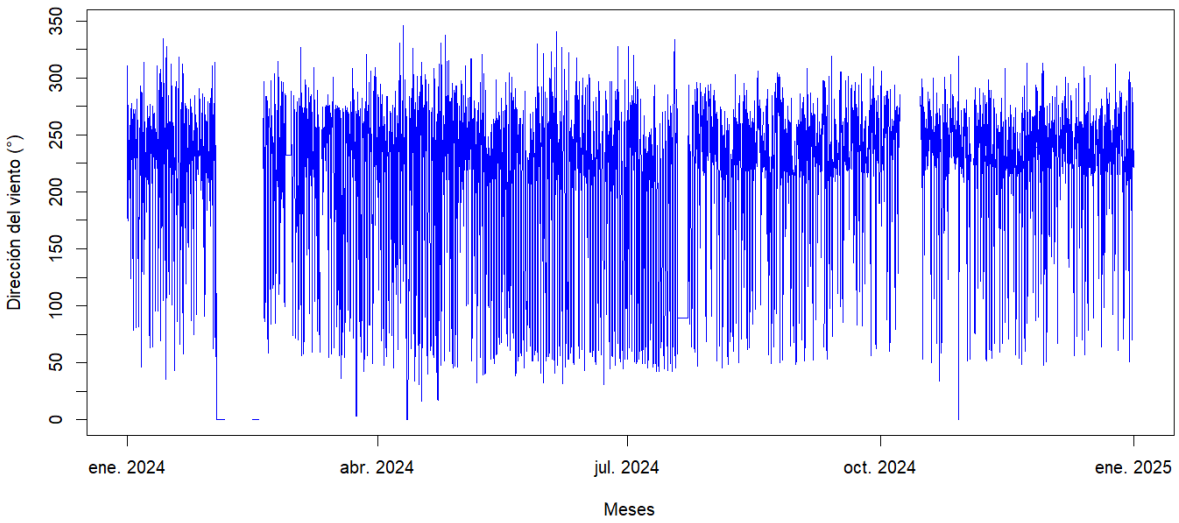


Fuente: Elaboración propia.

Dirección del viento

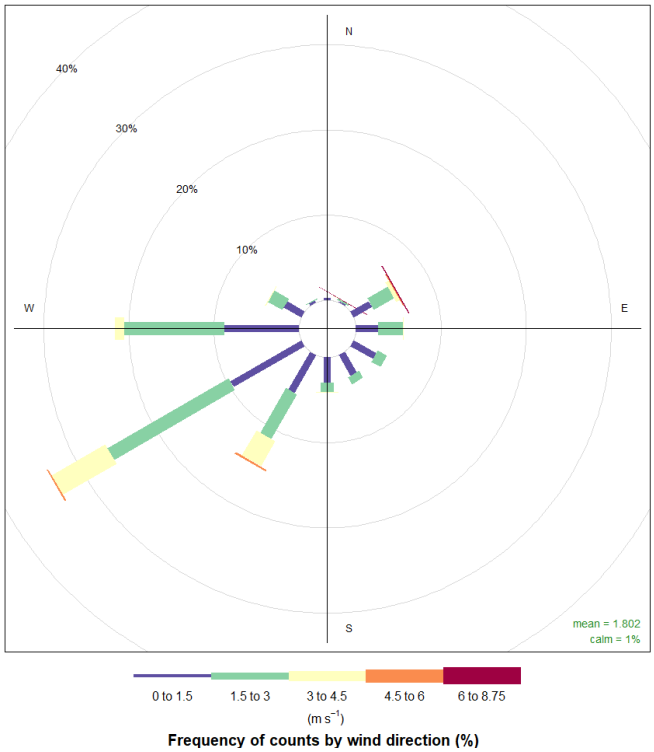
En la siguiente Figura se muestran los registros horarios de la dirección del viento, obtenidos en la estación Super Site, además se presenta la rosa de viento elaborada con dichos registros. Cabe destacar que la dirección del viento predominante corresponde a la dirección suroeste (SO).

Figura 4. Serie de tiempo dirección viento (m/s) Estación Super Site



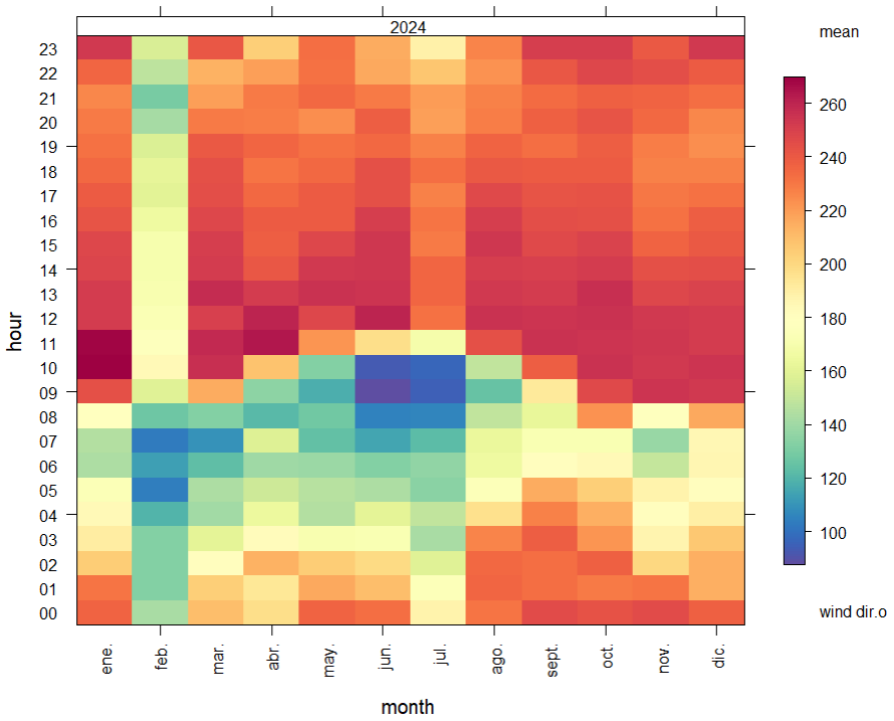
Fuente: Elaboración propia en base a INIA (2024).

Figura 5. Rosa de los vientos Estación Super Site



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

Figura 6. Dirección del viento (°) Estación Super Site

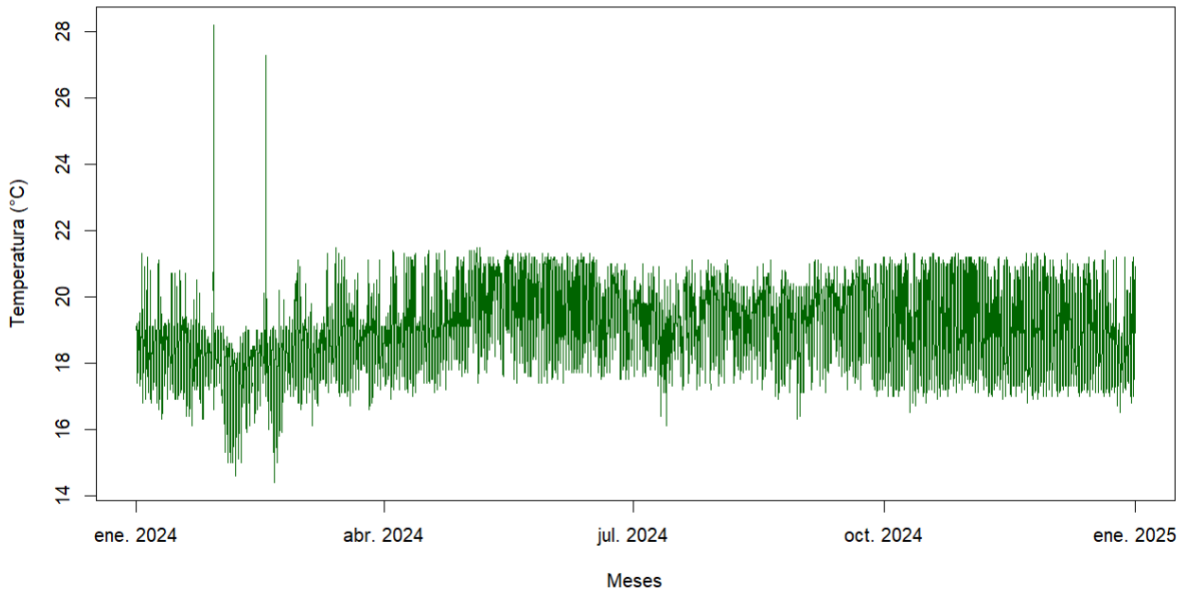


Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

Temperatura

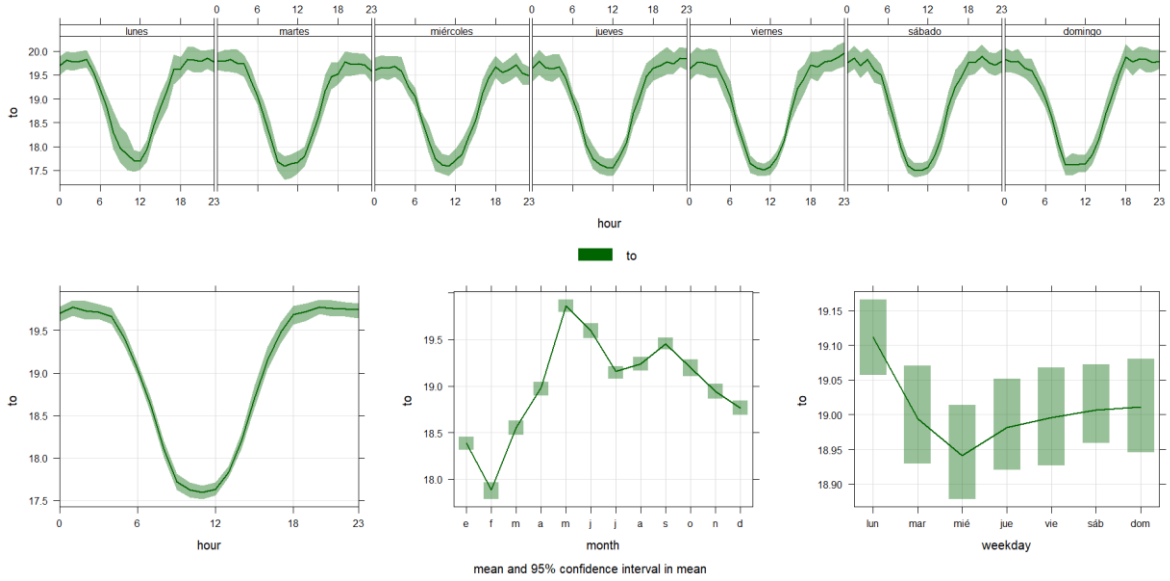
La serie de tiempo de la temperatura registrada en la estación Super Site durante el año 2024 se presenta en la siguiente Figura. Con respecto al comportamiento anual, la temperatura promedio registrada en la estación Super Site es de 19°C. Esta variable oscila principalmente entre 16°C y 21°C durante el año, sin embargo, se aprecia un máximo cercano a 28 m/s durante febrero del 2024. Por otra parte, respecto al ciclo diario, las temperaturas más bajas se presentan durante el período nocturno (entre las 0:00 y las 6:00 horas) y comienzan a aumentar desde las 7:00 am. En promedio, las velocidades más altas se registran entre las 13:00 y las 18:00 horas, con valores promedio cercanos a 3 m/s.

Figura 7. Serie de tiempo temperatura (°C) Estación Super Site



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA (2024).

Figura 8. Temperatura (°C) Estación Super Site



Fuente: Elaboración propia.

5 Parámetros de entrada modelo CALPUFF

El modelo para poder ejecutarse requiere una grilla de información, la construcción de los escenarios a evaluar, dichos escenarios son procesados sobre la información geofísica del área de modelación. Una vez generada esta información, se establecen las fuentes emisoras asociadas y/o actividades a realizar por el proyecto. Lo antes mencionado es integrado en paralelo a los receptores establecidos sobre el dominio de la modelación. Las magnitudes de las emisiones generadas por el proyecto provienen de la estimación de emisiones realizada con los factores señalados en el documento AP-42 de la EPA. Estos valores en conjunto con los obtenidos de información satelital consolidan la información real del área de influencia directa a modelar.

5.1 Escenario meteorológico

El escenario meteorológico se construyó a partir de la información meteorológica generado por el modelo WRF que se utilizó para desarrollar esta componente. El dominio de modelación presenta las siguientes características:

Tabla 7. Construcción detalle del dominio de los datos meteorológicos

Periodo de datos de los datos	**1 enero a 31 de diciembre de 2024**
Punto de Referencia	Latitud: - 22.264 S Longitud: - 70.174 W
Área de Dominio	50x50 km
Proyección	Lambert Conic Conformal
Datum	NWS-84 6370 km Radius, Global Sphere

Periodo de datos de los datos	1 enero a 31 de diciembre de 2024
Resolución	1 km
Numero de Celdas en dirección x	50
Numero de Celdas en dirección y	50
Numero de Capas Verticales	11 (entre 0 y 4000 metros de altura)
Tipo de dato	CALPUFF-Ready WRF Data (WRF.MET Format)

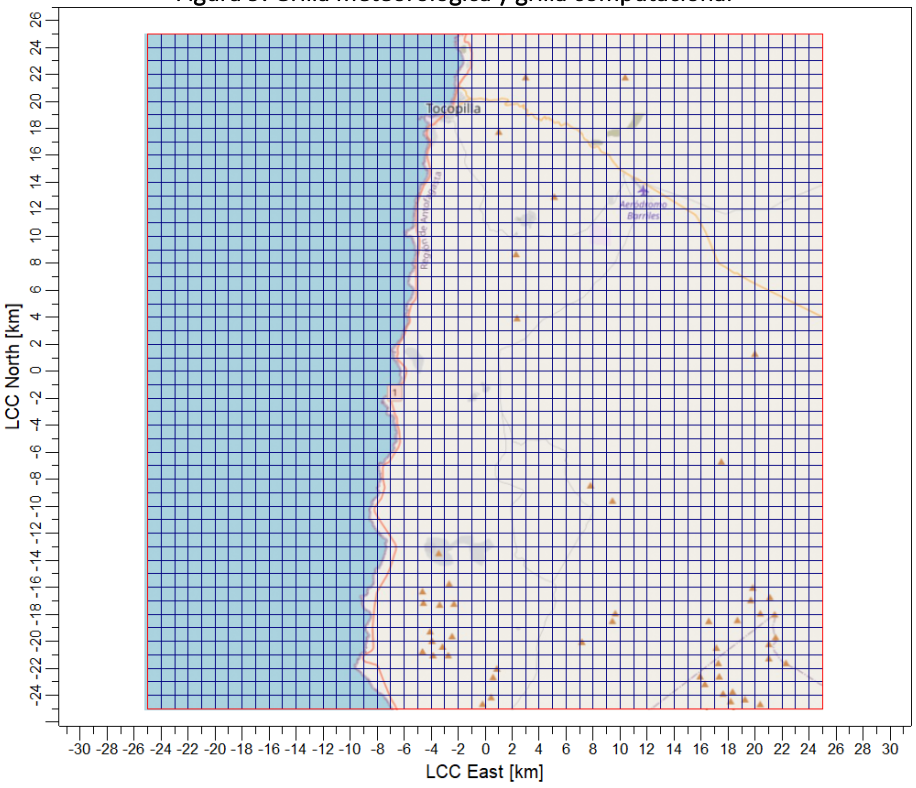
Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido los datos meteorológicos se construye el dominio a procesar. Este se implementó sobre un área de 25 km dirección Norte y Sur y 25 km dirección Este y Oeste, desde el origen ubicado en el punto de referencia mencionado.

5.2 Dominio de modelación

El dominio de modelación del Sistema Calpuff-WRF se compone de tres tipos de grilla, la meteorológica, la computacional y la de muestreo (sampling grid), donde: El dominio meteorológico comprende un área de 50 [km] x 50 [km], correspondiente a la grilla del WRF ocupado.

Figura 9. Grilla meteorológica y grilla computacional



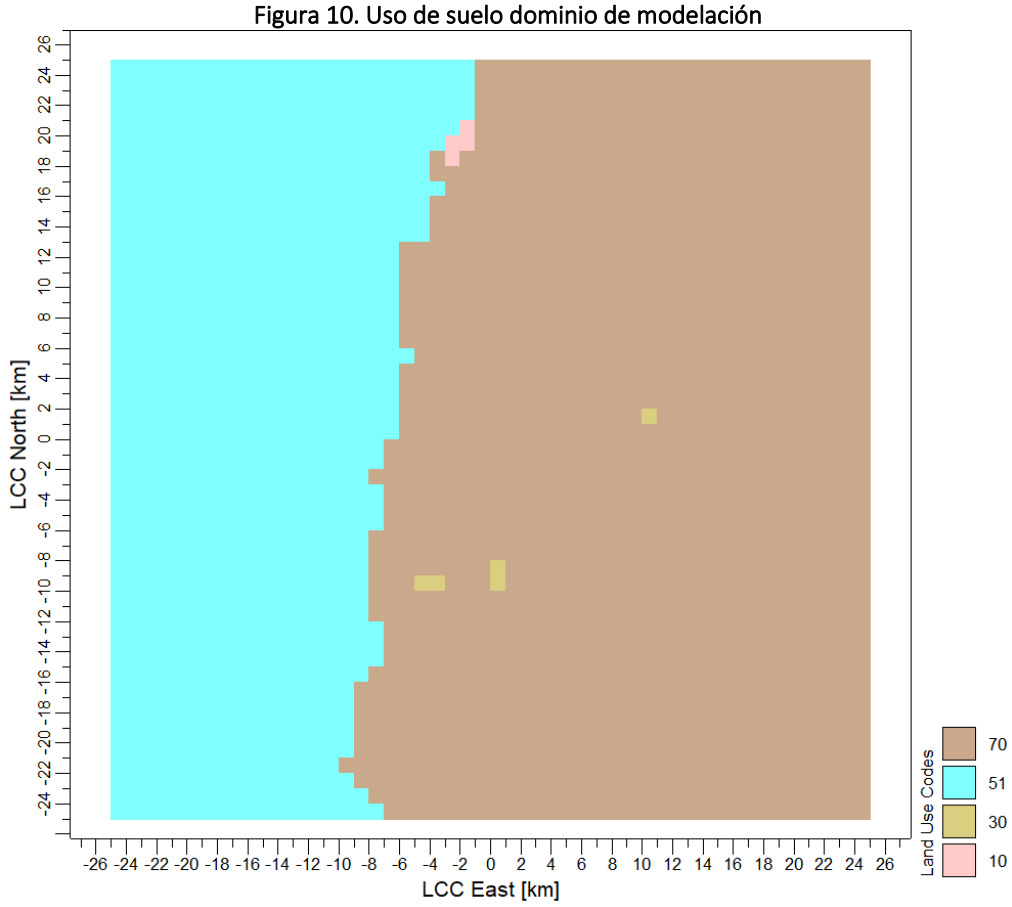
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, para definir la grilla de muestreo, se han seguido los lineamientos establecidos en la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023). Esta guía señala que es necesario asegurarse de que el tamaño de la grilla sea lo suficientemente amplio para garantizar la medición precisa de la concentración máxima a nivel del suelo.

5.3 Uso de suelos

La información relacionada con el uso de suelo de la zona se obtiene a través de los archivos Global Land Cover Characterization (GLCC) publicados por el U.S Geological Survey (USGS). En la siguiente Figura se presenta el uso de suelos para el dominio de modelación.

Figura 10. Uso de suelo dominio de modelación



Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior el uso de suelo 70 corresponde a "Tierra mixta estéril", el uso de suelo 30 corresponde a "Pastizales", el uso de suelo 51 corresponde a "cuerpos de agua" y el uso de suelo 10 corresponde a "Urbano".

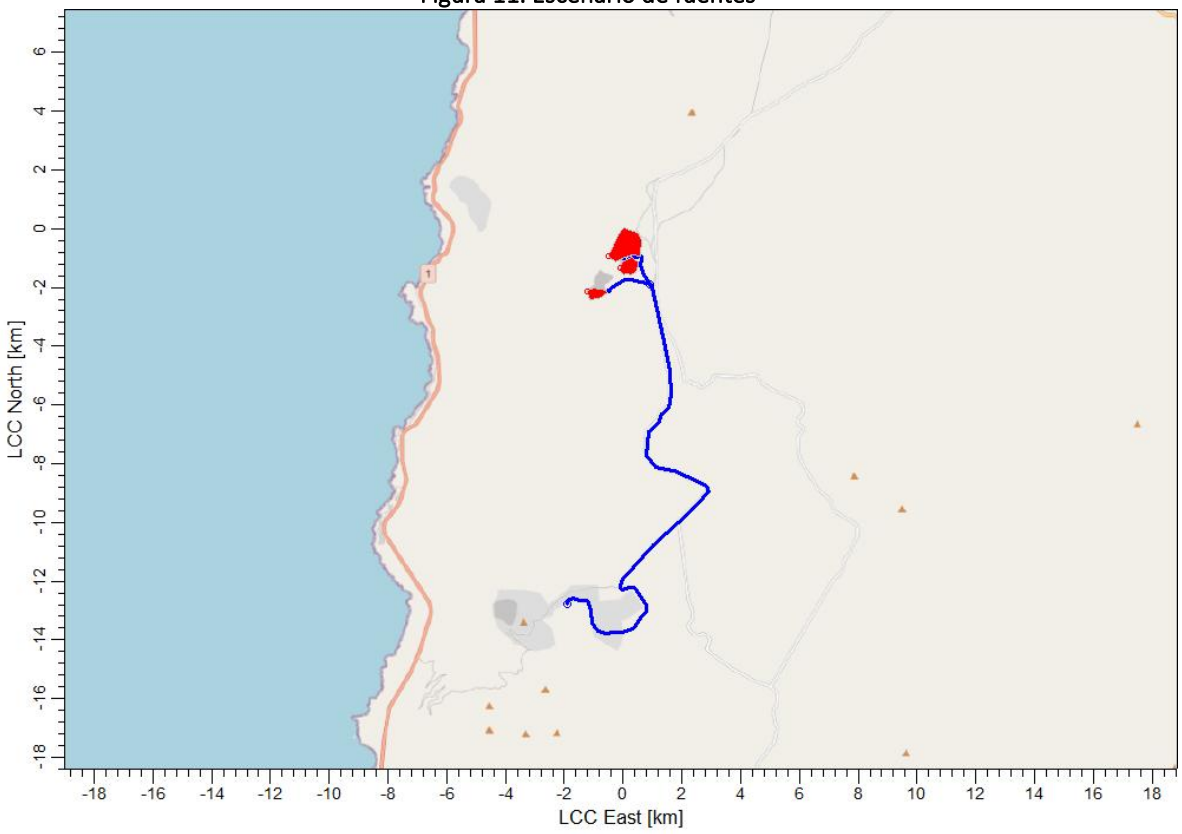
Se aprecia que en el sector de emplazamiento del Proyecto se identifica el uso de suelo de tipo "Tierra mixta estéril".

5.4 Escenario de emisiones

A continuación, se presenta el escenario a modelar, donde se contemplan las fuentes de emisión de material particulado para el peor escenario posible a modo de descartar afectaciones a la salud de la población. Cabe destacar, que se considera el Año 1 del Proyecto, el cual comprende el primer año de la fase de operación, dado que es el período más crítico del Proyecto.

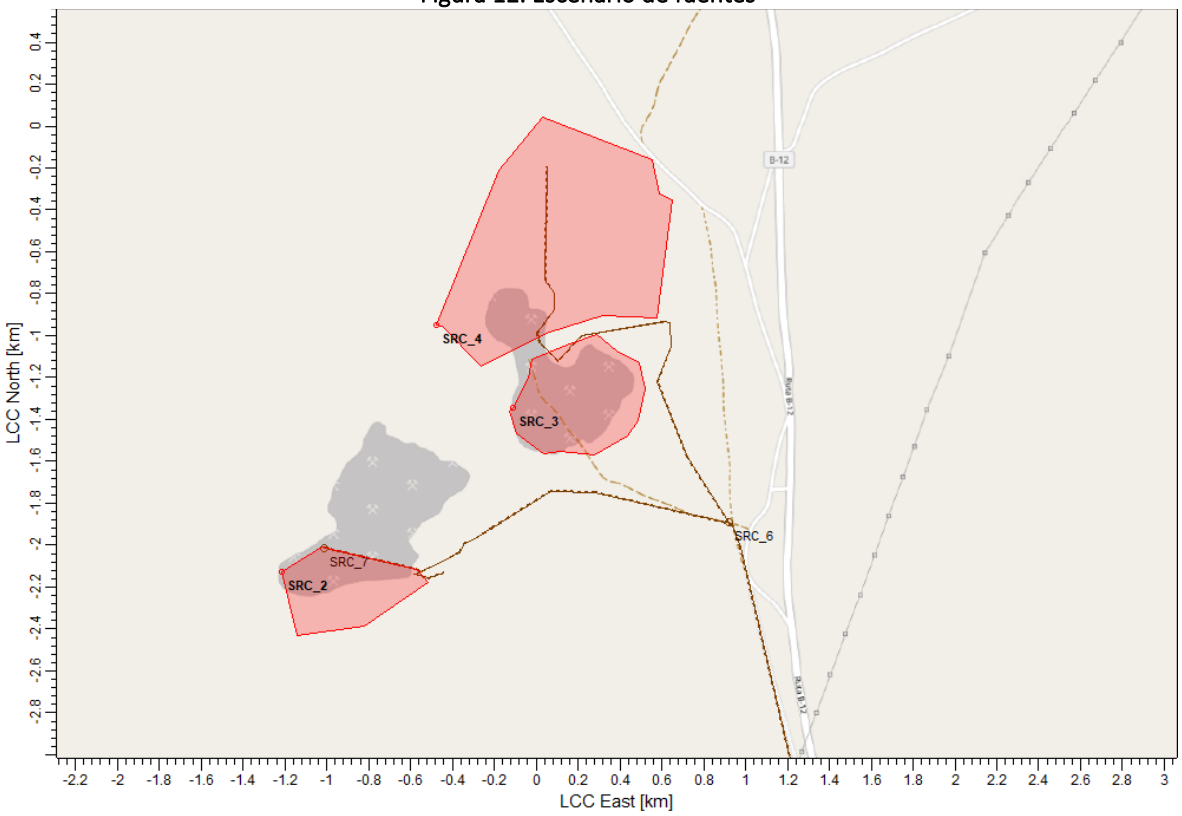
En el contexto de la modelación, se han considerado las emisiones generadas por el tránsito y la combustión en caminos no pavimentados representadas en color azul. Por otro lado, se han considerado las emisiones generadas por diversas actividades en el área del proyecto, como maquinaria, perforación, zonas de acopio y movimiento de tierra, lo cual se ha representado en color rojo.

Figura 11. Escenario de fuentes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Escenario de fuentes



Fuente: Elaboración propia.

De las emisiones presentadas en la estimación de emisiones la fase de operación, la resuspensión por tránsito en vías no pavimentadas se asocian a la fuente denominada "Caminos no pavimentados", finalmente, las emisiones asociadas a maquinaria, perforaciones, acopio y movimientos de tierra se asocian a la fuentes de área denominadas "Botadero Sur Las Marías" (SRC_2), Área nuevo rajo + mina MG" (SRC_3) y "Botadero LM" (SRC_4), como se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 8. Resumen tasa de emisiones atmosféricas para la fase de operación

Tasa emisión por Año	Unidad	Contaminante		
		MP10	MP2,5	MPS
Botadero Sur Las Marías	t/año	14,22	2,31	28,32
Área nuevo rajo + mina MG	t/año	62,85	12,75	129,76
Botadero LM	t/año	14,22	2,31	28,32
Camino no pavimentado	t/año	179,75	17,99	587,15
Botadero Sur Las Marías	g/s/m^2	2,38E-06	3,88E-07	4,75E-06
Área nuevo rajo + mina MG	g/s/m^2	1,68E-06	2,73E-07	3,35E-06
Botadero LM	g/s/m^2	5,67E-07	9,22E-08	1,13E-06
Camino no pavimentado	g/s/m	3,17E-08	3,17E-09	1,03E-07

Fuente: Elaboración propia.

5.5 Escenario de receptores

Los receptores discretos han sido definidos siguiendo las directrices establecidas en la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" (SEA, 2023). Esta guía señala que los receptores deben ser seleccionados considerando las características específicas del lµgar, la duración de su presencia y los usos permitidos del suelo. Además, se deben tener en cuenta los objetivos de protección identificados en la zona, los cuales se han establecido siguiendo las directrices del documento "Criterio de Evaluación en el SEIA: Objetos de protección" (SEA, 2022). En dicho documento, los objetos de protección se definen como elementos o componentes del medio ambiente que se derivan del marco legal vigente, en particular del artículo 11 de la Ley N°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y de los artículos 5° al 10 del Decreto Supremo N°40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Reglamento del SEIA (RSEIA). Estos objetos de protección deben ser salvaguardados de los posibles impactos ambientales que pueda generar la ejecución de un proyecto o actividad dentro del marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Adicionalmente, la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" (SEA, 2023), señala que para el caso de los receptores humanos se debe considerar una altura de inmisión de entre 1,5 a 1,8 metros, correspondiente a la altura promedio de la zona de inhalación de los contaminantes atmosféricos por el cuerpo humano.

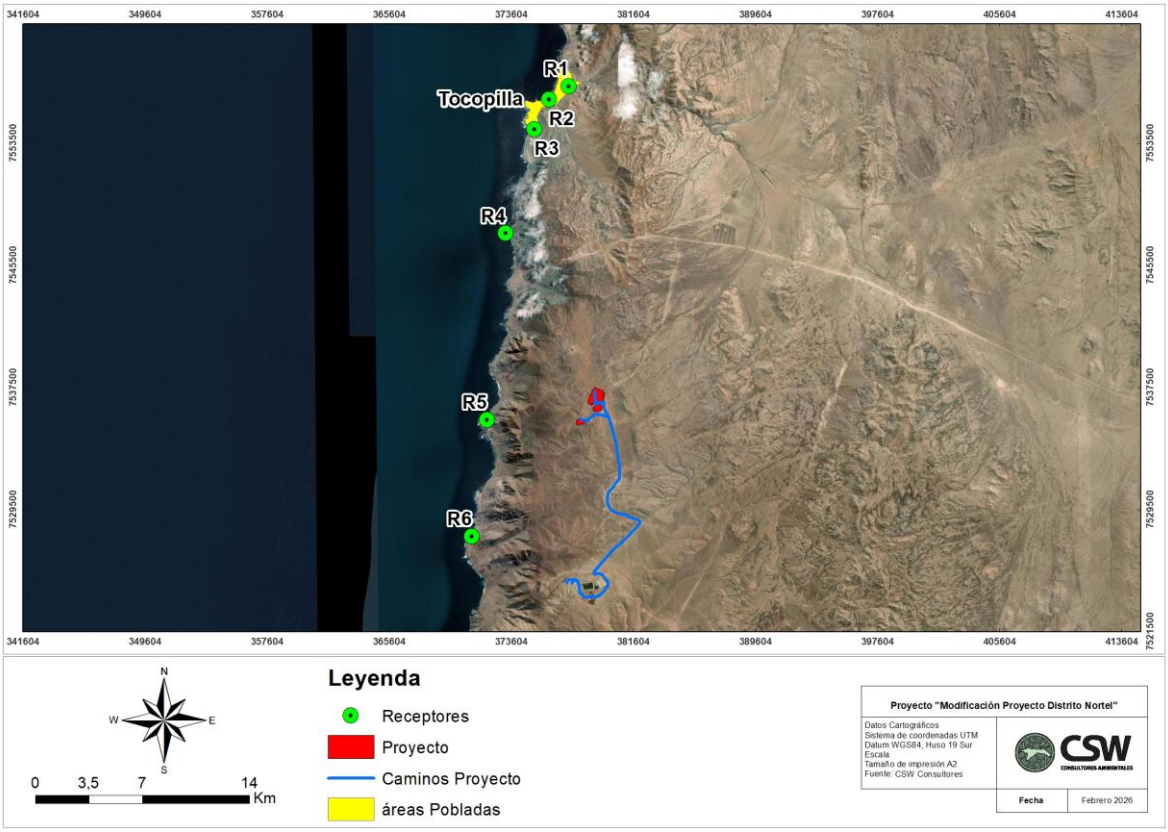
A continuación, se presentan los receptores identificados.

Tabla 9. Receptores modelación

Tipo Receptor	Id	Coordenadas WGS84 Huso 19S		Distancia al Proyecto [km]	Descripción
		Este [m]	Sur [m]		
Humano	R1	377.362	7.557.230	20,0	EMRP Super Site
Humano	R2	376.087	7.556.373	19,3	EMRP Gobernación
Humano	R3	375.111	7.554.406	17,6	EMRP Bomberos
Atractivo Turístico	R4	373.241	7.547.599	11,9	Playa Punta Blanca
Atractivo Turístico	R5	371.997	7.535.382	6,1	Playa Punta de Atala
Atractivo Turístico	R6	371.022	7.527.761	6,8	Caleta Indígena

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Receptores



Fuente: Elaboración propia.

6 Cuerpo normativo

6.1 Normativa nacional de calidad del aire

En el contexto legal, la normativa nacional vigente referente a las normas primarias y secundarias de calidad del aire, aplicables a todo el territorio nacional, establecen límites máximos de concentración de contaminantes, como se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 10. Cuerpo normativo

Parámetro	Norma	Estadístico	Valor límite	Referencia
MP10	Primaria	Promedio anual	50 µg/m^3	DS N°12/2022 MMA
		Promedio 24 horas (Percentil 98)	130 µg/m^3	
MP2,5	Primaria	Promedio anual	20 µg/m^3	DS N°12/2012 MMA
		Promedio 24 horas (Percentil 98)	50 µg/m^3	

Fuente: Elaboración propia en base a MINSEGPRES (2002), MINSEGPRES (2010), MMA (2011), MMA (2018), MMA (2022).

6.2 Normativa internacional de referencia

Con respecto al contaminante MPS no existe normativa secundaria de calidad del aire nacional aplicable a la ubicación del Proyecto, por lo tanto, se utilizará una norma de referencia internacional para comparar las emisiones de este contaminante. De acuerdo a lo establecido en el artículo 11 del DS N°40/2012 del SEIA y en conformidad con lo señalado en el "CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Uso de normas de referencia" (SEA, 2024), para la utilización de las normas de referencia, se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local, por ello se consideró utilizar la normativa de la Confederación Suiza. En el Apéndice B de este informe se incluye un ejemplar íntegro y vigente de la Ordenanza de la Confederación Suiza sobre control de la contaminación atmosférica.

Para ello, a continuación, se analiza el cumplimiento de los cuatro criterios generales para evaluar la selección de la norma de referencia Ordenanza de la Confederación Suiza, criterios que han sido definidos en el documento "CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Uso de normas de referencia" (SEA, 2024).

Tabla 11. Análisis criterio evaluación norma de referencia para MPS de la Ordenanza de la Confederación Suiza

Criterio	Preguntas Conductoras	Respuesta	Justificación
1. Criterio del objeto de protección	La norma de referencia, ¿resguarda el mismo objeto de protección?	Sí.	La Ordenanza que establece la norma de calidad de aire para la Confederación Suiza indica en su Capítulo 1, artículo 1 que: "*La norma está orientada a proteger seres humanos, animales y plantas, sus comunidades biológicas y hábitats, y el suelo, de los efectos dañinos o perjuicios causados por la contaminación del aire".* Mientras que en su artículo 2 define "*Los niveles de contaminación del aire son excesivos si uno o más de los valores límite para un contaminante especificado en el anexo 7 es excedido. En caso que el valor límite para un contaminante no este especificado, se considerará excesivo si:* o *Ponen en peligro a seres humanos, animales, plantas o sus comunidades biológicas o hábitats.* o *Un estudio establezca que afecta significativamente el bienestar de una proporción sustancial de la población.* o *Provoque daño a edificaciones.* o *Dañe la fertilidad del suelo, vegetación o aguas.*" Conforme a lo señalado, se concluye que la norma de la Confederación Suiza resguarda el mismo objeto de protección que las normas de calidad secundarias nacionales. Esto se fundamenta en que su enfoque está orientado a la preservación de elementos esenciales del medio ambiente y la naturaleza, como las comunidades biológicas, los hábitats de plantas y animales, el suelo, la vegetación y las aguas. Estas características coinciden con la definición de las normas secundarias de calidad ambiental establecida en la Ley N°19.300/1994, cuyo propósito es la protección del medio ambiente y la naturaleza. Adicionalmente, resulta relevante destacar que, en el entorno del área del Proyecto, se encuentran presentes recursos naturales que podrían ser afectados por este contaminante, lo que refuerza la pertinencia de esta norma como referencia.
	Entre el objeto de protección de la norma de referencia y el objeto de protección que se pretende evaluar, ¿existe similitud en sus componentes	Sí.	En términos climáticos, según la clasificación climática de Köppen, Chile presenta los siguientes climas: Desértico (BWh, BWk), Semiárido (BWk, BSk), Mediterráneo (Csa, Csb), Tropical (Cfa), Templado oceánico (Cfb), Subpolar oceánico (Cfc), Semiárido (Bsk), Alpino, Tundra (ET) y Clima polar (EF), en tanto Suiza presenta los siguientes climas: Semiárido (BSh, Bsk), Templado oceánico (Cfb), Subpolar oceánico (Cfc), Tropical (Cfa), Boreal (Dfc), Alpino, Tundra (ET) y Polar (EF) (Koppen, 1918).

Criterio	Preguntas Conductoras	Respuesta	Justificación
	ambientales (variables o condiciones ambientales)?		De acuerdo a lo anterior, ambos países comparten 7 tipos de climas, siendo el clima templado oceánico (Cfb) el más representativo. En términos de especies vegetales, es posible afirmar que, en Suiza, se catalogan alrededor de 2592 especies de flora vascular, de las cuales 790 (30,5%) se encuentran en alguna categoría de amenaza (Cordillot & Klaus, 2011), en tanto para Chile se reconocen alrededor de 5471 plantas vasculares de las cuales 443 (8,1%), están en alguna categoría de amenaza (Rodríguez et al, 2018). Conforme a lo anterior, es posible concluir que Chile y Suiza presentan una composición climática relativamente similar en tanto, la magnitud de plantas vasculares en categoría de amenaza en la situación suiza es mayor a la chilena, por lo tanto, es establece que existe similitud en los componentes ambientales de Chile y Suiza.
	La norma de referencia, ¿presenta condiciones de aplicabilidad asimilables al contexto del objeto de protección en evaluación?	Sí,	La norma para MPS de la Confederación Suiza regula este contaminante como concentración anual considerando límites ambientales para la depositación de MPS para todo el territorio nacional. Estas condiciones de aplicabilidad son las mismas que se requieren para evaluar el cumplimiento de los límites de depositación anual de MPS considerando las emisiones que generará el Proyecto.
2. Criterio de la actividad regulada y fuente emisora	La norma de referencia, ¿regula el o los contaminantes para la misma actividad o proyecto que se presentará al SEIA?	No aplica.	No aplica. La norma de la Confederación Suiza no regula emisiones de actividades específicas, sino que establece el límite máximo anual permitido para la deposición de Material Particulado Sedimentable (MPS) en el medio ambiente, asegurando que no se cause daño al objeto de protección (recursos naturales). Asimismo, la Ley N°19.300/1994 establece que las normas de calidad secundaria no se refieren a límites asociados a actividades o fuentes emisoras específicas, sino a concentraciones aceptables de contaminantes en el medio ambiente.
	La norma de referencia, ¿regula la misma fuente emisora para el o los contaminantes de la actividad o proyecto que se presentará al SEIA?	No aplica.	No aplica. La norma de la Confederación Suiza no regula fuentes emisoras específicas, sino que establece el límite máximo anual permitido para la deposición de Material Particulado Sedimentable (MPS) en el medio ambiente, asegurando que no se cause daño al objeto de protección (recursos naturales). Asimismo, la Ley N°19.300/1994 establece que las normas de calidad secundaria no se refieren a límites asociados a actividades o fuentes emisoras específicas, sino a concentraciones aceptables de contaminantes en el medio ambiente.
3. Criterio del contaminante	Los valores límites de referencia que presenta la	No aplica.	No aplica. La concentración natural de MPS es variable y depende de las características específicas de cada zona, como la geografía, las condiciones climáticas y las actividades naturales en el área.

Criterio	Preguntas Conductoras	Respuesta	Justificación
	norma internacional, ¿son menores a los valores del contenido natural del contaminante?		Por esta razón, no es posible establecer una comparación directa entre los valores límites de referencia de la norma internacional y el contenido natural del contaminante. La norma se enfoca en regular los niveles de deposición de MPS en función de su impacto ambiental y no en comparación con las concentraciones naturales.
	El enfoque utilizado para evaluar el impacto del contaminante sobre el objeto de protección, ¿permite evaluar el riesgo indicado en la letra a) o los efectos adversos señalados en la letra b), según corresponda, ambos del artículo 11 de la Ley N° 19.300?	Si.	El enfoque de la norma para MPS de la Confederación Suiza permite evaluar el riesgo indicado en la letra b) del artículo 11 de la Ley N°19.300/1994, correspondiente a "Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire", ya que el objeto de protección de esta norma corresponde a esenciales del medio ambiente y la naturaleza, como las comunidades biológicas, los hábitats de plantas y animales, el suelo, la vegetación y las aguas.
4. Criterio del umbral de referencia	La norma de referencia en análisis, en comparación con otras normas, ¿presenta los umbrales de referencia que permiten determinar la condición más desfavorable a la que estará expuesto el objeto de protección?	Sí.	La norma para MPS de la Confederación Suiza establece un umbral de referencia de 200 mg/m² por día, siendo más estricto en comparación con la norma argentina establecida en la Resolución Nº 68/2021 de la Agencia de Protección Ambiental (APRA), que fija un límite de 1 mg/cm² en un período de 30 días, equivalente a 333 mg/m² por día.

Fuente: CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Uso de normas de referencia" (SEA, 2024).

- Normativa Confederación Suiza:

Considerando lo señalado anteriormente, es posible considerar la norma para MPS de Confederación Suiza para el caso del Proyecto ya que cumple los criterios establecidos en el CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Uso de normas de referencia" (SEA, 2024), a excepción del Criterio 2 referente a la actividad regulada y fuente emisora, el cual no resulta aplicable, ya que la Ley N°19.300 establece que las normas de calidad secundaria no se refieren a límites asociados a actividades o fuentes emisoras específicas, sino a concentraciones aceptables de contaminantes en el medio ambiente.

A continuación, se presenta un resumen de los límites de MPS establecidos en la norma internacional a utilizar como referencia.

Tabla 12. Cuerpo normativo

Contaminante	País	Norma	Estadístico	Valor límite	Referencia
MPS (Partículas sedimentables)	Confederación Suiza	-	Promedio anual	200 (mg/m^{2}día)	Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire 1993

Fuente: Elaboración propia.

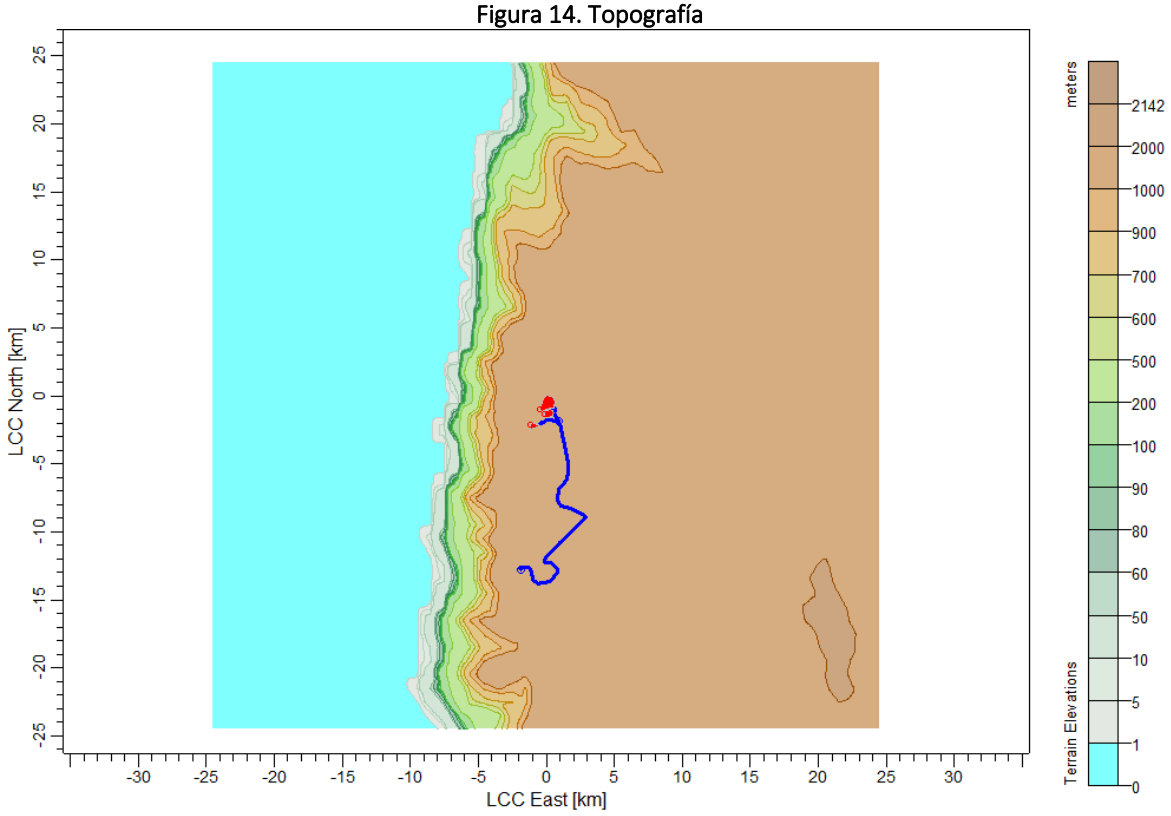
7 Resultados de la modelación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, en cuanto a la concentración estimada de contaminantes respecto a las distancias discretas establecidas (receptores). En el Apéndice A se incluyen los resultados del modelo CALPUFF.

7.1 Escenario geofísico

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

Figura 14. Topografía

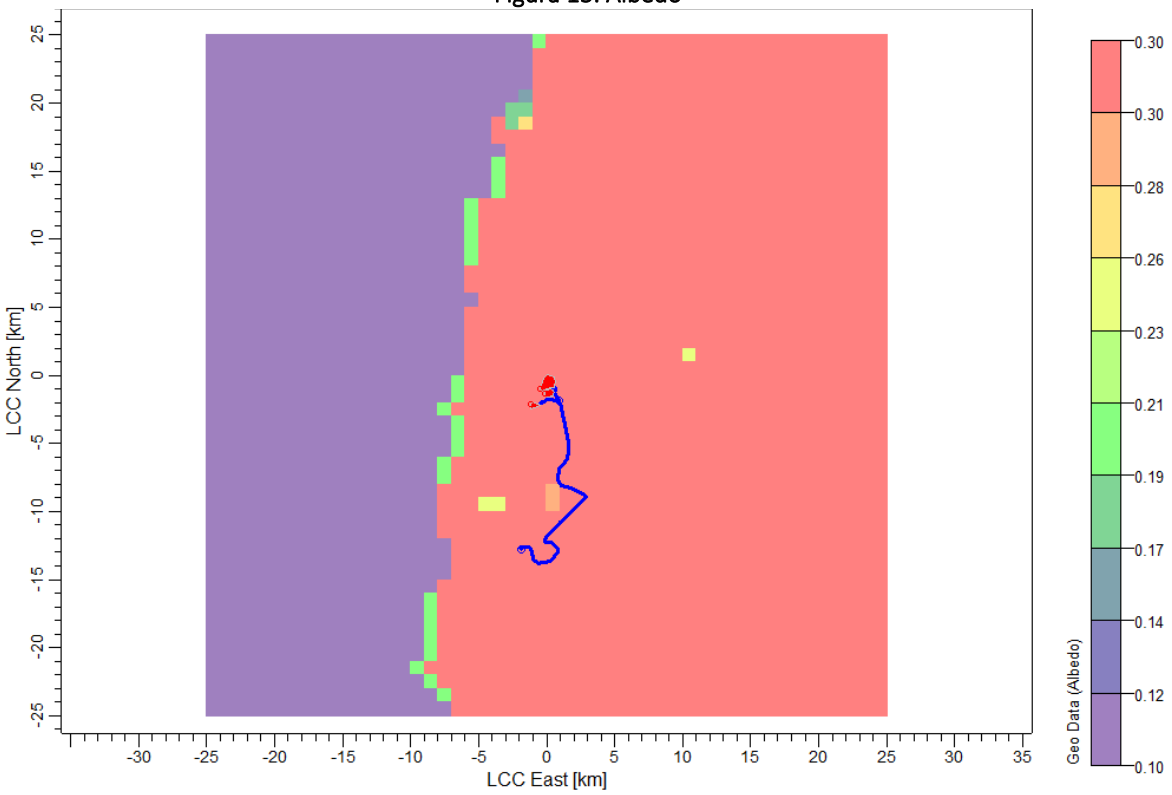


Fuente: Elaboración propia.

El Proyecto se encuentra ubicado en un sector donde la topografía es de mediana altura de alrededor de 700 m.s.n.m y se encuentra a una distancia donde posee influencia del borde costero.

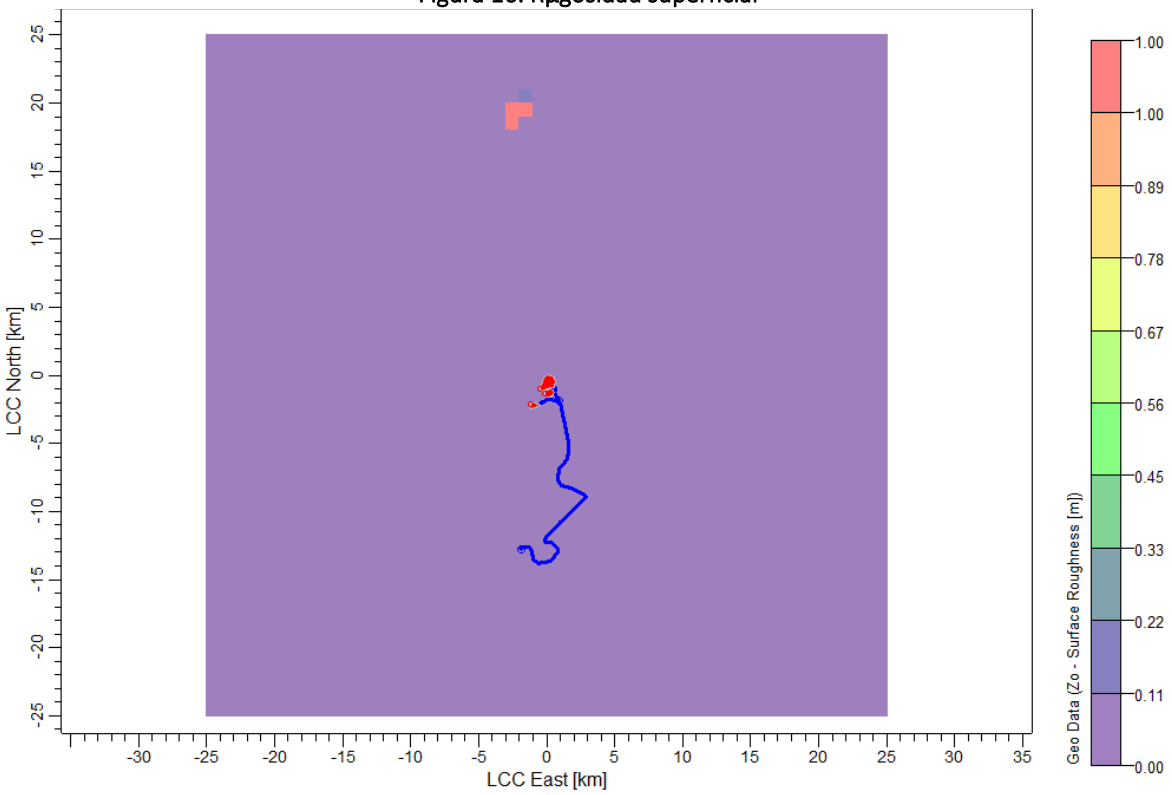
En los siguientes gráficos se presentan los datos de terreno obtenidos para la modelación.

Figura 15. Albedo



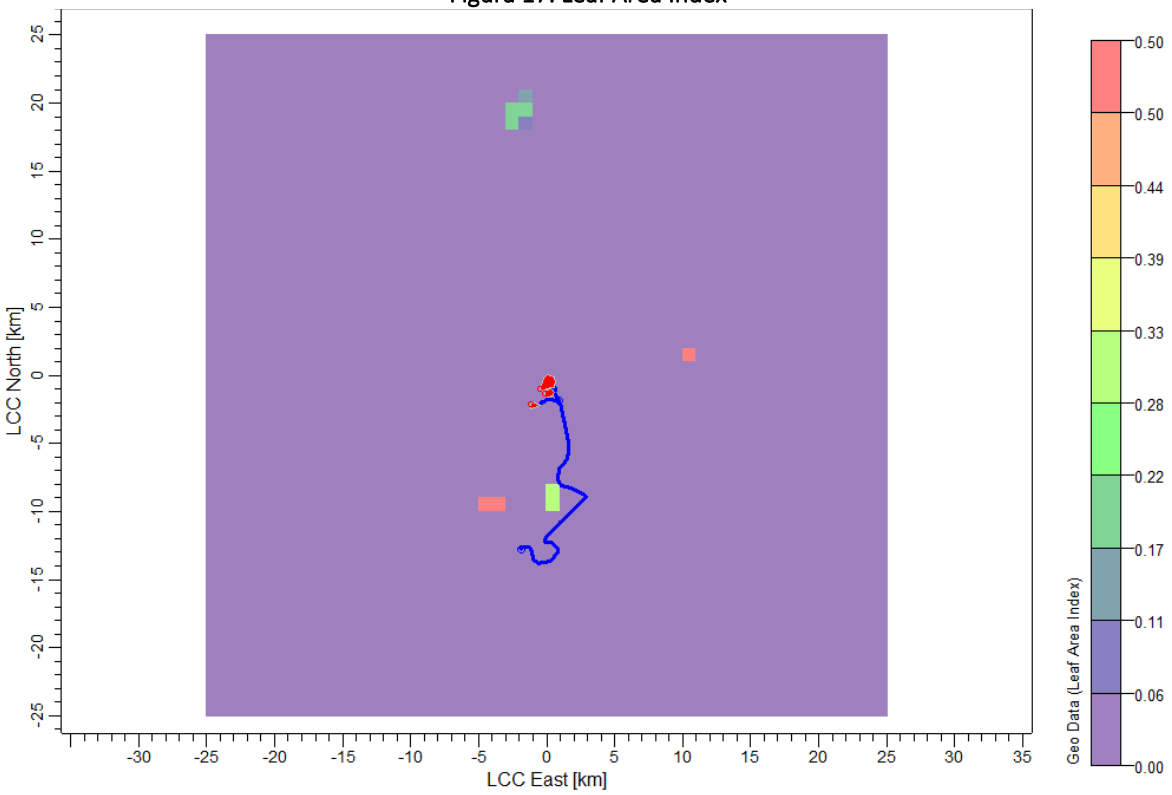
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Rµgosidad superficial



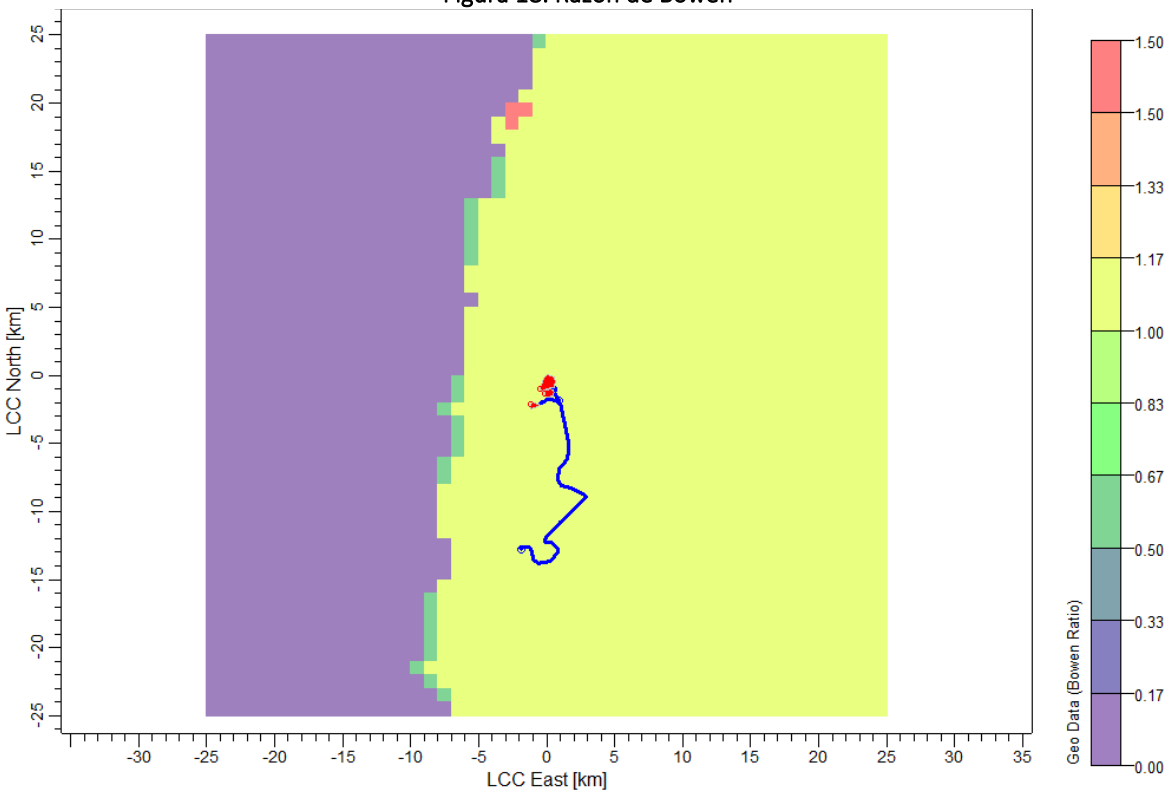
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Leaf Area Index



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Razón de Bowen



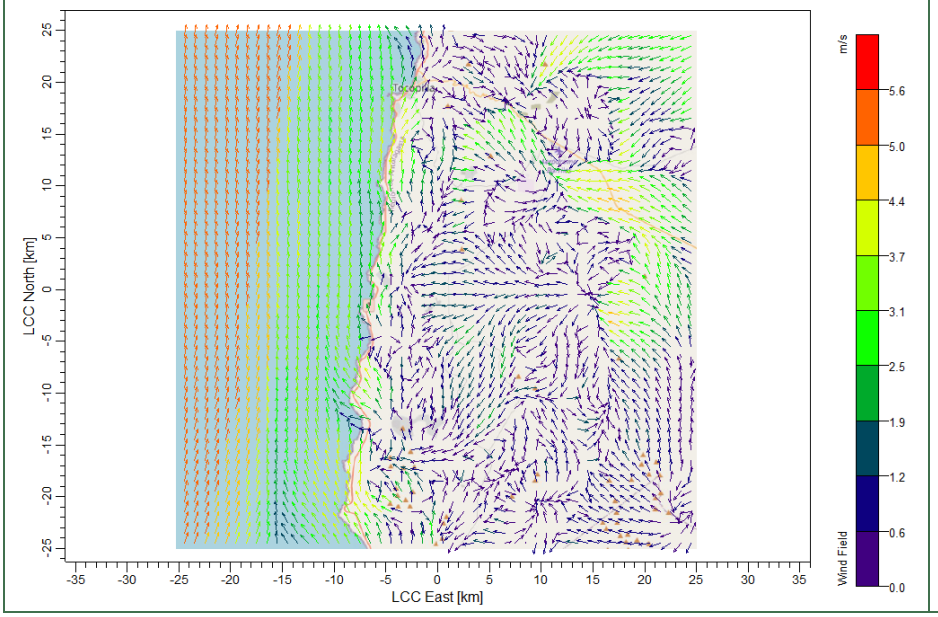
Fuente: Elaboración propia.

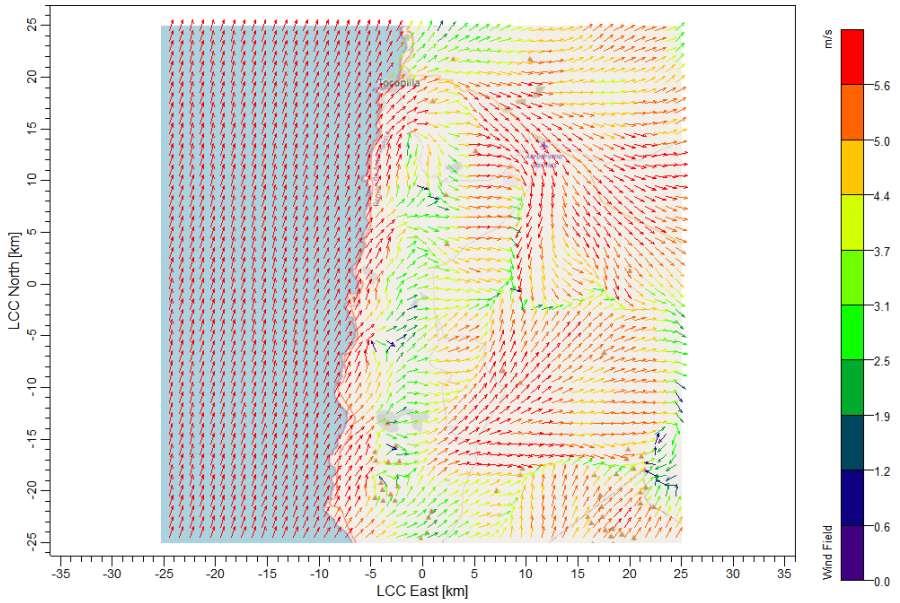
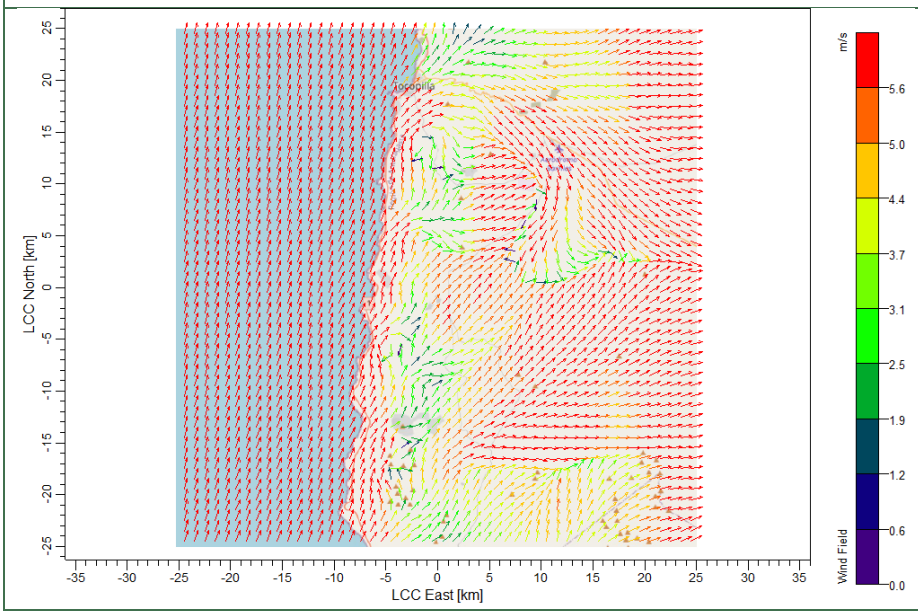
7.2 Modelo meteorológico

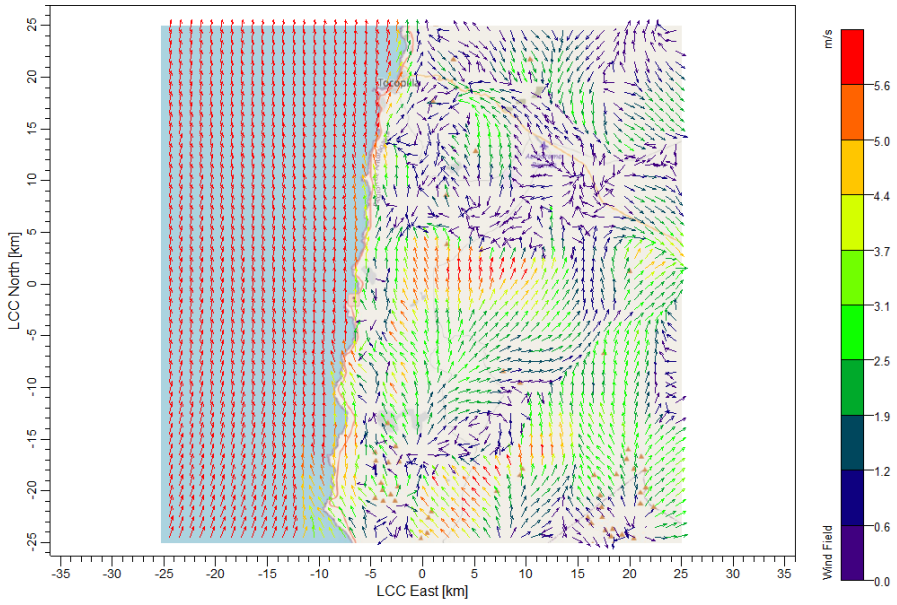
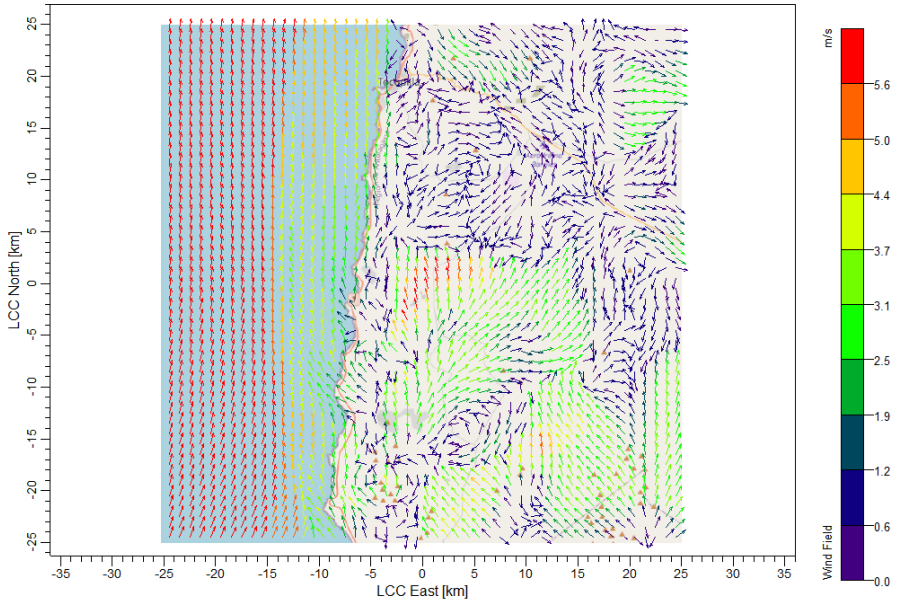
Mediante el uso del modelo CALMET y en función de los datos de entrada WRF descritos en el escenario meteorológico, se procedió a generar una matriz de vientos predominantes y alturas aproximadas de capas de mezclas al interior del dominio de la modelación, para cada hora del año 2024.

Con el fin de presentar los resultados a través de una gráfica de campos de viento, se ha seleccionado el día 8 de marzo de 2024 como una fecha representativa dentro del dominio de modelación. La siguiente tabla muestra el comportamiento de los vientos a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo, para diferentes horarios de la fecha mencionada.

Tabla 13. Campo de vientos

Campo de Viento	Descripción
	Comportamiento de los vientos a una altura 10 metros sobre el nivel de suelo a las 08:00 horas como una hora representativa del 8 de marzo de 2024 al interior del dominio de la modelación.

Campo de Viento	Descripción
	Comportamiento de los vientos a una altura 10 metros sobre el nivel de suelo a las 12:00 horas como una hora representativa del 8 de marzo de 2024 al interior del dominio de la modelación.
	Comportamiento de los vientos a una altura 10 metros sobre el nivel de suelo a las 16:00 horas como una hora representativa del 8 de marzo de 2024 al interior del dominio de la modelación.

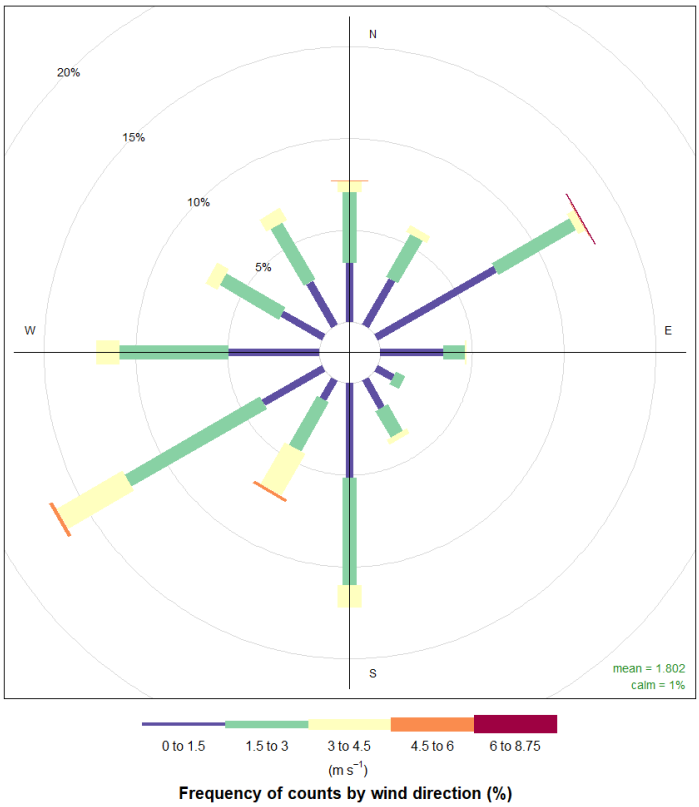
Campo de Viento	Descripción
	Comportamiento de los vientos a una altura 10 metros sobre el nivel de suelo a las 20:00 horas como una hora representativa del 8 de marzo de 2024 al interior del dominio de la modelación.
	Comportamiento de los vientos a una altura 10 metros sobre el nivel de suelo a las 24:00 horas como una hora representativa del 8 de marzo de 2024 al interior del dominio de la modelación.

Fuente: Elaboración propia.

Dirección del viento

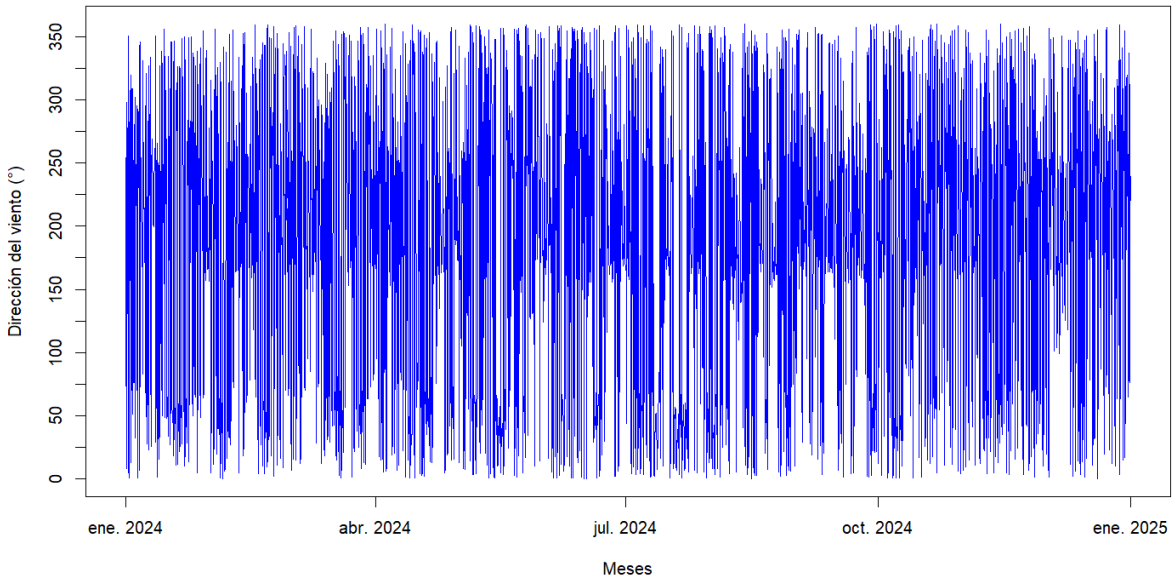
Con respecto a la dirección del viento, en la siguiente Figura presenta la rosa de los vientos correspondiente al dominio de modelación. La componente principal corresponde al viento suroeste (SO) y noreste (NO).

Figura 19. Rosa de los vientos año 2024



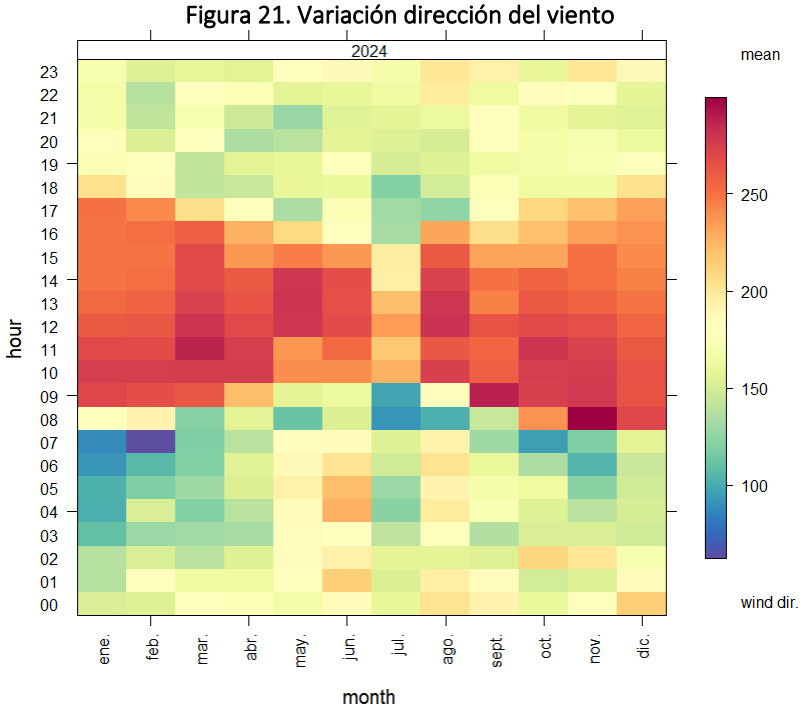
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Serie de tiempo dirección (°) del viento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Variación dirección del viento

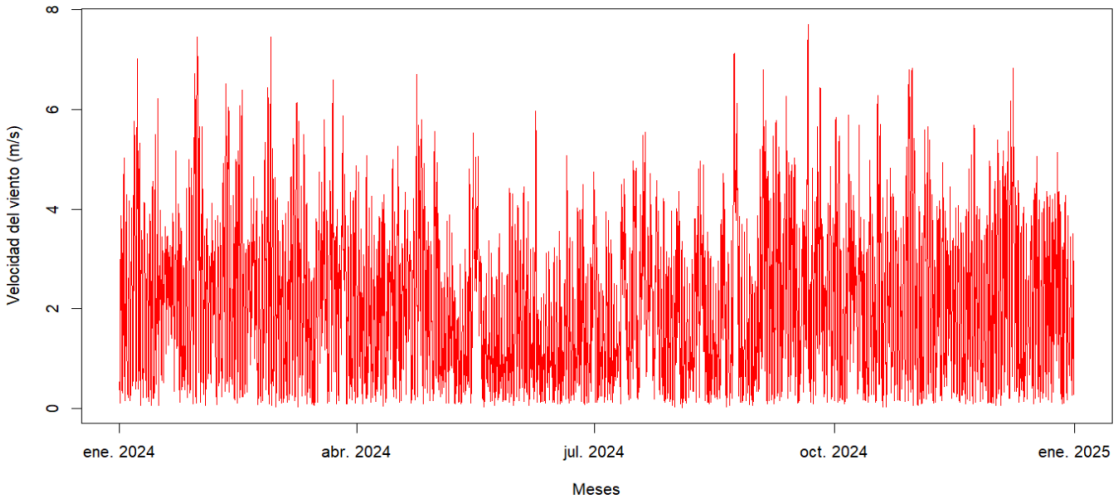


Fuente: Elaboración propia.

Velocidad del viento:

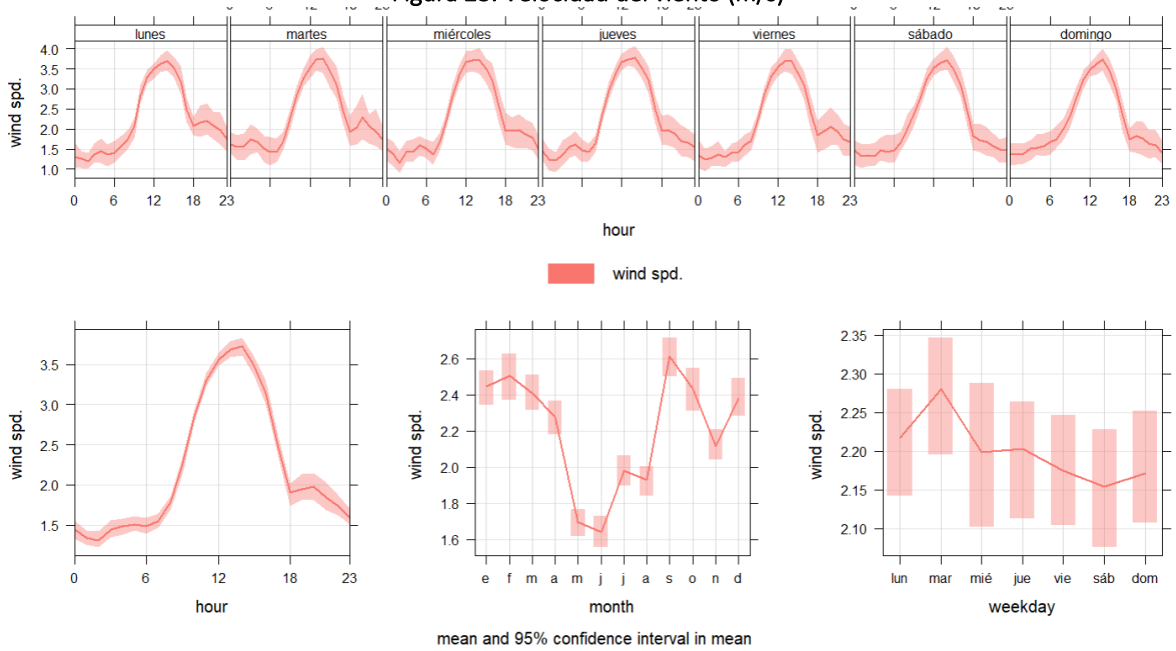
Con respecto a la velocidad del ciento, a continuación, se presentan gráficos de velocidad de viento y ciclos, diarios, semanales y mensuales de la velocidad del viento.

Figura 22. Serie de tiempo velocidad del viento (m/s)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Velocidad del viento (m/s)

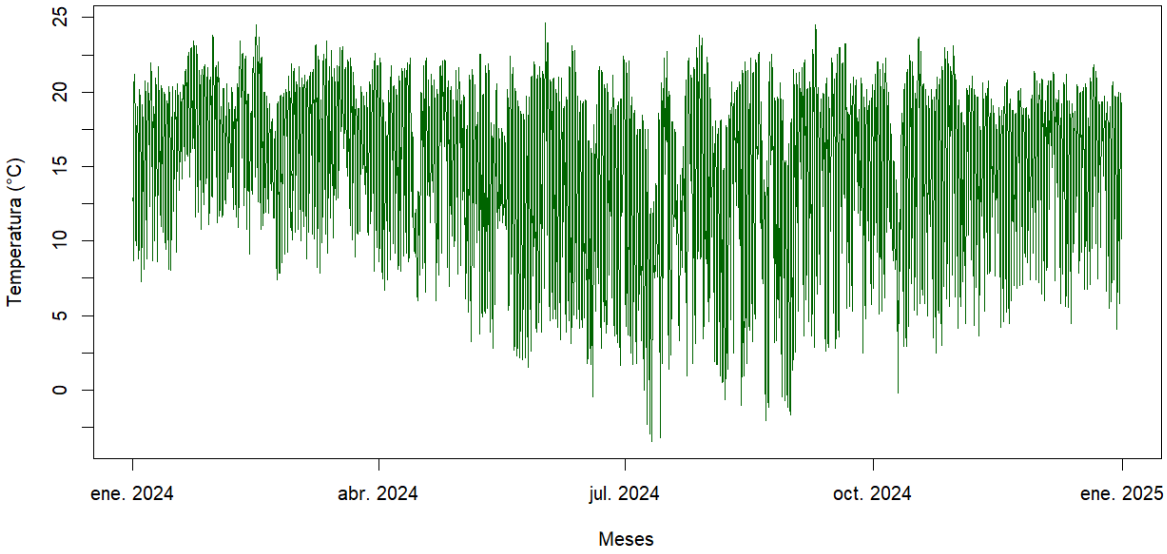


Fuente: Elaboración propia.

Temperatura:

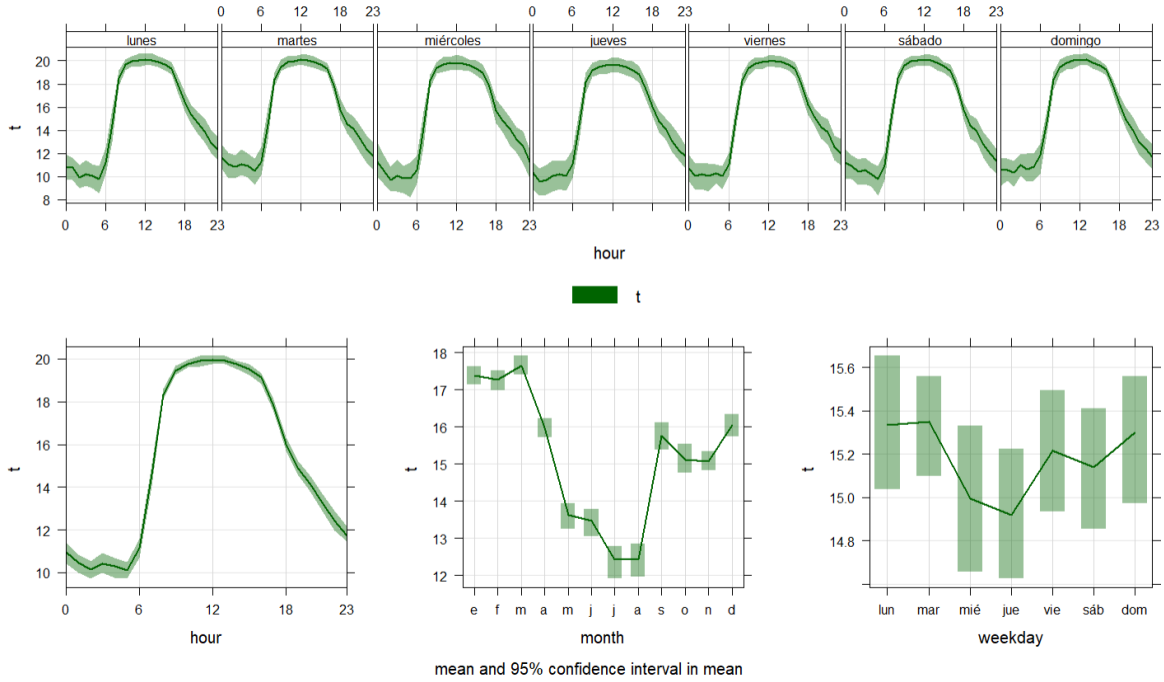
Con respecto a la velocidad del ciento, a continuación, se presentan gráficos de ciclos, diarios, semanales y mensuales de la temperatura.

Figura 24. Serie de tiempo (°C) temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Ciclo mensual temperatura (°C)

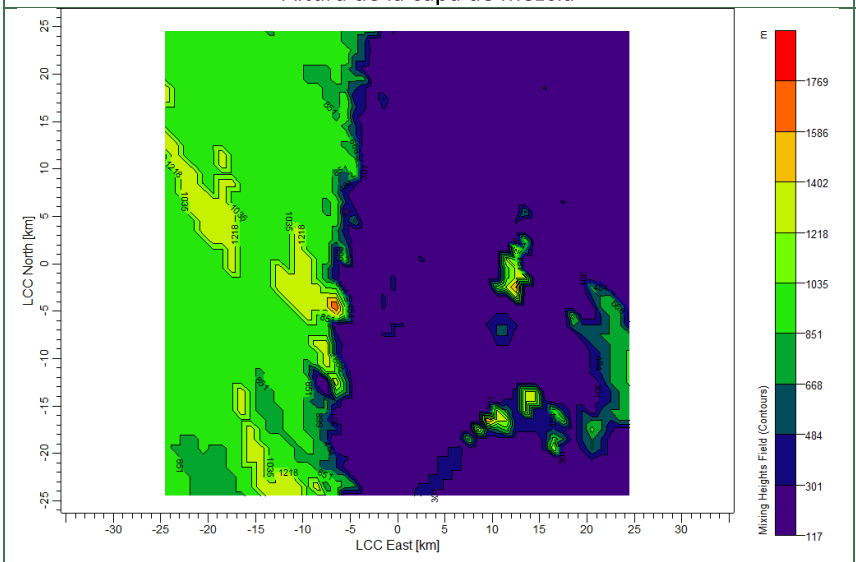
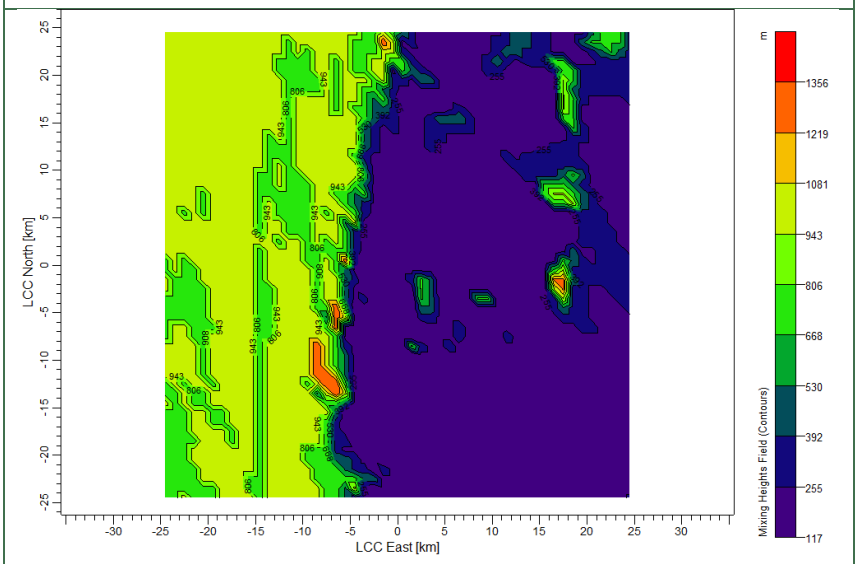


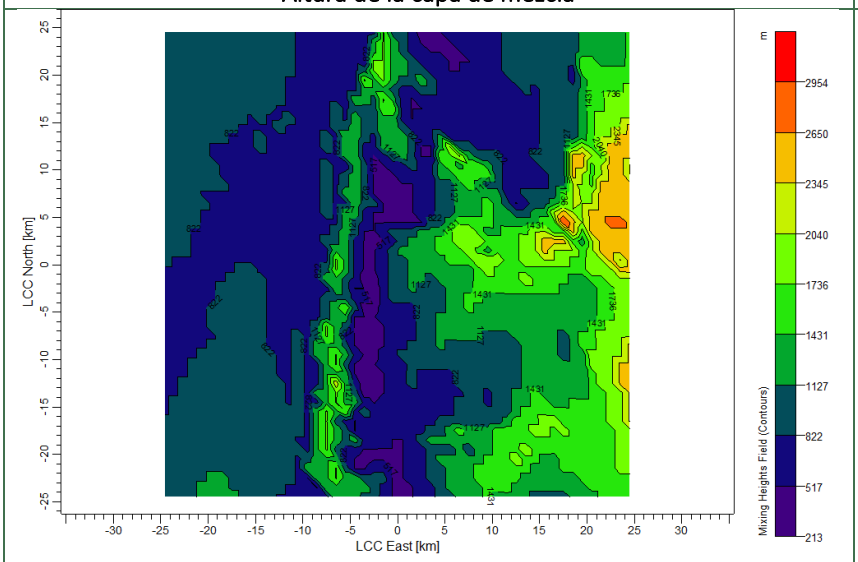
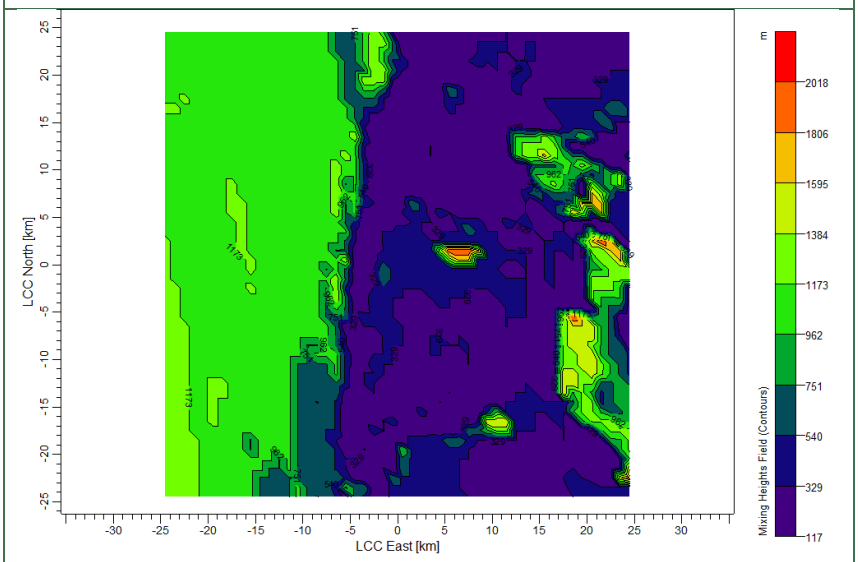
Fuente: Elaboración propia.

Altura de la capa de mezcla

Por otra parte, la profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado, se denomina capa de mezcla. La parte superior de esta capa se conoce como altura de mezcla, la cual determina el alcance vertical del proceso de dispersión de los contaminantes liberados debajo de ella, a continuación, se representa la altura de la capa de mezcla mediante procesamiento de datos meteorológicos en el software CALPUFF View.

Tabla 14. Altura de la capa de mezcla

Altura de la capa de mezcla	Descripción
	Presentación del comportamiento de la altura de capa de mezcla en horarios representativos, entre las 00:00 y las 08:00 del día escogido para exponer los resultados del módulo micro meteorológico (8 de marzo de 2024) como representativo de verano como peor escenario (menor humedad ambiental y menor presencia de lluvias). En ese sentido, se puede observar que, por la temperatura ambiente y las variables ambientales, la altura de la capa de mezcla se mantiene a una altura baja, sin sobrepasar los 806 metros en la mayoría de los puntos.
	

Altura de la capa de mezcla	Descripción
	Presentación del comportamiento de la altura de capa de mezcla en horarios representativos, entre las 16:00 y las 20:00 del día escogido para exponer los resultados del módulo micro meteorológico. Se puede observar que, por la temperatura ambiente y las variables ambientales diurnas, la altura de la capa de mezcla se expande en algunos puntos por sobre los 1700 metros, volviendo a contraerse en la tarde a los 1173 metros.
	

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Resultados modelación CALPUFF

7.3.1 Material particulado

Con el fin de determinar la eventual influencia que tiene el Proyecto en la calidad del aire sobre la localidad y los receptores identificados, en función de los análisis antes realizados, se determinaron las concentraciones de MP10, MP2,5 y MPS para cada una de las horas del año sobre los receptores considerados. A continuación, se presenta el aporte del Proyecto sobre a los receptores antes mencionados, segregado según los períodos de la norma de calidad del aire aplicable.

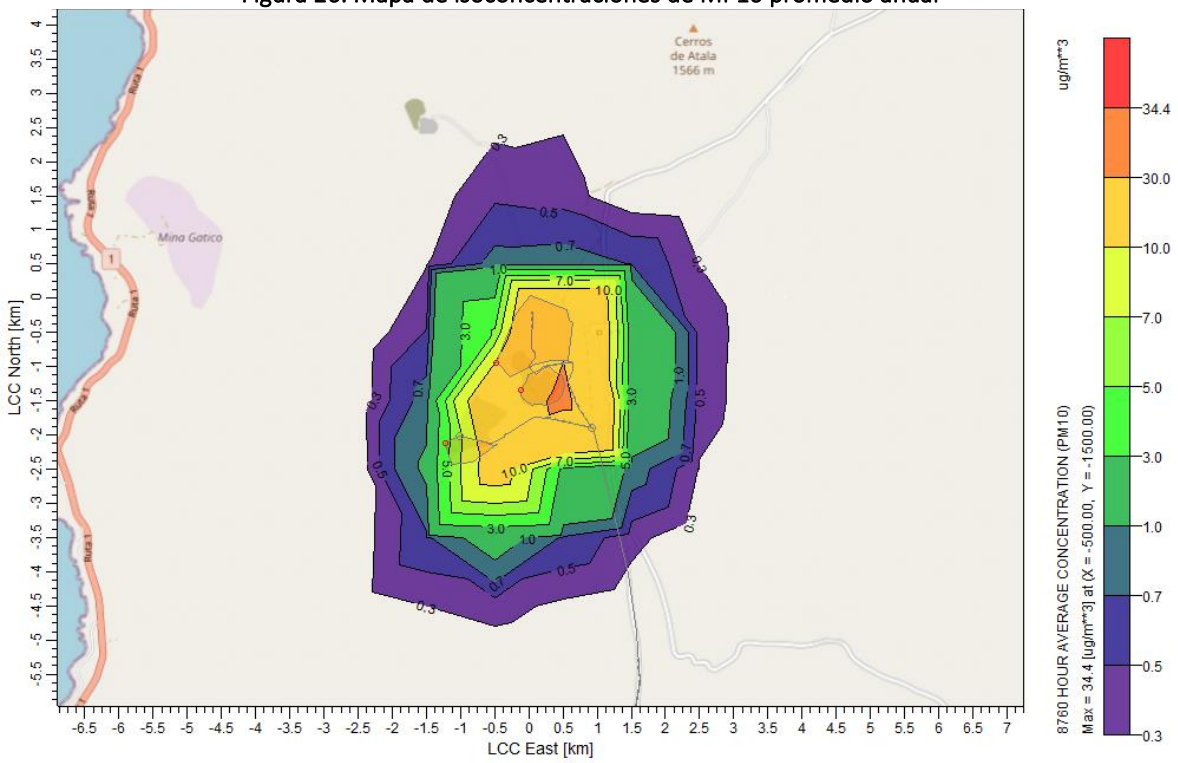
Tabla 15. Resultados modelación año 1 material particulado

Receptor	MP10 (µg/m^3)		MP2,5 (µg/m^3)		MPS (mg/m^2/día)
	24 h	Anual	24 h	Anual	Anual
R1	0,0282	0,0090	0,0046	0,0015	0,000
R2	0,0284	0,0092	0,0046	0,0015	0,000
R3	0,0302	0,0104	0,0050	0,0017	0,000
R4	0,0358	0,0134	0,0059	0,0022	0,000
R5	0,0365	0,0132	0,0060	0,0022	0,000
R6	0,0239	0,0080	0,0039	0,0013	0,000

Fuente: Elaboración propia.

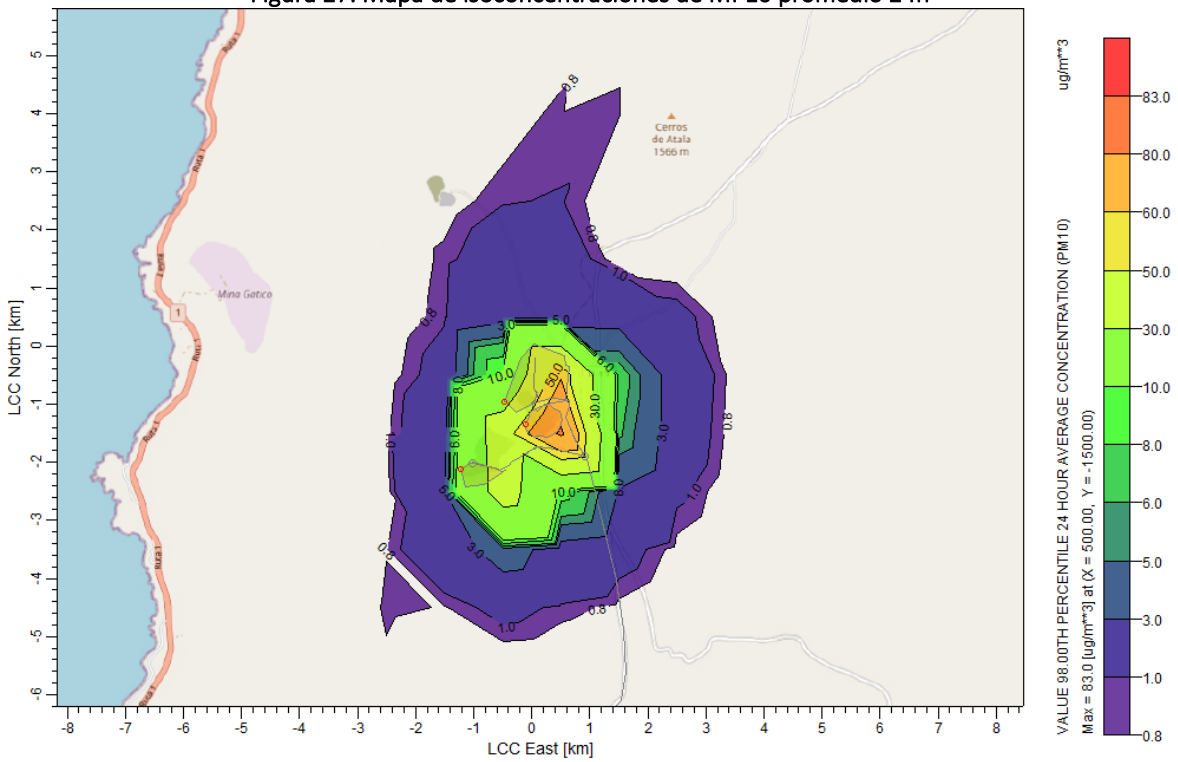
A continuación, se presentan los mapas de isoconcentraciones asociados a cada uno de los parámetros para el material particulado MP10, MP2,5 y MPS, tanto para las concentraciones anuales como para las concentraciones diarias.

Figura 26. Mapa de isoconcentraciones de MP10 promedio anual



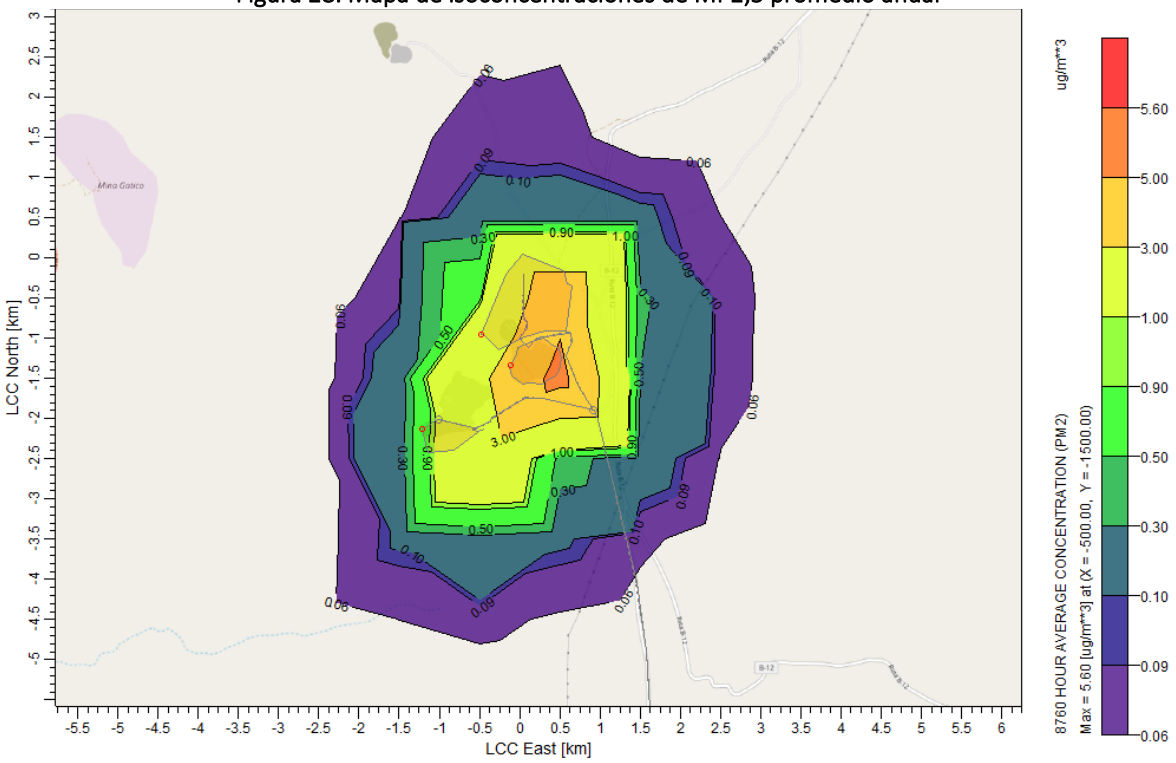
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Mapa de isoconcentraciones de MP10 promedio 24h



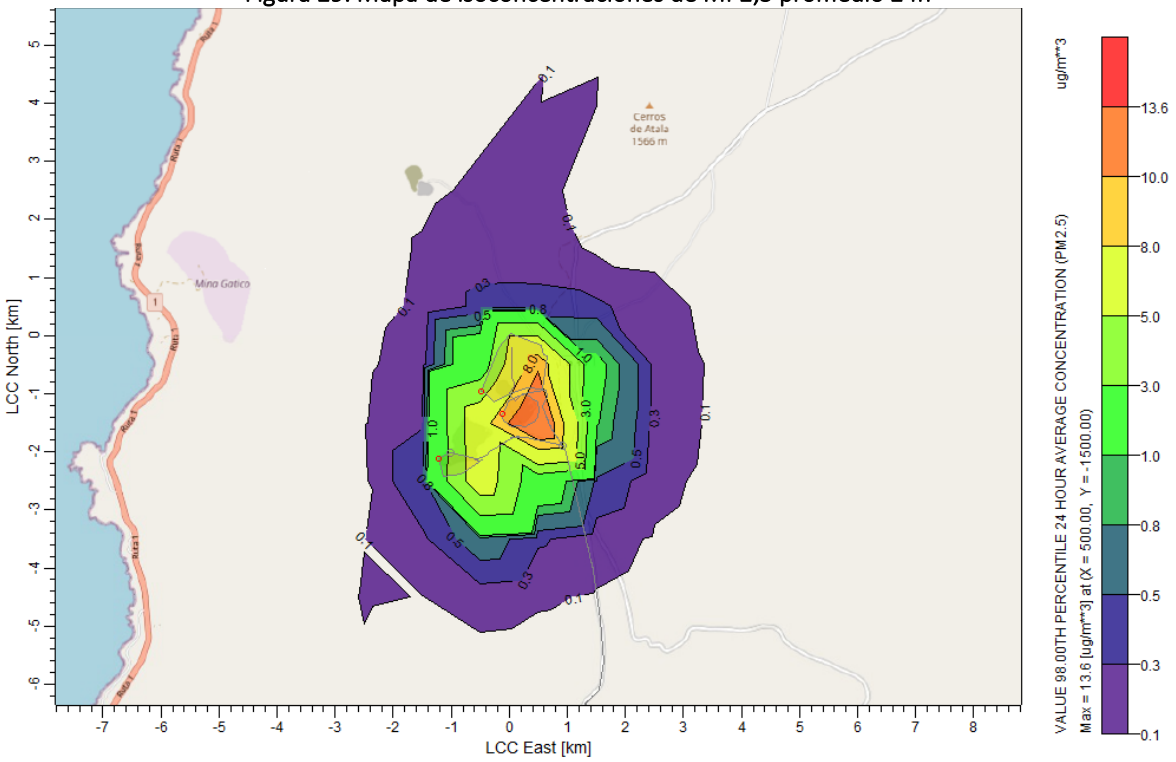
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Mapa de isoconcentraciones de MP2,5 promedio anual



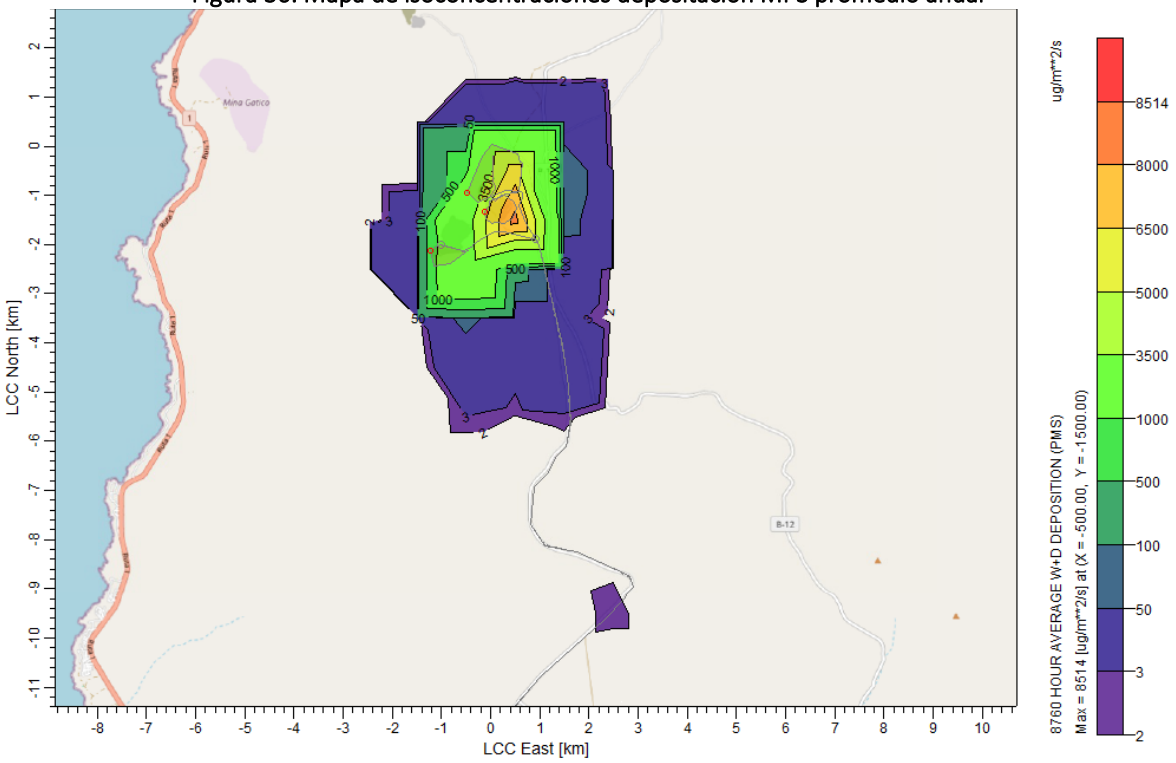
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Mapa de isoconcentraciones de MP2,5 promedio 24h



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Mapa de isoconcentraciones depositación MPS promedio anual



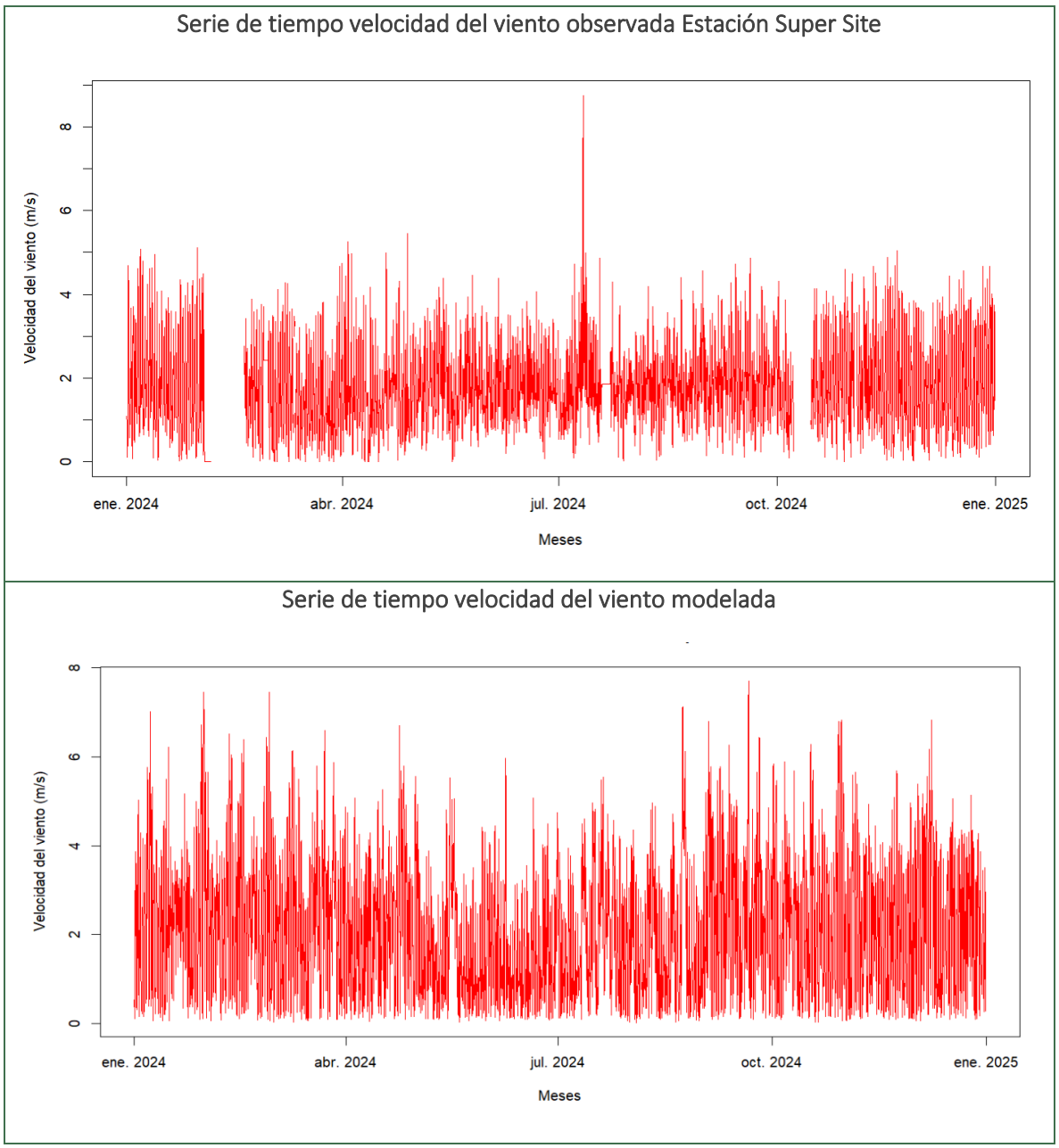
Fuente: Elaboración propia.

8 Análisis de incertidumbre modelo WRF

Para validar los resultados del modelo WRF, a continuación, se presenta un Análisis de Incertidumbre, de acuerdo con los lineamientos de la "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023). Para efectos de la Guía se indica que la incertidumbre será expresada a través de las diferencias, tanto cualitativas como cuantitativas, entre los datos modelados y observados en el dominio de modelación. Es imprescindible analizar la incertidumbre del modelo meteorológico para expresar cuán "válida" es la simulación de la dispersión de contaminantes respecto a la información disponible al momento de presentar un proyecto en el SEIA.

8.1 Análisis cualitativo

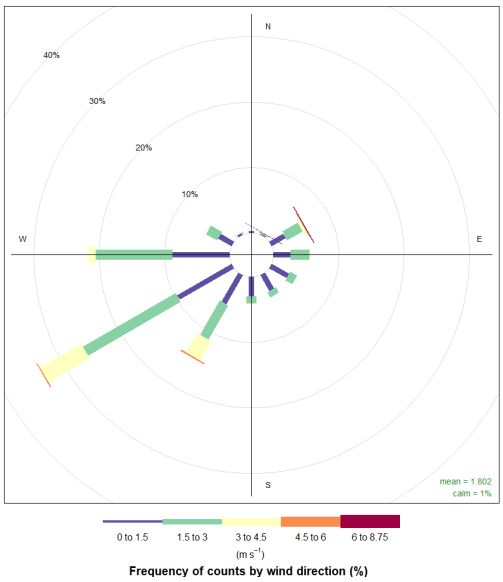
A continuación, para la variable meteorológica velocidad del viento, en la siguiente Ilustración, se presentan la comparación de la serie de tiempo anual.



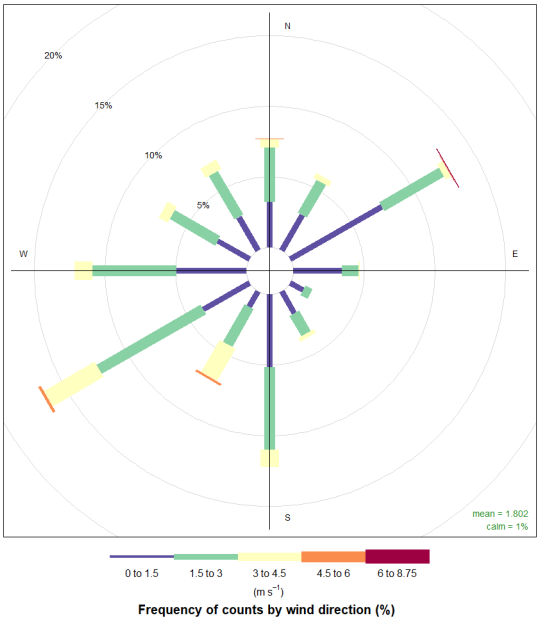
En relación a la serie de tiempo de la velocidad del viento observada y modelada, se aprecia que el modelo logra replicar la estructura general y la dispersión de la velocidad del viento observada, concentrando la mayor densidad de datos entre 0 y 4 m/, por lo tanto, es posible indicar que el modelo se adapta de buena forma a la realidad, ya que logra reproducir la variación promedio a lo largo del año.

Con respecto a la dirección del viento, a continuación, se analizan las rosas de los vientos para el escenario modelado y observado. Se evidencia una diferencia en la distribución direccional, ya que la rosa observada muestra una predominancia muy marcada de vientos provenientes del Suroeste (SO), por el contrario, la rosa modelada presenta una dispersión mayor en otras direcciones; sin embargo, de igual forma captura la componente del SO, mostrando un patrón más multidireccional.

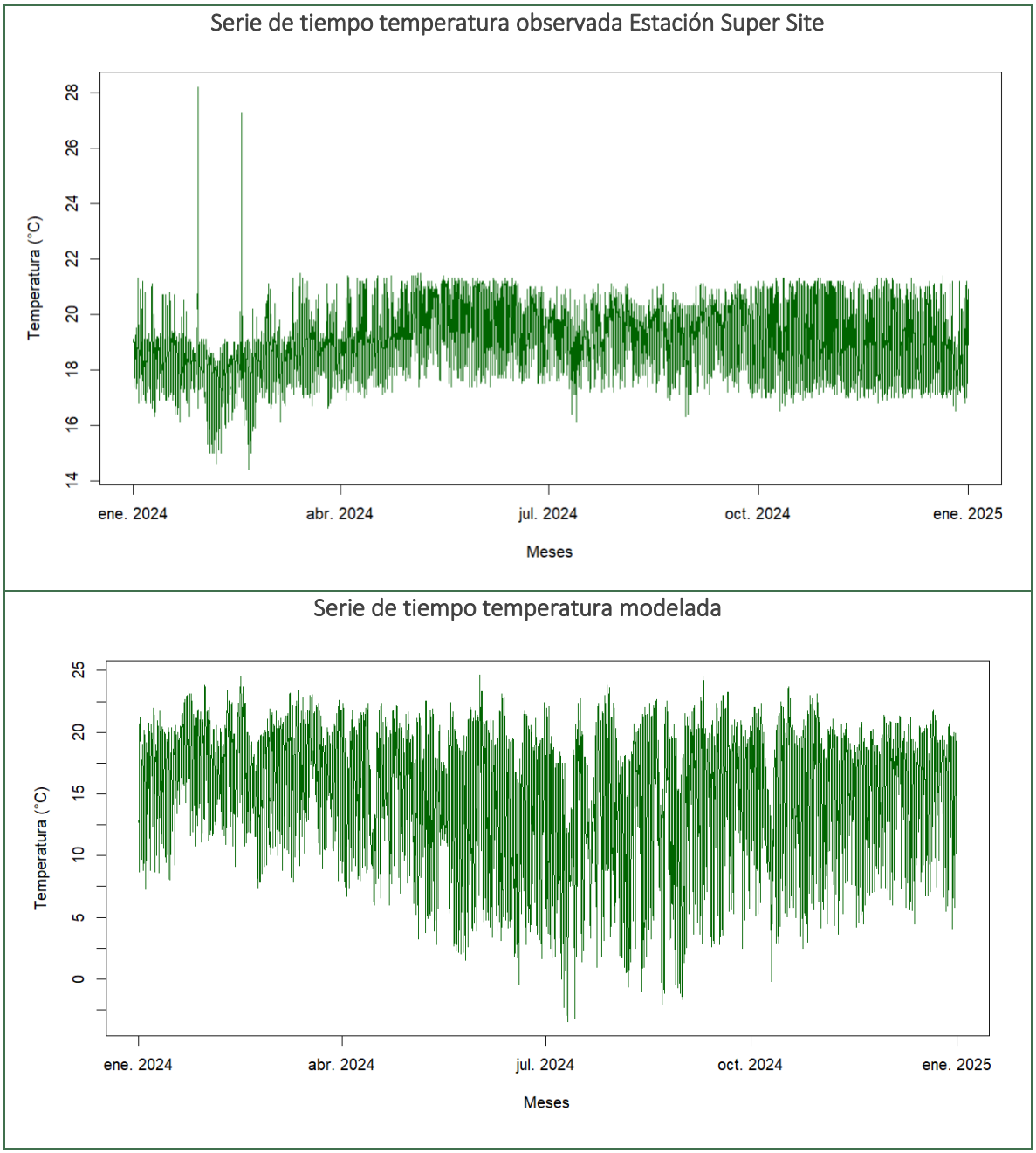
Rosa de los vientos observada Estación Super Site



Rosa de los vientos modelada



En relación a la serie de tiempo de la temperatura observada y modelada, se aprecian que la serie observada presenta un comportamiento más estable, con un rango de temperatura más acotado, en comparación con el modelo, el cual muestra una dinámica mucho más activa, con una mayor amplitud térmica y marcada estacionalidad. Esto sµgiere que el modelo está sobreestimando significativamente la variabilidad de temperatura.



8.2 Análisis cuantitativo

Según establece la "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), el análisis cuantitativo se debe realizar calculando como mínimo las métricas estadísticas del sesgo (error medio o BIAS), error absoluto medio (MAE) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Tanto BIAS como MAE son estimadores de la diferencia entre el valor modelado y observado de un mismo fenómeno, en este caso meteorológico. De igual forma, RMSE es un estimador de la frecuencia de las diferencias entre los valores observados y modelados, siendo especialmente sensible a los valores atípicos, por lo tanto, a mayor diferencia entre estos valores menor será el grado de ajuste de este estadístico.

Adicionalmente, la "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023), recomienda incorporar el coeficiente de correlación (r), que corresponde a una medida de la correlación lineal entre dos conjuntos de variables, siendo para este caso, los valores modelados y observados.

A continuación, se presentan los parámetros estadísticos calculados entre los valores observados de velocidad del viendo y los valores modelados.

Tabla 16. Análisis de incertidumbre cuantitativo velocidad del viento

Estadístico	Valor	Valor aceptable según "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023).	Cumplimiento
BIAS	0,52 (m/s)	[-2,5 ; 2,5] (m/s)	Cumple
MAE	1,24 (m/s)	≤3 (m/s)	Cumple
RMSE	1,61 (m/s)	≤3,5 (m/s)	Cumple
Coeficiente de correlación (r)	0,62	>0,6	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se establece que las diferencias entre valores modelados y observados de velocidad del viento están dentro de un rango aceptable, considerando que los estadísticos BIAS, MAE y RMSE presentan valores por debajo de los 1,61 m/s. Adicionalmente. se observa un coeficiente de correlación de 0,62 entre valores modelados y observados, lo que permite concluir que el modelo WRF se ajusta satisfactoriamente a los valores observados en cuanto a la velocidad del viento.

Adicionalmente, a continuación, se presenta el análisis de la temperatura de los parámetros estadísticos calculados entre los valores observados y modelados.

Tabla 17. Análisis de incertidumbre cuantitativo velocidad del viento

Estadístico	Valor	Valor aceptable según "Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA" (SEA, 2023).	Cumplimiento
BIAS	-3,73 (°C)	[-4 ; 4] (°C)	Cumple
MAE	4,0 (°C)	≤4 (°C)	Cumple
RMSE	4,3 (°C)	≤ 4,5 (°C)	Cumple
Coeficiente de correlación (r)	0,46	> 0,8	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al análisis cuantitativo de la temperatura, si bien el coeficiente de correlación es de 0,46, indicando una captura moderada de la tendencia temporal, los estadísticos de error (BIAS, MAE y RMSE) se mantienen por debajo de los 4,3 °C. Esto demuestra que, en términos de magnitud, las diferencias son reducidas, permitiendo concluir que el modelo WRF ofrece un ajuste aceptable a los valores observados de temperatura.

9 Evaluación de impactos

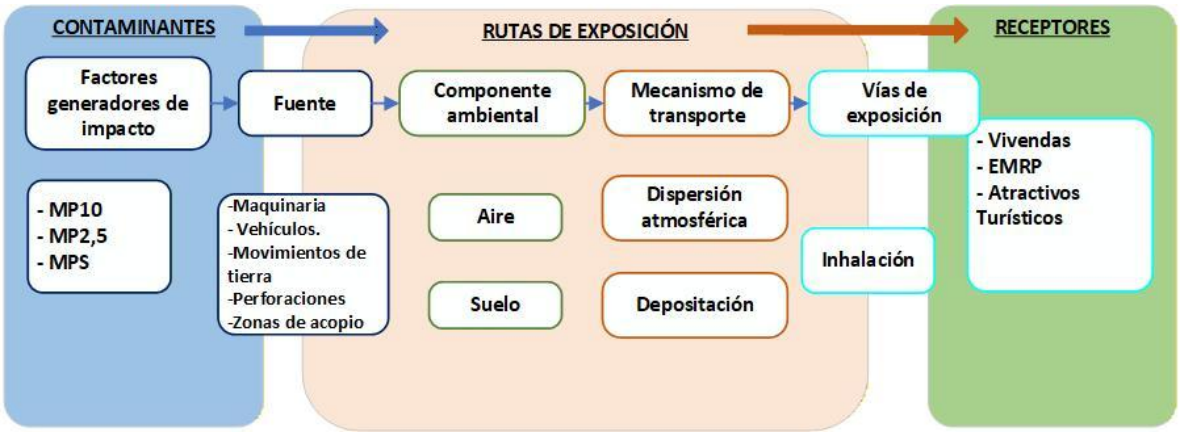
9.1 Evaluación de impactos sobre la salud de la población

Siguiendo los lineamientos establecidos en la "Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Riesgo para la Salud de la Población en el SEIA" (SEA, 2023), se procede a realizar un análisis de los aportes del Proyecto, para determinar si generan un incremento significativo en las concentraciones de material particulado en el área de influencia.

Ruta de exposición:

Los contaminantes serán emitidos a la atmósfera directamente desde la fuente de generación, ya sea por alguna actividad de movimiento de tierra, o mediante el funcionamiento de algún vehículo o maquinaria que los ocasione. Los contaminantes se transportarán a través de la atmósfera, pudiendo sedimentar si se dieran las condiciones. Los puntos de exposición de esos contaminantes se encontrarán dentro de los límites del área del Proyecto, además de las rutas externas de transporte. La vía de exposición de estos contaminantes es por inhalación, y la población receptora corresponde a estaciones de calidad del aire con representatividad poblacional y atractivos turísticos.

Figura 31. Modelo conceptual



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la comparación de las emisiones del Proyecto con las normas de calidad primaria vigentes y secundarias de referencia.

Tabla 18. Comparación material particulado con normas de calidad primaria y secundaria

Receptor	Tipo Receptor	MP10 (µg/m³)		% DS N°12/2022 MMA		MP2,5 (µg/m³)		% DS N°12/2012 MMA		MPS (mg/m²dia)	Ordenanza Confederación Suiza
		24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	Anual	30 días
R1	Humano	0,0282	0,009	0,02%	0,02%	0,0046	0,0015	0,01%	0,01%	0,00	0,00%
R2	Humano	0,0284	0,0092	0,02%	0,02%	0,0046	0,0015	0,01%	0,01%	0,00	0,00%
R3	Humano	0,0302	0,0104	0,02%	0,02%	0,0050	0,0017	0,01%	0,01%	0,00	0,00%
R4	Atractivo Turístico	0,0358	0,0134	0,03%	0,03%	0,0059	0,0022	0,01%	0,01%	0,00	0,00%
R5	Atractivo Turístico	0,0365	0,0132	0,03%	0,03%	0,0060	0,0022	0,01%	0,01%	0,00	0,00%
R6	Atractivo Turístico	0,0239	0,008	0,02%	0,02%	0,0039	0,0013	0,01%	0,01%	0,00	0,00%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Tabulación de impactos en Estaciones de calidad del aire año 2024

Contaminante	Receptor	Métrica	Condición o línea de base (µg/m³)	Aporte Proyecto	Concentración final (µg/m³)	Norma (µg/m³)	% de la Norma (µg/m³)
MP2,5	EMRP Bomberos R3	MP2,5 Anual (µg/m³)	13,4	0,0017	13,4017	20	67%
		MP2,5 P98 24h (µg/m³)	31,1	0,005	31,105	50	62%
MP10	EMRP Gobernación R2	MP10 Anual (µg/m³)	31,1	0,0092	31,1092	50	62%
		MP10 P98 24h (µg/m³)	35	0,0284	35,0284	130	27%
MP10	EMRP Super Site R1	MP10 Anual (µg/m³)	39,1	0,009	39,109	130	30%
		MP1 P98 24h (µg/m³)	64,9	0,0282	64,9282	130	50%
MP2,5		MP2,5 Anual (µg/m³)	39,1	0,0015	39,1015	20	196%
		MP2,5 P98 24h (µg/m³)	81,4	0,0046	81,4046	50	163%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la modelación de dispersión atmosférica indican que el material particulado generado durante la fase de operación del Proyecto es de baja magnitud El receptor donde se presentarán mayores concentraciones de material particulado será R5, donde la concentración máxima en 24h de MP10 será de 0,0365 µg/m³ y un total de 0,0132 µg/m³ anual, lo que representa menos del 1% de los límites establecidos por el D.S. N°12/22 (MMA). Respecto al MP2,5, el aporte del Proyecto en el mismo receptor equivale apenas al 0,03% del límite anual y solo el 0,004% del límite en 24 horas (D.S. N°12/11 MMA). Por lo tanto, las emisiones individuales del Proyecto no superan los umbrales de las normas de calidad primaria del aire y no representan un riesgo para la salud de la población.

Al realizar la suma de impactos, considerando la línea de base, se concluye que el Proyecto no genera una superación de las normas de calidad del aire para MP10. No obstante, se registra un estado de saturación para MP2,5 en la estación Super Site, alcanzando un 196% respecto a la norma anual y un 163% en la norma de 24 horas. Esta superación responde a que la zona ya presenta una saturación preexistente, tal como se constató en la Caracterización meteorológica del área del Proyecto (Sección 4 de este documento). Al respecto se realizará un análisis de significancia de las emisiones del proyecto en la zona identificada como saturada.

9.2 Análisis de significancia de MP10 y MP2.5 en Zonas Saturadas

Se hará un análisis de las concentraciones de contaminantes considerando el estado actual de la zona, la cual si bien no ha sido declarada como Zona saturada se evidencia un estado de saturación para MP2,5 en el año 2024 en la Estación Super Site.

Al respecto, la "Guía para la Evaluación Ambiental del Riesgo para la Salud de la Población (segunda edición)" (SEA, 2023) señala que el hecho de que exista un área con riesgo preexistente (zona saturada), no significa que se generen de forma automática los ECC del artículo 11, letra a), de la Ley N°19.300 sino que, dicho escenario debe ser considerado por el titular y se debe realizar el análisis de significancia para el contaminante respectivo. Por lo tanto, con el fin de determinar si se genera un aumento significativo en las emisiones atmosféricas respecto al riesgo preexistente en las concentraciones de MP2,5 anual y MP2.5 en 24 horas, se analizará el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5" (SEA, 2023).

A continuación, se presenta el análisis de significancia de las emisiones atmosféricas para el año 1 del Proyecto, el cual corresponde al año de mayor emisión y contempla el primer año de la fase de operación, por lo tanto, se evaluará el escenario considerando los valores de significancia para el aumento de concentraciones de MP2,5 sobre receptores humanos para impactos con una duración mayor o igual a 3 años en zonas que sobrepasen el valor de la norma, señalados en el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5" (SEA, 2023), para determinar si el Proyecto genera un aumento en el riesgo preexistente:

Tabla 20. Análisis de significancia Zona saturada

Zona Saturada	Contaminante Saturado	Receptor	Concentración proyecto (µg/m³)	Valores de significancia para el aumento de concentraciones con una duración mayor o igual a 3 años (µg/m³)	Resultado	Conclusión
D.S N°21/2012 del MMA	MP2,5 24 horas	R1	0,0046	1,71	MP2,5 en 24 h < 1,71 µg/m³ en todos los receptores	El Proyecto genera aportes no significativos en las concentraciones de MP2,5 en 24 h.
		R2	0,0046			
		R3	0,0050			
		R4	0,0059			
		R5	0,0060			
		R6	0,0039			
	M2,5 Anual	R1	0,0015	0,33	MP2,5 Anual < 0,33 µg/m³ en todos los receptores	El Proyecto genera aportes no significativos en las concentraciones de MP2,5 anual.
		R2	0,0015			
		R3	0,0017			
		R4	0,0022			
		R5	0,0022			
		R6	0,0013			

Fuente: Elaboración propia en base a Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5 (SEA, 2023).

Por lo tanto, se establece que el Proyecto no genera un aumento en el riesgo preexistente de los contaminantes atmosféricos en estado de saturación (MP2,5 en 24 hora y MP2,5 anual) ya que no sobrepasa los niveles de significancia para MP2,5 en Zonas saturadas. Por consiguiente, se concluye que el Proyecto no genera un aumento en el riesgo preexistente del contaminante MP2,5 debido a que se cumplen los límites establecidos en el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5" (SEA, 2023), por lo que el Proyecto no aumentará de manera significativa los niveles de concentración de MP2,5 a los que se encuentra expuesta la población emplazada en la zona saturada.

Considerando entonces que la evaluación de la significancia de las emisiones de MP2,5 resulta menor a los valores indicados en el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5" (SEA, 2023), entonces se descarta que las emisiones asociadas a los años posteriores de operación y cierre del Proyecto puedan impactar de manera significativa a la población.

En conclusión, se descarta que el Proyecto genere un riesgo para la salud de la población en base a los criterios definidos en el artículo 5° del Reglamento del SEIA, dado que no se genera superación de los valores de las concentraciones y períodos establecidos en las normas primarias de calidad ambiental vigentes, además el aumento que se genera en los contaminaste con riesgo preexistente no es significativo.

Adicionalmente, se descarta que el Proyecto genere efectos, características o circunstancias de la letra a) del artículo 11 de la Ley N°19.300, debido a que:

- El Proyecto no genera la superación de los valores de concentración y períodos establecidos en normas primarias de calidad ambiental nacional.
- El Proyecto no genera un aumento del riesgo preexistente de los contaminantes atmosféricos.

9.3 Evaluación de impactos sobre la calidad del aire, flora y vegetación, fauna, aguas superficiales y suelo

A continuación, se procede a realizar un análisis de los aportes del proyecto en su etapa de operación, para determinar si el proyecto generará efectos adversos significativos sobre la calidad del aire, flora y vegetación, fauna, aguas superficiales y suelo, según los lineamientos establecidos en la "Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables" (SEA, 2022).

La siguiente Tabla presenta una lista de potenciales impactos que el Proyecto puede generar o presentar sobre la calidad del aire.

Tabla 21. Potenciales impactos sobre componente calidad del aire

Recurso	Impacto	Posibles impactos
Aire	Impactos en la calidad del aire	• Posible aumento en la concentración de material particulado en el área de influencia.
	Impacto en la calidad del aire que ocasiona impactos sobre otro recurso natural renovable	• El impacto en la calidad del aire producto del aumento de concentraciones de contaminantes, ocasionar impactos sobre ciertas poblaciones de especies de flora y fauna, así como también sobre la calidad del suelo y cultivos. • El impacto en la calidad del aire producto del aumento de concentraciones de material particulado sedimentable puede producir depositación de contaminantes en la vegetación.
	Impacto en un recurso natural renovable que causa impacto en otros componentes del artículo 11 de la Ley 19.300	• Un impacto sobre la calidad del aire, debido a las emisiones atmosféricas del proyecto, puede generar riesgo para la salud de la población, señalado en la letra a) del artículo 11 de la Ley N° 19.300. • Un impacto sobre la calidad del aire, debido a las emisiones atmosféricas del proyecto, puede producir depositación de contaminantes en la vegetación utilizada como sustento económico de grupos humanos, ocasionando una alteración en los sistemas de vida y costumbres de dicho grupo.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la evaluación de los posibles impactos identificados en la Tabla anterior.

Tabla 22. Evaluación de impactos

Recurso	Potencial impacto	Evaluación cualitativa	Evaluación cuantitativa
Aire	Impactos en la calidad del aire	Las emisiones de Material Particulado (MP10, MP2.5 y MPS) que generará el Proyecto no ocasionarán un impacto significativo sobre la capacidad del aire, para mantener las funciones de procreación, reproducción, crecimiento, transformación o restablecimiento de recursos naturales, debido a que las normas de calidad primarias y secundarias no se ven sobrepasadas con las emisiones del Proyecto durante el año de mayor emisión (año 1), que comprende la fase de operación del Proyecto. Adicionalmente es importante destacar que las mayores tasas de emisión se generarán durante el primer año de la fase de operación del Proyecto.	Las emisiones que generará el Proyecto representan menos del 1% de los límites establecidos en las normas de calidad primaria para material particulado fino y grueso en todos los receptores identificados, y menos del 1% de las normas de calidad secundaria del aire para MPS.
	Impacto en la calidad del aire que ocasiona impactos sobre otro recurso natural renovable	Se establece que las emisiones partículas que generará el Proyecto (MP10, MP2.5 y MPS), no ocasionarán un impacto significativo sobre la vegetación, cultivos cercanos, cursos de agua, flora, fauna u otros recursos naturales de la zona debido a que las normas de calidad secundarias utilizadas como referencia (Norma Confederación Suiza), no se ven sobrepasadas con las emisiones del Proyecto, considerando que las normas de calidad secundaria apuntan a proteger los recursos naturales. Por lo tanto, se puede concluir que, a nivel de calidad del aire, el Proyecto no genera un impacto significativo en la calidad de los recursos naturales del área de influencia. Adicionalmente es importante destacar que las mayores tasas de emisión se generarán durante el año 1, que comprende el primer año de la fase de operación del Proyecto.	En los receptores correspondientes a recursos naturales las emisiones de MPS que generará el Proyecto representan menos del 1% de los límites establecidos en la norma de calidad secundaria del aire. Por lo tanto, no se ocasiona un impacto significativo sobre los recursos naturales cercanos.
	Impacto en un recurso natural renovable	Se establece que las emisiones partículas que generará el Proyecto (MP10, MP2.5 y MPS), no ocasionarán un impacto significativo sobre la	En los receptores correspondientes a recursos naturales las emisiones de MPS que generará el Proyecto

Recurso	Potencial impacto	Evaluación cualitativa	Evaluación cuantitativa
	que causa impacto en otros componentes del artículo 11 de la Ley 19.300	vegetación, cultivos cercanos, cursos de agua, flora, fauna u otros recursos naturales de la zona debido a que las normas de calidad secundarias utilizadas como referencia (Norma Confederación Suiza), no se ven sobrepasadas con las emisiones del Proyecto, considerando que las normas de calidad secundaria apuntan a proteger los recursos naturales. Por lo tanto, se puede concluir que, a nivel de calidad del aire, el Proyecto no genera un impacto significativo en la calidad de los recursos naturales del área de influencia. Adicionalmente es importante destacar que las mayores tasas de emisión se generarán durante el año 1, que comprende el primer año de la fase de operación del Proyecto.	representan menos del 1% de los límites establecidos en la norma de calidad secundaria del aire. Por lo tanto, no se ocasiona un impacto significativo sobre los recursos naturales cercanos.

Fuente: Elaboración propia.

En términos de calidad y cantidad, se establece que el Proyecto no genera efectos adversos significativos en los recursos naturales mencionados: aire, flora y vegetación, fauna, aguas superficiales y suelo, considerando que las condiciones que permiten la presencia y desarrollo de especies y la funcionalidad de los ecosistemas dependientes de la calidad del aire en la zona no se ven afectadas por la presencia del Proyecto.

Además, no se produce una modificación sustancial en la composición, estructura o funcionamiento del ecosistema que impida la manifestación de los procesos e interrelaciones característicos. Esto se debe a que el Proyecto no supera los límites establecidos en las normas de calidad del aire (tanto primarias como secundarias) y las tasas de emisión del Proyecto se mantienen por debajo del 10% de dichos límites, según las regulaciones aplicables.

En consecuencia, se puede afirmar que el ecosistema original se mantiene sin cambios significativos debido a las emisiones atmosféricas generadas por el Proyecto. Por lo tanto, la ejecución del Proyecto no afecta la permanencia ni la capacidad de generación de los recursos naturales mencionados: aire, flora y vegetación, fauna, aguas superficiales y suelo. Esto implica que la disponibilidad, utilización y aprovechamiento racional futuro de dichos recursos no se ven comprometidos. Asimismo, la capacidad de regeneración y renovación de estos recursos no se ve alterada por la ejecución del Proyecto.

En resumen, se concluye que las emisiones atmosféricas generadas por el Proyecto no tienen un impacto significativo en los recursos naturales mencionados y no comprometen su disponibilidad, utilización, aprovechamiento racional ni su capacidad de regeneración o renovación.

10 Área de influencia (AI)

El área de influencia corresponde al espacio geográfico cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del Artículo 11 de la Ley N° 19.300, o bien para justificar su inexistencia (Ref. letra a) del Artículo 2 del Reglamento del SEIA).

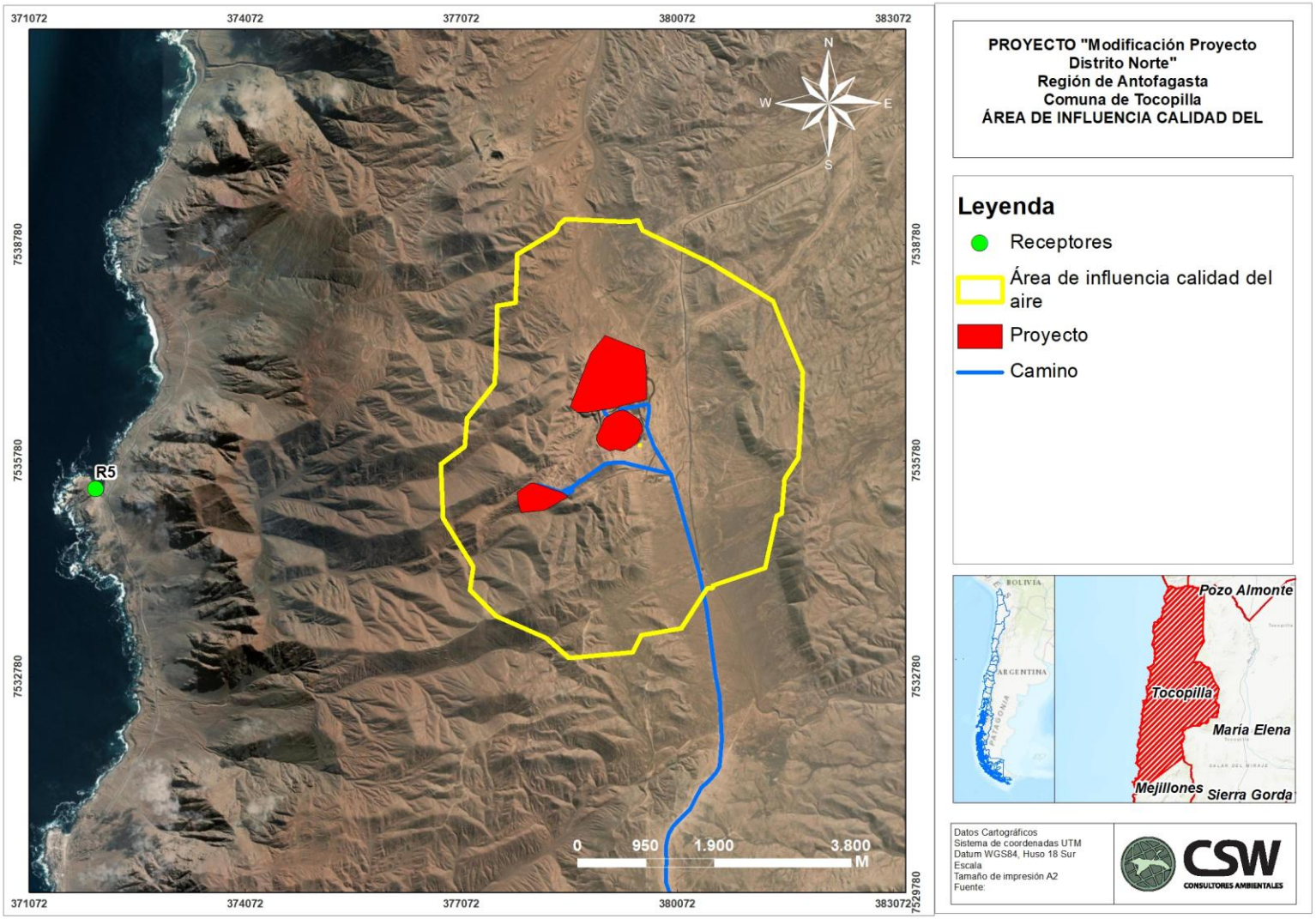
Dada esta definición, se efectuó una delimitación del área de influencia considerando los siguientes factores y criterios definidos en la "Guía Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental" (SEA, 2017) y "Guía Calidad del aire en el área de influencia de proyectos que ingresan al SEIA (SEA, 2015):

- El área de influencia debe comprender el espacio desde donde se generan las emisiones (fuente de la emisión) más el comprendido por la dispersión de contaminantes emitidos.
- Las partículas sedimentables de los contaminantes de dichas emisiones pueden depositarse en el suelo y vegetación, por lo tanto, el área de influencia de estos elementos comprende el área o espacio geográfico donde dicho material se sedimenta.
- Aporte de contaminantes debido a la operación del Proyecto, cuyos antecedentes fueron obtenidos a través de la modelación de MP10, MP2.5, y MPS.
- Distancia de receptores de interés cercanos al Proyecto.

Con todo lo anterior, se definió un Área de influencia para la componente calidad del aire asociada a la isolínea 1,3 µg/m^3 para MP10 alrededor del Proyecto, considerando que más allá de esta área las concentraciones de todos los contaminantes generados están por debajo del 1% de los límites máximos establecidos en las normativas de calidad del aire.

A continuación, se presenta una figura que detallada el Área de Influencia del Proyecto con respecto al componente calidad del aire. En el Apéndice C se presenta un kmz con esta área.

Figura 32. Área de influencia calidad del aire



Fuente: Elaboración propia.

11 Conclusiones

Se delimitó un área de influencia de la calidad del aire, con la concentración correspondiente a un 1% del valor de las normas de calidad primaria del aire para los contaminantes atmosféricos MP10, MP2,5 y MPS. Por lo tanto, el área de influencia quedó definida hasta una distancia aproximada de 2500 metros desde el perímetro del Proyecto.

Es importante mencionar que el Área de influencia definida para el Proyecto no confluye con el área de influencia de calidad del aire de proyectos con RCA favorable que no hayan sido ejecutados, por lo que no se consideran efecto acumulativo o sinérgico con otros proyectos.

Los resultados de la modelación de dispersión atmosférica indican que el material particulado generado durante la fase de operación del Proyecto es de baja magnitud. El receptor donde se presentarán mayores concentraciones de material particulado será R5, donde la concentración máxima en 24h de MP10 será de 0,0365 µg/m³ y un total de 0,0132 µg/m³ anual, lo que representa menos del 1% de los límites establecidos por el D.S. N°12/22 (MMA). Respecto al MP2,5, el aporte del Proyecto en el mismo receptor equivale apenas al 0,01% del límite anual y solo el 0,01% del límite en 24 horas (D.S. N°12/11 MMA). Por lo tanto, las emisiones individuales del Proyecto no superan los umbrales de las normas de calidad primaria del aire y no representan un riesgo para la salud de la población, ya que representan menos del 1% de los umbrales establecidos en las normas de calidad primaria del aire para material particulado.

Adicionalmente, al realizar la suma de impactos, considerando la línea de base, se concluye que el Proyecto no genera una superación de las normas de calidad del aire para MP10. No obstante, se registra un estado de saturación para MP2,5 en la estación Super Site. Esta superación responde a que la zona ya presenta una saturación preexistente. Al respecto se realizó un análisis de significancia de las emisiones del Proyecto en la zona identificada como saturada, lo cual determinó que el Proyecto no genera un aumento en el riesgo preexistente de los contaminantes MP2,5 debido a que se cumplen los límites establecidos en el "Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5" (SEA, 2023), por lo tanto, el Proyecto no aumentará de manera significativa los niveles de concentraciones de MP2,5 a los que se encuentra expuesta la población.

Respecto a la depositación de MPS, se establece que las emisiones del Proyecto representan menos del 1% de las normativas secundarias de referencia de calidad del aire para MPS, de manera que el Proyecto no generará un impacto significativo debido a la depositación de material particulado y no afectará la vegetación ni cultivos cercanos, ni flora o fauna presente en el área de influencia.

Por lo tanto, se descarta que el Proyecto genere un riesgo para la salud de la población en base a los criterios definidos en el artículo 5° del Reglamento del SEIA, dado que no se genera superación de los valores de las concentraciones y períodos establecidos en las normas primarias de calidad ambiental vigentes, además el aumento que se genera en los contaminaste con riesgo preexistente (MP 2,5) no es significativo.

12 Bibliografía

- Cámara Chilena de la Construcción CCHC (s.f.). *Manual de la construcción limpia*, Tema N° 2 Control de polvo en obras en construcción.
- Caterpillar. (2017). *Caterpillar Performance Handbook.*
- Confederación Suiza. (1993). *Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire.*
- COPEC. (2021). *Especificaciones Diesel.* Recuperado el 1 de abril de 2021, desde: https://ww2.copec.cl/combustibles/products/diesel-ultra.
- Cordillot, F. & Klaus, G. (2011). *Gefährdete Arten in der Schweiz. Synthese Rote Listen, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern.*
- Decreto N°12/2010, Establece Norma de calidad del aire para MP2.5, Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, 9 de mayo de 2011, Santiago, Chile.
- Decreto N°22/2010, Establece norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso (SO2), Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Diario Oficial de la República de Chile, 16 de abril de 2010, Santiago, Chile.
- Decreto N°114/2002, Establece Norma de calidad del aire para NO2, Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Diario Oficial de la República de Chile, 6 de marzo de 2003, Santiago, Chile.
- Decreto N°115/2002, Establece Norma de calidad del aire para CO, Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Diario Oficial de la República de Chile, 10 de septiembre de 2002, Santiago, Chile.
- Decreto N°104/2018, Establece Norma de calidad del aire para SO2, Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, 16 de mayo de 2019, Santiago, Chile.
- Decreto N°12/2022, Establece Norma de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, 4 de junio de 2022, Santiago, Chile.
- Decreto N°1074/2018. Aprueba la reglamentación de la Ley 5965 de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Deroga el DEC.3395/96. Designa autoridad de aplicación al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPD). Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Boletín Oficial de la República Argentina, 5 de octubre de 2018, Buenos Aires, Argentina.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs [DEFRA]. (2014). *What are the causes of air Pollution. United Kingdom Government.*
- Díaz, V. y Páez C. (2006). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras.* Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. Revista Acta Nova Vol.3, Nro 2.
- EMEP/EEA. (2019). *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, Ch. 1.A.4 Non Road Mobile Machinery.*

- ENAP. (2022). *Petróleo Diesel Grado A1.*
- EPA. (s.f.). *AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.*
- EPA. (1996). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, 5th Edition, Ch. 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines.*
- EPA. (1998a). *"Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, 5th Edition, Ch.11.9 Western surface coal mining".*
- EPA. (1998b). *Screening procedures for estimating the air quality impact of stationary sources,*
- EPA. (2000). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, 5th Edition, Ch.3 Stationary Internal Combustion Sources.*
- EPA. (2002). *Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling.*
- EPA. (2006a). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, 5th Edition, Ch.13.2.2 Unpaved Roads.*
- EPA. (2006b). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42, 5th Edition, Ch.13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles.*
- EPA. (2011). *Compilation of air emission factor, AP-42": Chapter 13, Section 13.2.1 "Paved Road".*
- Explorador Eólico. (2021).
- Figueruelo, J. y Marino, M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*
- Google Earth Pro (2023). *Perfiles de elevación.*
- Grossi, M., Gutierréz, D. & Deluchi, G. (2013). *Una mirada sobre el estado actual de la conservación de la flora Argentina.*
- INN Chile. (2000). *NCh 353.Of2000 "Construcción - Cubicación de obras de edificación – Requisitos.*
- Koppen, W. (1918). *Clasificación de climas según temperatura, precipitación y ciclo estacional.*
- Lakes Environmental. (2006). *CALPUF View Leading interface for puff dispersion.*
- MMA. (2017). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas.*
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.*
- Rodriguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, D., Cavieres, L., Finot, L., Fuentes, N., Kiessling, A., Mihoc, M., Pauchard, A., Ruiz, E., Sanchez, P. & Marticorena, A. (2018). *Catálogo de las plantas vasculares de Chile.*
- SEA. (2022). *Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables.*

- SEA, (2022). *Criterio de Evaluación en el SEIA: Objetos de protección.*
- SEA. (2023). *Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA.*
- SINCA. (2023). Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, información histórica.
- Vargas, C. (2011). *Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado sobre la salud humana.* Ministerio de Salud del Gobierno de Chile.