DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

INCORPORACIÓN LÍNEA DE TRANSMISIÓN SE ALFA SOLAR-SE KIMAL 2X220 KV

CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

Noviembre 2026

Sebastián Delgado/ Diego Chiffelle	**Paulina Brugerolles**	**Fernando Valdés**
ELABORADO POR	**REVISADO POR**	**APROBADO POR**
Especialista Calidad del Aire	**Jefe de Proyectos**	**Gerente Área de Negocios Ambientales**

INDICE DE CONTENIDOS

2.17. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA 5
2.17.1. INTRODUCCIÓN 5
2.17.2. OBJETIVO 6
2.17.2.1. Objetivo General 6
2.17.2.2. Objetivo Específico 6
2.17.3. ANTECEDENTES PDA 7
2.17.4. METODOLOGÍA.....9
2.17.4.1. Área de Influencia..... 9
2.17.4.1.1. Componente de Calidad de Aire 9
2.17.4.1.2. Componente de Clima y Meteorología 10
2.17.4.2. Meteorología y Línea de Base 10
2.17.4.2.1. Recopilación de Información..... 11
2.17.4.2.2. Procesamiento y Validación de Datos..... 11
2.17.4.2.3. Normas de Calidad de Aire..... 12
2.17.5. CONSOLIDACIÓN DE DATA METEOROLOGICA Y DE CALIDAD DEL AIRE.....12
2.17.6. RESULTADOS 16
2.17.6.1. Clima 16
2.17.6.1.1. Clima regional..... 16
2.17.6.1.2. Efecto del Cambio Climático 21
2.17.6.2. Amenazas Climáticas 21
2.17.6.3. Meteorología 23
2.17.6.3.1. Estación Hospital 23
2.17.6.3.1.1. Rosa de Viento 23
2.17.6.3.1.2. Series de Tiempo..... 24
2.17.6.3.1.3. Variabilidad Temporal..... 26
2.17.6.3.1.4. Ciclo Estacional 28
2.17.6.4. Calidad de Aire 30
2.17.6.4.1. Estación Hospital 30
2.17.6.4.1.1. MP_{10} Continuo (Beta)..... 30
2.17.6.4.1.2. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)..... 32
2.17.6.4.2. Estación Iglesia 34
2.17.6.4.2.1. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)..... 34
2.17.6.4.3. Estación Sur 36
2.17.6.4.3.1. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)..... 36
2.17.7. CONCLUSIONES 39
2.17.8. BIBLIOGRAFÍA.....41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área del plan para la descontaminación ambiental de Maria Elena, Proyecto Línea de Alta Tensión Alfa Solar – Subestación Kimal. 7
Figura 2. Área de Influencia del componente de calidad del aire. 10
Figura 3. Ubicación de las estaciones de meteorología y calidad del aire de la red de María Elena y emplazamiento del Proyecto. 13
Figura 4. Relación precipitación-temperatura en Calama. 16
Figura 5. Perfil temporal en verano e invierno de la temperatura en Calama. 17
Figura 6. Distribución de la temperatura media anual en la región de Antofagasta. 18
Figura 7. Distribución de la precipitación anual en la región de Antofagasta. 19
Figura 8. Clasificación climática de Köppen para la región de Antofagasta. 20
Figura 9. Promedio de la temperatura máxima diaria anual en María Elena, periodo 1970–2069. 21
Figura 10. Precipitación Acumulada anual en María Elena, periodo 1970–2069. 22
Figura 11. Velocidad del Viento media anual en María Elena, periodo 1970–2069. 23
Figura 12. Rosa de los vientos, estación Hospital, año 2024. 24
Figura 13. Serie de tiempo de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024. 25
Figura 14. Serie de tiempo de la temperatura, estación Hospital, año 2024. 25
Figura 15. Serie de tiempo de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024. 26
Figura 16. Serie de tiempo de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024. 26
Figura 17. Perfiles temporales promedio de la temperatura, estación Hospital, año 2024. 27
Figura 18. Perfiles temporales promedio de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024. 27
Figura 19. Variabilidad estacional y horaria de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024 28
Figura 20. Variabilidad estacional y horaria de la temperatura, estación Hospital, año 2024 ... 29
Figura 21. Variabilidad estacional y horaria de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024 29
Figura 22. Serie de tiempo de las concentraciones horarias de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024. 30
Figura 23. Variación temporal de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024. 31
Figura 24. Ciclo estacional de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024. 32
Figura 25. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024. 32
Figura 26. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024. 33
Figura 27. Variación temporal de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024 34
Figura 28. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Iglesia, periodo 2022–2024. 34
Figura 29. Variación temporal de MP_{10} (HI-VOL), estación Iglesia, Periodo 2022–2024. 35
Figura 30. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Iglesia, periodo 2022–2024. 36
Figura 31. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024. 37

Figura 32. Variación temporal de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024. 37
Figura 33. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024..... 38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de emisión anual máxima de MP_{10} establecido en el PDA de María Elena.8
Tabla 2. Normas primarias de calidad del aire para material particulado MP_{10}. 12
Tabla 3. Características de las estaciones de monitoreo de la red de María Elena. 14
Tabla 4. Disponibilidad de datos de monitoreo de MP_{10}, año 2024. 15
Tabla 5. Disponibilidad de datos meteorológicos horarios de la estación Hospital, año 2024. . 15

2.17. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

2.17.1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto de Parque Fotovoltaico Alfa-Kimal, bajo la administración Atlas Renewable Energy S.A.; se emplaza en la comuna de María Elena, provincia de Tocopilla, Región de Antofagasta, al norte de la Ruta 24 y al oriente de la Ruta 5. Entre sus principales obras se consideran una línea de transmisión de 2x220 [kV], una subestación elevadora de 220 [kV] y un sistema de almacenamiento de energía en batería (BESS).

En relación con el contexto normativo de calidad del aire del área de emplazamiento del Proyecto, cabe señalar que la comuna de María Elena comprende una zona declarada saturada por material particulado respirable (MP_{10}), correspondiente a las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia, mediante el Decreto Supremo N°1.162 del Ministerio de Salud (1993). Para dicha zona se estableció un Plan de Descontaminación Atmosférica mediante el Decreto Supremo N°164 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (1998).

En este contexto, se presenta en primer lugar la ubicación del Proyecto y los criterios para la definición del área de influencia preliminar de calidad del aire, junto con la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorología. Posteriormente, se realiza una caracterización del clima en la zona de estudio mediante revisión bibliográfica y los registros locales de temperatura, junto con la clasificación climática de Köppen-Geiger. Por otra parte, se realiza una descripción de la situación meteorológica a partir de la estación meteorológica Hospital, para lo cual las variables analizadas corresponden a velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

La línea de base de calidad del aire se realiza considerando el material particulado respirable MP_{10}, único contaminante monitoreado en la red de calidad del aire de María Elena, a partir de las mediciones gravimétricas discretas (muestreadores de alto volumen, Hi-Vol) registradas en las estaciones Hospital, Iglesia y Sur durante el periodo 2022–2024, y de las mediciones continuas (monitor de atenuación beta) de la estación Hospital, solo para el año 2024.

A partir del análisis de las estaciones de monitoreo se evalúa la situación de la calidad del aire respecto de la norma primaria de calidad ambiental para MP_{10} vigente (D.S. N°12/2021 del Ministerio del Medio Ambiente), con el objeto de establecer la situación base en términos de calidad del aire en el área donde se emplaza el Proyecto.

2.17.2. OBJETIVO

2.17.2.1. Objetivo General

Analizar la meteorología y calidad del aire en el área de estudio del Proyecto, el cual se emplaza en la Región de Antofagasta para el periodo 2022-2024.

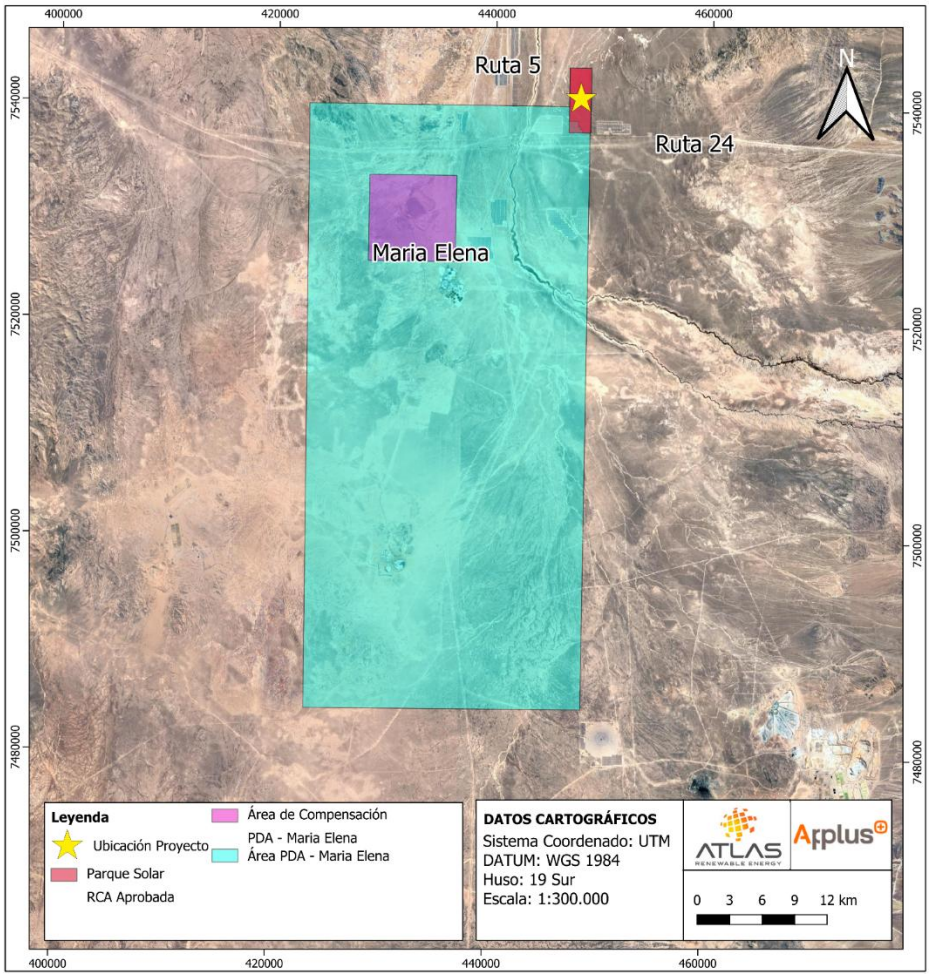
2.17.2.2. Objetivo Específico

- Establecer un Área de Influencia preliminar con las condiciones de calidad del aire y meteorológicas locales de la zona en estudio.
- Construir una base de datos con las condiciones de calidad de aire y meteorológicas locales de la zona de estudio
- Caracterizar la situación climática de la zona de estudio, específicamente en la Región de Antofagasta, donde se emplazan las actividades del Proyecto
- Analizar la línea de base respecto a las variables de meteorología registradas en las estaciones de monitoreo, identificando la situación meteorológica en la zona de estudio donde se realiza la operación.
- Analizar la línea de base respecto a las variables de calidad del aire registradas en la estación de monitoreo, identificando la situación del material particulado en la zona de estudio donde se realiza el proyecto.

2.17.3. ANTECEDENTES PDA

La comuna de María Elena, en la que se emplaza el Proyecto, cuenta con una zona declarada saturada por material particulado respirable (MP_{10}), correspondiente a las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia, establecida mediante el Decreto Supremo N°1.162 del Ministerio de Salud (MINSAL), promulgado el 11 de junio de 1993 y publicado en el Diario Oficial el 10 de agosto de 1993. Posteriormente, mediante el Decreto Supremo N°164 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), promulgado el 27 de octubre de 1998 y publicado en el Diario Oficial el 4 de mayo de 1999, se estableció el Plan de Descontaminación para las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia, orientado a la reducción de las emisiones de material particulado de las fuentes industriales asociadas a la actividad salitrera de dichas localidades. De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2014), el plan se encontraba vigente e identificado para su revisión.

Figura 1. Área del plan para la descontaminación ambiental de Maria Elena, Proyecto Línea de Alta Tensión Alfa Solar – Subestación Kimal.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la compensación de emisiones, al artículo 6 del Decreto Supremo N°164/1998 del MINSEGPRES, que establece que las nuevas fuentes emisoras de material particulado respirable MP10 que se instalen al interior del área definida deberán compensar el 120% de sus emisiones

con fuentes existentes dentro de dicha zona. El decreto no fija umbrales de emisión, por lo que toda fuente nueva de MP10, dentro del área está afecta. En su artículo 3 se establece que la planta, incluyendo las operaciones de transporte de caliche, chancado y clasificación, yoduro y neutralización, entre otras actividades deberá limitar sus emisiones de material particulado respirable (MP10) según el siguiente cronograma aplicable solo para Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM). Por lo tanto, este cronograma no es aplicable al Proyecto.

Tabla 1. Cronograma de emisión anual máxima de MP_{10} establecido en el PDA de María Elena.

Plazo	Emisión Anual Maxima de MP_{10} [t/año]
A contar del 1 de abril de 2004	900
A contar del 1 de abril de 2006	180

Fuente: Decreto 164; MINSEGPRES, 1999

Por otro lado, cabe señalar que el plan se encuentra actualmente en proceso de revisión y actualización. Este proceso fue iniciado mediante la resolución exenta N°356, de 2024, del Ministerio del Medio Ambiente (publicada en el Diario Oficial el 12 de abril de 2024), en cumplimiento de la ley N° 21.562, que exige revisar los planes de descontaminación al menos cada cinco años. En el marco de este proceso se elaboró el estudio "Inventario de Emisiones Zonas Industriales de Chile" (MMA, 2025), con año base 2023. Además, el plazo de elaboración del anteproyecto fue ampliado mediante la resolución exenta N°1864, de 2026, del Ministerio del Medio Ambiente. Debido a esto, los límites y exigencias descritos anteriormente podrán ser modificados una vez dictado el plan actualizado.

Finalmente, se determina que, si bien el Proyecto se emplaza parcialmente en el área de zona saturada de MP_{10} del PDA de María Elena, este no se encuentra en el área de compensación de emisiones. Además, según el análisis indicado en el documento: "Informe IE - Fases Const-Op-Cierre - R01" (donde se comparan las emisiones calculadas para este Proyecto y las declaradas en la RCA del Proyecto Parque Fotovoltaico Alfa Solar, Antofagasta (Resolución Exenta N°0222/2021), junto con un análisis normativo de concentraciones declaradas en la misma RCA), el Proyecto no presenta emisiones de MP_{10} significativas o que representen una influencia en la calidad del aire de la zona. Por lo tanto, el actual Proyecto no se ve afectado por la compensación de emisiones indicada para Proyectos nuevos dentro del área del PDA.

2.17.4. METODOLOGÍA

2.17.4.1. Área de Influencia

2.17.4.1.1. Componente de Calidad de Aire

El área de influencia de calidad del aire se establece en cumplimiento de lo indicado en la "Guía para la Descripción de la Calidad del Aire en el Área de Influencia de Proyectos que Ingresan al SEIA" (SEA, 2015). Dicha delimitación asegura la cobertura integral de los elementos relevantes del entorno, considerando las características del emplazamiento comprendido en la localidad de María Elena y alrededores.

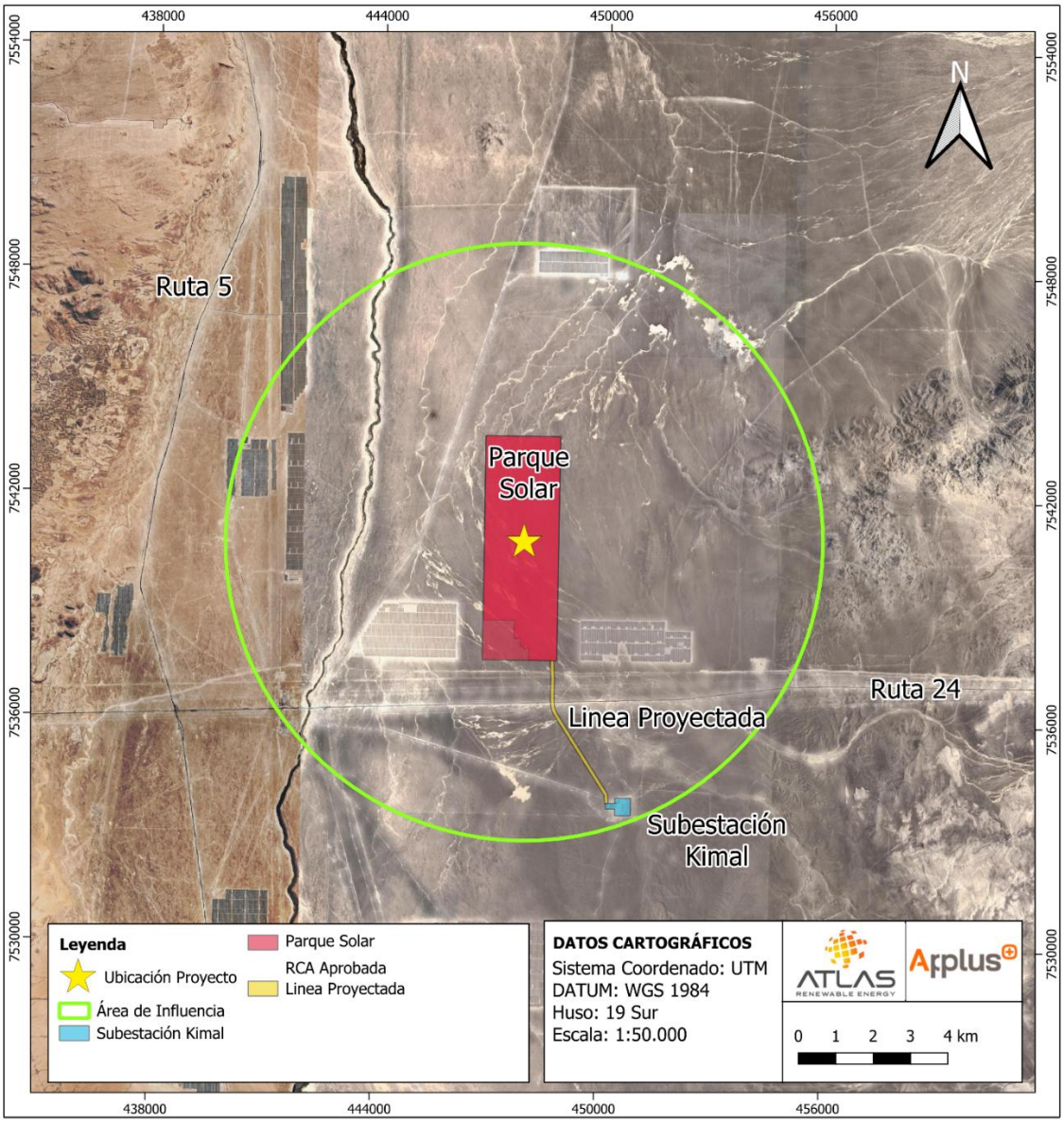
El área de influencia de calidad del aire considera los siguientes aspectos:

1. Cobertura completa de las fuentes de emisión del Proyecto, permitiendo la elaboración de un inventario exhaustivo para las etapas de construcción, operación y cierre del Proyecto.

Respecto a la determinación del área de influencia mediante la dispersión de contaminantes, esta fue descartada tras el análisis comparativo entre las emisiones calculadas para este Proyecto, y las declaradas en la RCA del Proyecto Parque Fotovoltaico Alfa Solar, Antofagasta (Resolución Exenta N°0222/2021), junto con un análisis normativos de emisiones y concentraciones para zonas saturadas indicado en la guía "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 área de influencia del componente calidad del aire para el presente Proyecto solo considera los aspectos indicados en la "Guía para la Descripción de la Calidad del Aire en el Área de Influencia de Proyectos que Ingresan al SEIA" (SEA, 2015). El análisis completo de emisiones se encuentra en el documento "Informe IE - Fases Const-Op-Cierre - R01".

A continuación, se presenta el área de influencia, considerando las fuentes de emisión del Proyecto.

Figura 2. Área de Influencia del componente de calidad del aire.



Fuente: Elaboración propia.

2.17.4.1.2. Componente de Clima y Meteorología

En el caso del componente clima y meteorología, este no influye en la determinación de un área de influencia, pues las actividades y fuentes del Proyecto no generan un impacto sobre este componente.

2.17.4.2. Meteorología y Línea de Base

Esta sección describe la metodología usada para el tratamiento de los datos para el análisis estadístico de variables meteorológicas y de calidad del aire, a partir de la información registrada en las estaciones Hospital, Iglesia, Sur para el periodo 2022-2024.

2.17.4.2.1. Recopilación de Información

El análisis de la situación climática de la zona de estudio se ha realizado a partir de información de estaciones de monitoreo en línea cercanas al Proyecto, correspondientes a datos proporcionados por las estaciones de monitoreo meteorológico y calidad de aire de SQM.
El proceso de análisis de la línea de base de meteorología y calidad de aire se realiza mediante la información entregada por las estaciones de monitoreo. La información entregada incluye variables meteorológicas de velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa para el 2024. Por otra parte, el contaminante analizado corresponde al material particulado respirable MP10 según el siguiente detalle:

- Registros minútales de la estación Hospital para el año 2024 (01-01-2024 al 31-12-2024) (datos continuos, promediados a datos horarios), con concentraciones de MP_{10} medidas en forma continua mediante atenuación beta [$\mu g/m^3N$] y las variables meteorológicas velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa. Solo la estación Hospital en el periodo indicado, cuenta con datos continuos horarios de MP_{10}. De manera similar, solo la estación Hospital cuenta con datos horarios meteorológicos, y únicamente disponibles para el año 2024.
- Concentraciones de 24 horas de MP_{10} medidas mediante muestreadores gravimétricos de alto volumen (Hi-Vol), con una frecuencia de un muestreo cada tres días (datos discretos), en las estaciones Hospital, Iglesia y Sur para los años 2022, 2023 y 2024.
- Concentraciones diarias de MP_{10} del monitor continuo (atenuación beta) de la estación Hospital para los años 2022 y 2023.

El criterio histórico establecido que califica el desempeño de las estaciones de monitoreo se basa en función del tiempo de monitoreo, el cual debe ser superior al 75%. Es decir, las estaciones de monitoreo analizadas cumplen con el criterio cuando han registrado más del 75% de los datos esperados.

2.17.4.2.2. Procesamiento y Validación de Datos

Los registros fueron sometidos a un proceso de validación y control de calidad, previo al cálculo de estadísticos, que consideró las siguientes etapas:

1. Cálculo de promedios horarios, considerando válido el promedio cuando se dispone de al menos el 75% de los registros esperados en la hora (3 de 4 registros durante el periodo comprendido en que se monitoreó MP_{10}). La dirección del viento se promedió vectorialmente.
2. Cálculo de las concentraciones de 24 horas como el promedio aritmético de los valores horarios de cada día (bloque de 00:00 a 24:00 horas).
3. Cálculo de las concentraciones mensuales como el promedio de las concentraciones de 24 horas del mes, requiriendo al menos el 75% de las mediciones programadas (días calendario para el monitor continuo y un muestreo cada tres días para el muestreador Hi-Vol), y de la concentración anual como el promedio aritmético de las concentraciones mensuales del año calendario.

4. Cálculo del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de cada año calendario.
5. Cálculo del promedio trianual como el promedio aritmético de las concentraciones anuales de tres años calendario consecutivos (2022–2024).

El procesamiento estadístico y la elaboración de gráficos se realizaron mediante la herramienta OpenAir de Rstudio.

2.17.4.2.3. Normas de Calidad de Aire

Para evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental, se analizó la línea de base con las normas primarias del aire para material particulado que se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Normas primarias de calidad del aire para material particulado MP_{10}.

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Valor Límite	Decreto	Referencia
MP_{10}	Primaria	Promedio Anual	50 [µg/$m^{3]}$	D.S. N°12/2022	MMA
		Percentil 98 Diario	130 [µg/$m^{3]}$	D.S. N°12/2022	MMA

Fuente: Elaboración propia, 2026

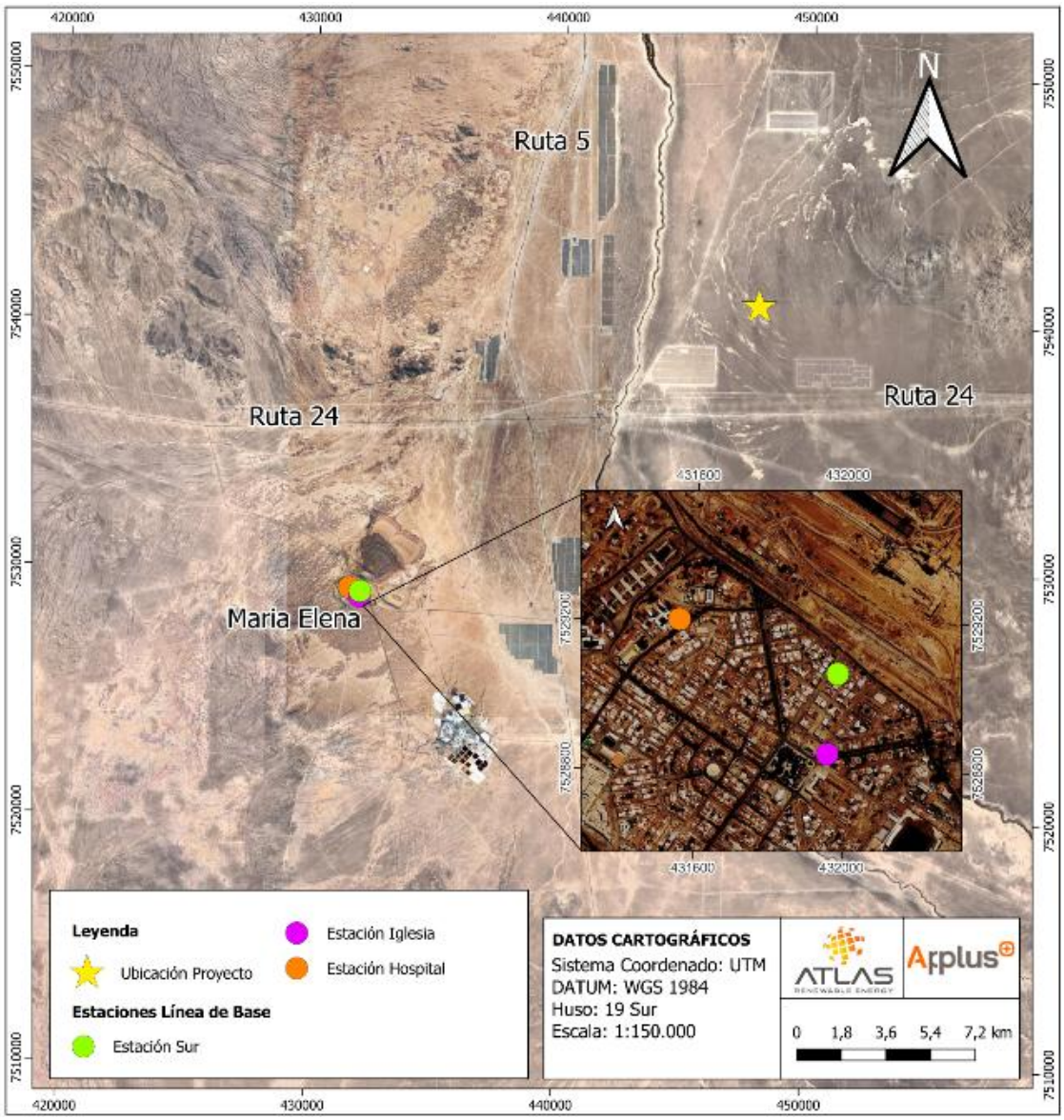
Cabe señalar que la red de monitoreo de María Elena no registra $MP_{2,5}$ ni contaminantes gaseosos (SO_2, NO_2 y CO), por lo que dichos contaminantes no forman parte de la presente caracterización de línea de base.

2.17.5. CONSOLIDACIÓN DE DATA METEOROLOGICA Y DE CALIDAD DEL AIRE

El contaminante considerado en la línea de base a partir de la información fue el MP10. Mientras que las variables meteorológicas a analizar corresponden a la velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa.

En la Figura 3 se muestra la ubicación de las estaciones de meteorología y calidad del aire de la red de María Elena, junto con el emplazamiento del Proyecto.

Figura 3. Ubicación de las estaciones de meteorología y calidad del aire de la red de María Elena y emplazamiento del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 muestra la caracterización de las estaciones de monitoreo, ubicación, parámetros medidos y métodos.

Tabla 3. Características de las estaciones de monitoreo de la red de María Elena.

Nombre de la Estación	Hospital	Iglesia	Sur
Periodo de Evaluación	2022–2024	2022–2024	2022–2024
Titular / Operador	SQM Industrial S.A.	SQM Industrial S.A.	Red María Elena
Ubicación	Localidad de María Elena	Localidad de María Elena	Localidad de María Elena
Coordenada Este [m] (UTM WGS84 19S)	431.554,00	431.956,00	431.981,00
Coordenada Norte [m] (UTM WGS84 19S)	7.529.204,00	7.528.848,00	7.529.064,00
Distancia aproximada al Proyecto [km]	20	20	20
Fecha de Inicio	01-01-2022	01-01-2022	01-01-2022
Fecha de Término	31-12-2024	31-12-2024	31-12-2024
Frecuencia de Medición	MP_{10} (Beta): horaria (2024) y diaria (2022–2023) MP_{10} Discreta (Hi-Vol): 24 h cada 3 días Meteorología: horaria (2024)	MP_{10} Hi-Vol: 24 h cada 3 días	MP_{10} Hi-Vol: 24 h cada 3 días
Tipo de Datos	Continuos y discretos	Discretos	Discretos
Contaminantes (unidad)	MP_{10} [µg/m^{3}N]	MP_{10} [µg/m^{3}N]	MP_{10} [µg/m^{3}N]
Parámetros Meteorológicos	Velocidad del viento Dirección del viento Temperatura Humedad relativa	--	--
Método de Medición	MP_{10}: atenuación beta (continuo) y gravimetría Hi-Vol (discreto) Meteorología: no informado	MP_{10}: gravimetría Hi-Vol	MP_{10}: gravimetría Hi-Vol

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4 se presenta la disponibilidad de datos de monitoreo de calidad del aire de forma anual, para cada contaminante considerado, en el periodo comprendido entre el 01 de enero del 2024 y el 31 de diciembre del 2024. También se observan los valores de promedio anual, mínimos y máximos registrados.

Para la data de MP10 discreto (Hi-Vol) de la estación Hospital, la disponibilidad de datos fue de 96,17%, 98,64% y 96,99% para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente, con concentraciones anuales de 40,7; 29,3 y 23,6 [µg/m3N], y concentraciones de 24 horas entre 5,0 y 97,9 [µg/m3N] en el periodo.

Para la data de MP10 discreto (Hi-Vol) de la estación Iglesia, la disponibilidad de datos fue de 96,17%, 97,8% y 90,42% para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente, con concentraciones anuales de 40,7; 31,3 y 25,7 [µg/m3N], y concentraciones de 24 horas entre 3,0 y 88,8 [µg/m3N] en el periodo.

Para la data de MP10 discreto (Hi-Vol) de la estación Sur, la disponibilidad de datos fue de 94,53%, 96,17% y 96,99% para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente, con concentraciones anuales de 43,0, 32,3 y 25,1 [µg/m3N], y concentraciones de 24 horas entre 5,0 y 102,1 [µg/m3N] en el periodo.

Para la data de MP10 continuo (atenuación beta) de la estación Hospital, la disponibilidad de concentraciones de 24 horas fue de 91,70 % para el año 2024, con concentración anual de 45,32 [µg/m3N]. Cabe destacar que solo la estación Hospital, para el año 2024, contaba con datos horarios continuaos de MP10, siendo así, no es posible realizar un análisis normativo del promedio trianual de estos contaminantes. Los análisis del promedio anual de MP10 presentados son solo representativos.

Tabla 4. Disponibilidad de datos de monitoreo de MP_{10}, año 2024.

Estación	Tipo de Dato	Año	Cantidad de días válidos (n)	Porcentaje de datos validos (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
Hospital	Discreto	2022	117	96,17	40,7	12,7	97,9
Hospital	Discreto	2023	120	98,64	29,3	9,1	59,0
Hospital	Discreto	2024	118	96,99	23,6	5,0	57,0
Hospital	Continuo	2024	364	91,70	45,3	8,98	99,34
Iglesia	Discreto	2022	117	96,17	40,7	12,1	88,8
Iglesia	Discreto	2023	119	97,81	31,3	6,0	68,0
Iglesia	Discreto	2024	110	90,42	25,7	3,0	59,0
Sur	Discreto	2022	115	94,53	43,0	13,4	102,1
Sur	Discreto	2023	117	96,17	32,3	5,0	91,0
Sur	Discreto	2024	118	96,99	25,1	5,0	68,0

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se observa la disponibilidad de datos meteorológicos horarios de la estación Hospital para el año 2024, junto con los valores medios, mínimos y máximos registrados.

Tabla 5. Disponibilidad de datos meteorológicos horarios de la estación Hospital, año 2024.

Variable	Datos esperados	Datos Válidos	Disponibilidad (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
Velocidad del viento [m/s]	8.784	8.068	91,8	1,31	0,00	6,83
Dirección del viento [°]	8.784	8.068	91,8	--	--	--
Temperatura [°C]	8.784	8.068	91,8	19,9	1,5	37,4
Humedad relativa [%]	8.784	8.068	91,8	23,1	0,6	97,7

Fuente: Elaboración propia.

A modo de contexto para interpretar la información consolidada, se debe indicar que:

- Los registros horarios y minutales de la estación Hospital no contienen datos para febrero de 2024 (MP_{10} y meteorología), por lo que dicho mes no se considera en las estadísticas horarias ni en la concentración anual del monitor continuo de 2024.

Es importante señalar que el análisis de la estación Hospital se realiza como caracterización de la meteorología del área de estudio. La estación se ubica en la depresión intermedia, aproximadamente a 20 [km] al suroeste del Proyecto, por lo que se considera representativa de las condiciones meteorológicas de escala local del área de estudio, sin perjuicio de las diferencias asociadas al entorno urbano e industrial de la localidad de María Elena.

2.17.6. RESULTADOS

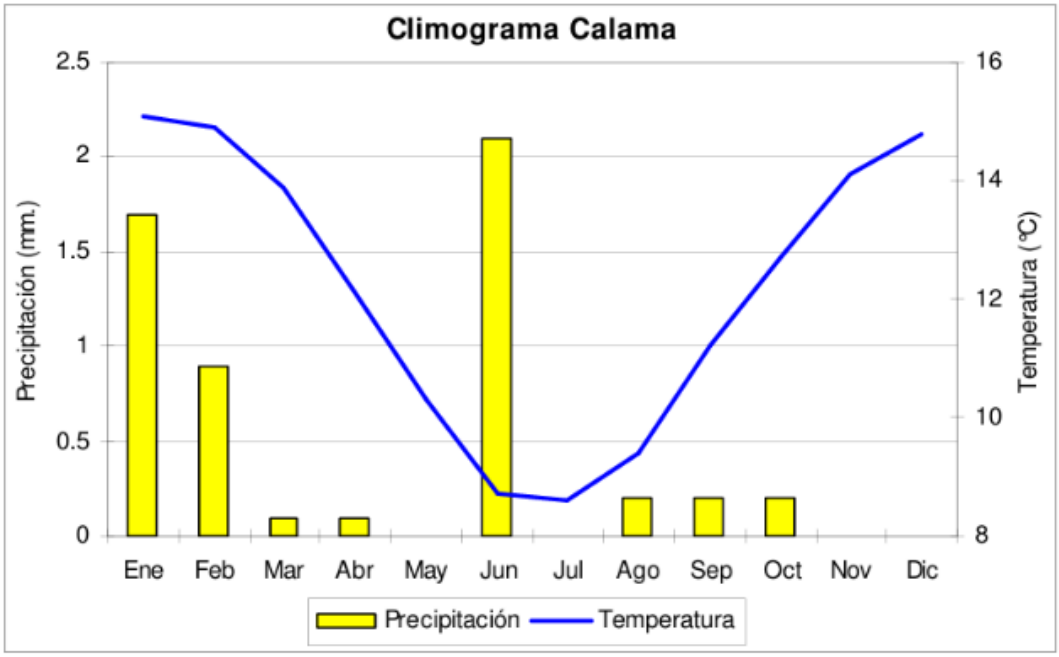
2.17.6.1. Clima

2.17.6.1.1. Clima regional

El Proyecto se emplaza en la comuna de María Elena, Región de Antofagasta, por lo que presenta las condiciones climáticas propias de esta zona.

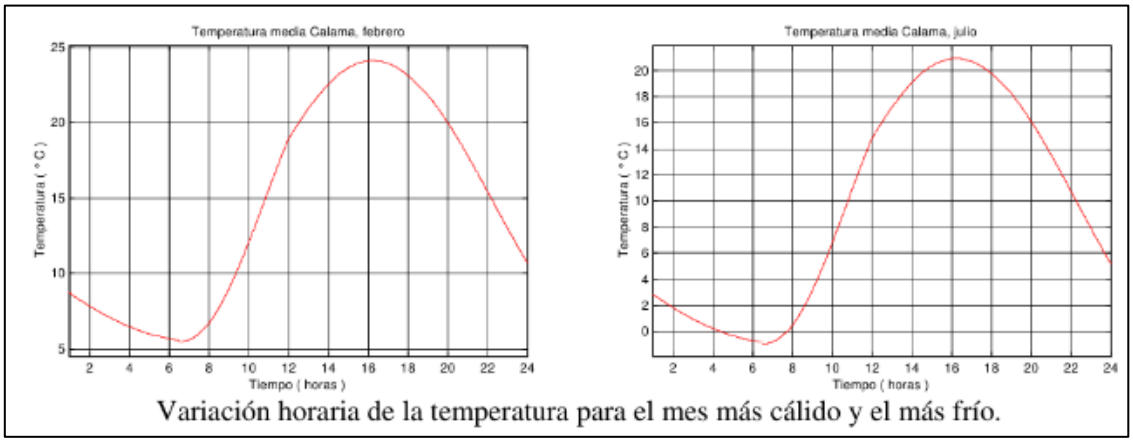
Según lo indicado en el documento "Climatología Regional" de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2001), en la Región de Antofagasta se distinguen cuatro tipos climáticos: desértico costero nuboso, en la franja litoral; desértico interior, en la depresión intermedia; desértico marginal de altura, en la precordillera; y estepa de altura, en el altiplano. El Proyecto se ubica en la depresión intermedia, cerca de la comuna de Calama, donde predomina el clima desértico interior, caracterizado por la ausencia casi total de precipitaciones, muy baja humedad atmosférica, cielos despejados y una marcada amplitud térmica diaria. La condición hiperarida de la zona se explica por la estabilidad atmosférica asociada al anticiclón subtropical del Pacífico Sur, el efecto de la corriente fría de Humboldt y la sombra pluviométrica de la cordillera de los Andes.

Figura 4. Relación precipitación-temperatura en Calama.



Fuente: DMC, 2001.

Figura 5. Perfil temporal en verano e invierno de la temperatura en Calama.

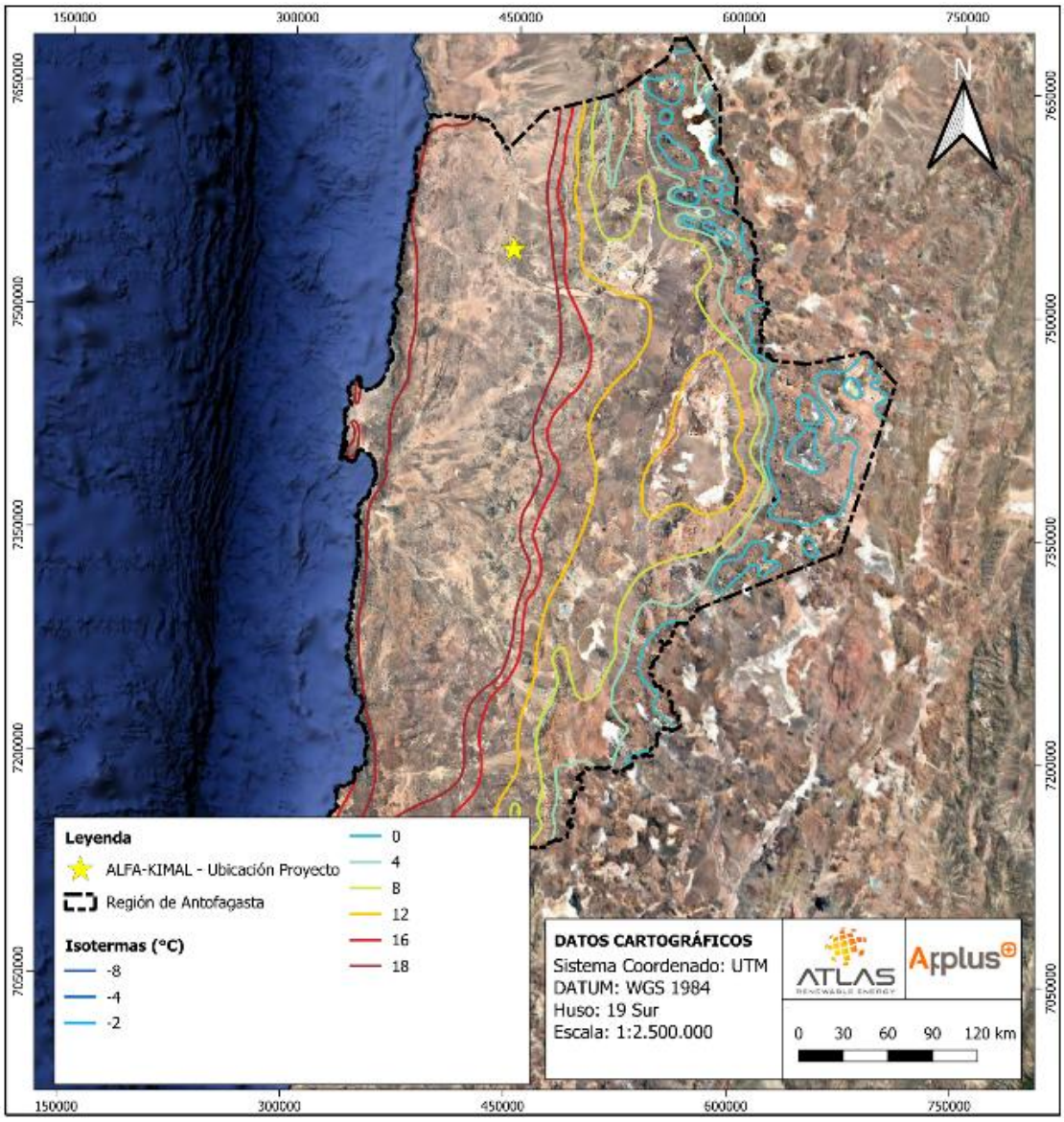


Variación horaria de la temperatura para el mes más cálido y el más frío.

Fuente: DMC, 2001.

La configuración térmica de la Región de Antofagasta presenta una distribución predominantemente longitudinal, como se observa en la Figura 6. No obstante, destaca el carácter isotermal de la cuenca de la depresión intermedia, ubicada al oeste de la ciudad de Calama. En el sector se registran las temperaturas medias anuales más bajas, mientras que en los valles intermedios las temperaturas oscilan entre 12 y 18 [°C]. En la zona costera, influenciada por la cercanía al océano Pacífico, los valores térmicos se sitúan entre 16 y 18 [°C]. En cuanto al área geográfica donde se emplaza el Proyecto, las temperaturas medias anuales se aproximan a 12 [°C].

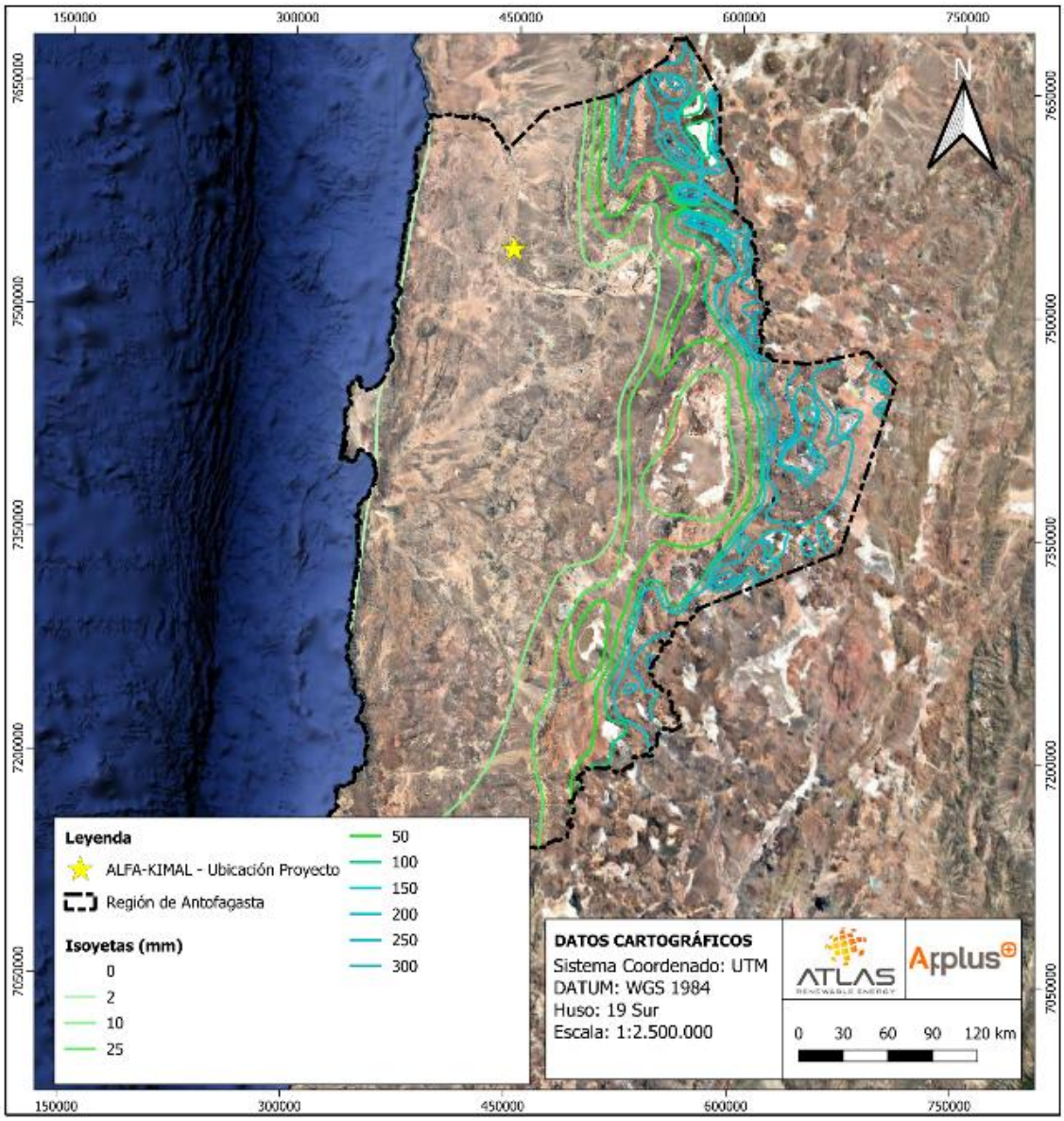
Figura 6. Distribución de la temperatura media anual en la región de Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

La precipitación anual en la Región de Antofagasta presenta un marcado gradiente altitudinal y zonal, como se aprecia en la Figura 7. Los valores mínimos se registran en las planicies litorales y en la zona desértica central, donde los totales anuales son inferiores a 2 [mm] en algunos sectores. A medida que se asciende hacia el altiplano, las precipitaciones aumentan de manera significativa, alcanzando totales anuales entre 200 y 300 [mm]. Este patrón evidencia la influencia conjunta de la altitud y la distancia al océano en la distribución espacial de las lluvias en la Región. En el área geográfica donde se emplaza el Proyecto, las precipitaciones anuales promedio fluctúan 2 y 10 [mm].

Figura 7. Distribución de la precipitación anual en la región de Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

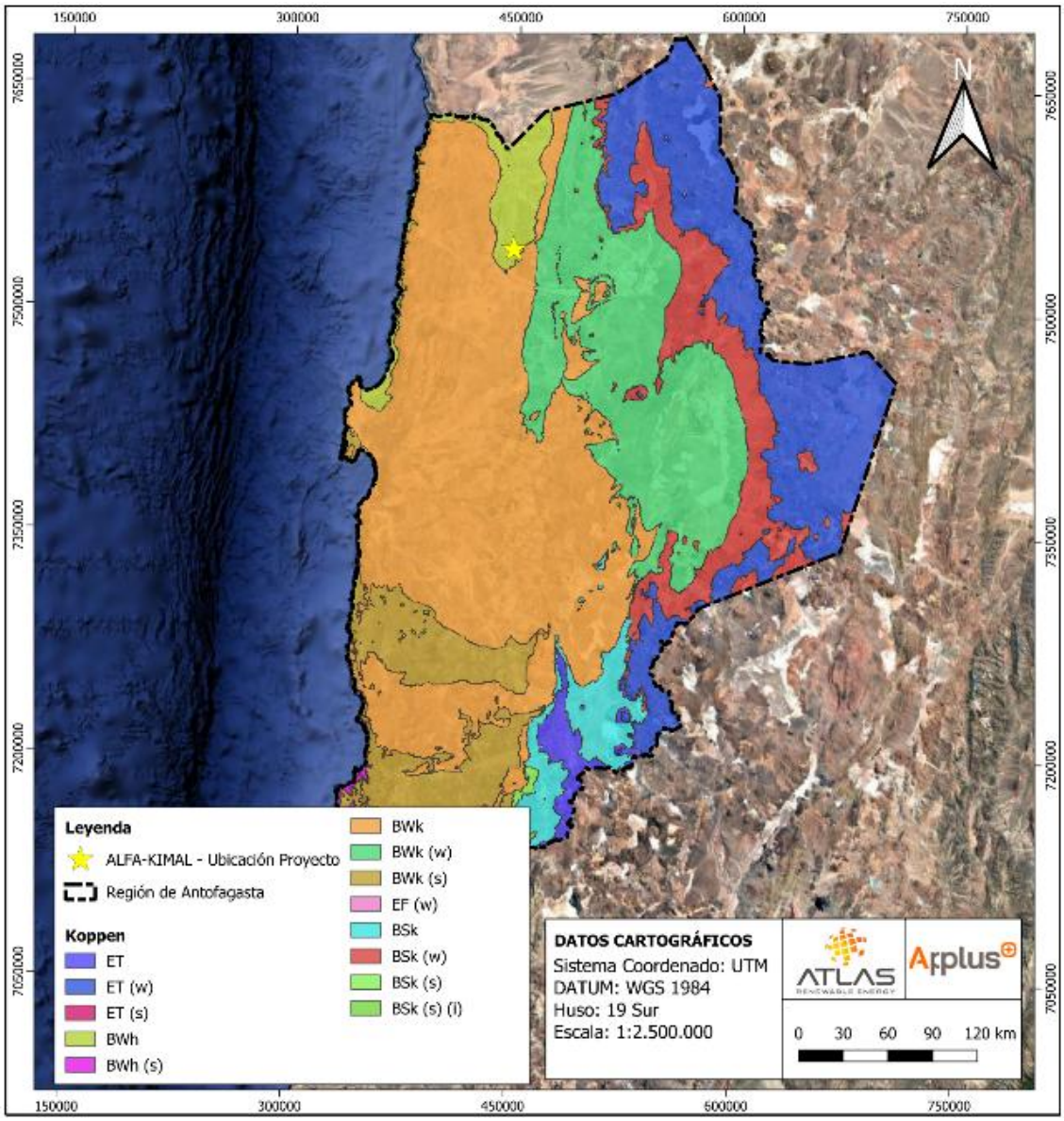
La Región de Antofagasta de acuerdo con la clasificación de Köppen presenta los siguientes subtipos climáticos:

- BSk: Clima semiárido
- BSk (s): Clima semiárido de lluvia invernal
- BSk (w): Clima semiárido de lluvia estival
- BWh: Clima desértico cálido
- BWh (s): Clima desértico cálido de lluvia invernal
- BWk: Clima desértico frío
- BWk (s): Clima desértico frío de lluvia invernal
- BWk (w): Clima desértico frío de lluvia estival
- EF: Clima glacial
- EF (w): Clima glacial de lluvia estival

- ET: Clima de tundra
- ET (w): Clima de tundra de lluvia estival

La Figura 8 presenta la clasificación climática de Köppen para la Región de Antofagasta. Es posible observar que el espacio geográfico donde se emplaza el Proyecto corresponde a un clima del tipo desértico cálido (BWh). Este tipo de clima se caracteriza por presentar temperaturas que rondan los 20 [°C] durante gran parte del año, con inviernos fríos y veranos templados, además de una marcada oscilación térmica diaria. Las precipitaciones, aunque escasas en términos anuales.

Figura 8. Clasificación climática de Köppen para la región de Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.1.2. Efecto del Cambio Climático

A continuación, se presentan los efectos del cambio climático en el área del Proyecto, acorde a lo dispuesto en la "Guía Metodológica para la Consideración del Cambio Climático en el SEIA" (SEA, 2024).

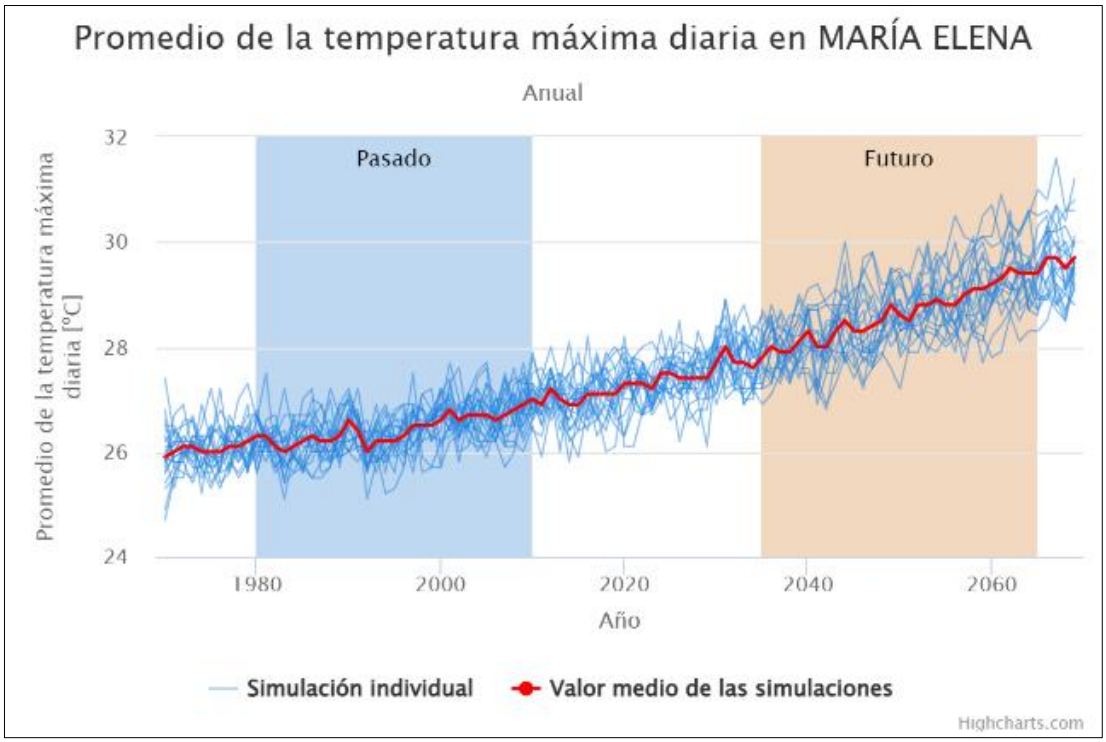
El Proyecto contempla sus partes, obras y acciones en la comuna de María Elena, Región de Antofagasta, por lo que se hace referencia a las proyecciones del Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim) del Ministerio del Medio Ambiente, sistematizadas en el Plan de Acción Regional de Cambio Climático de Antofagasta (PARCC), las cuales comparan el periodo histórico 1980–2010 con el periodo futuro 2035–2065.

2.17.6.2. Amenazas Climáticas

En lo que concierne a la presente línea de base, se identificaron en la plataforma ARClim datos sobre precipitaciones, viento y temperatura que se relacionan directamente con el análisis de la componente Meteorología.

De la Figura 9, se aprecia una variación promedio en la temperatura máxima diaria en la zona de estudio en los años venideros, presentándose una variación de 7,8%, entre el año 2025 y 2065.

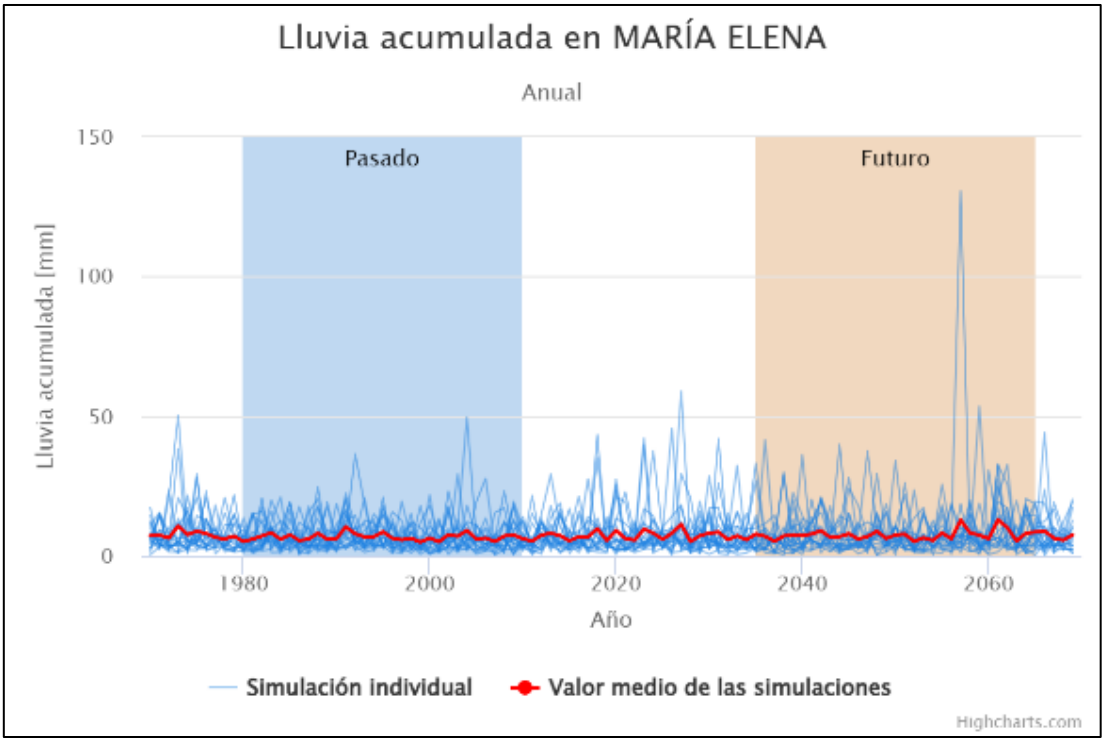
Figura 9. Promedio de la temperatura máxima diaria anual en María Elena, periodo 1970–2069.



Fuente: Extraído de ARClim (Ministerio del Medio Ambiente).

De la Figura 10, se aprecia una variación promedio en la precipitación acumulada anual en la zona de estudio en los años venideros, presentándose una variación despreciable, entre el año 2025 y 2065, con leves aumentos en 2055 y 2060 aproximadamente.

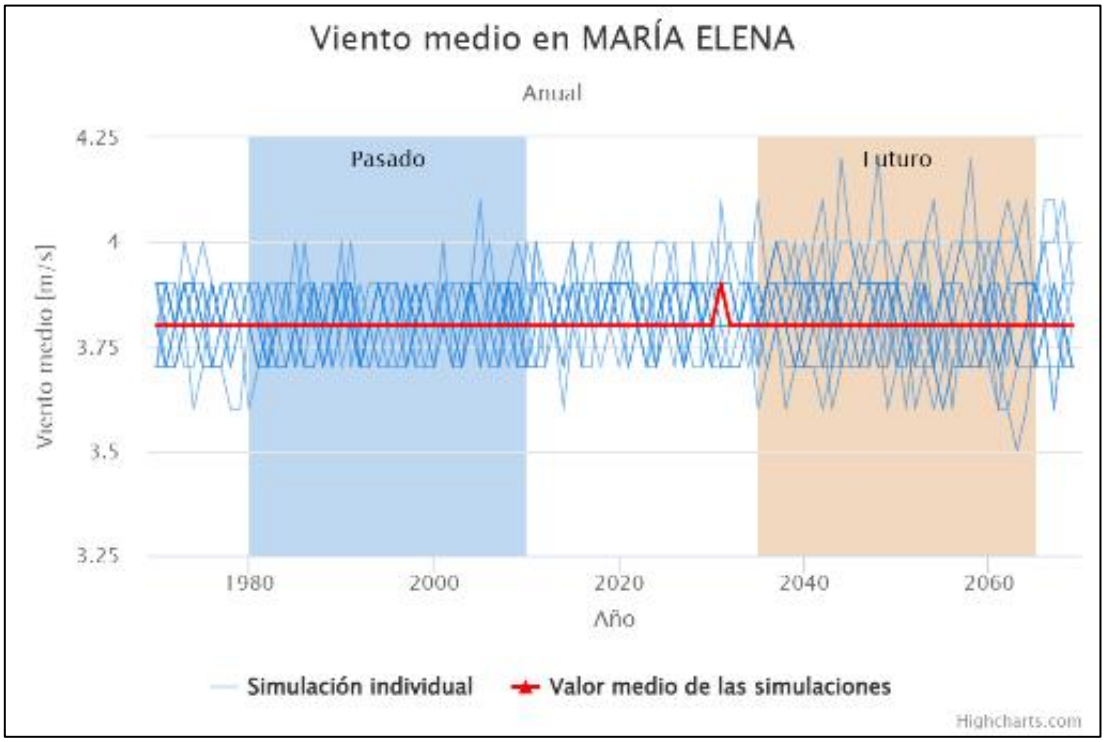
Figura 10. Precipitación acumulada anual en María Elena, periodo 1970–2069.



Fuente: Extraído de ARClim (Ministerio del Medio Ambiente).

En la Figura 11 no se aprecia una variación de la velocidad de viento media anual, entre los años 2025 y 2065, con un valor constante de 3.8 [m/s].

Figura 11. Velocidad del Viento media anual en María Elena, periodo 1970–2069.



Fuente: Extraído de ARClim (Ministerio del Medio Ambiente).

2.17.6.3. Meteorología

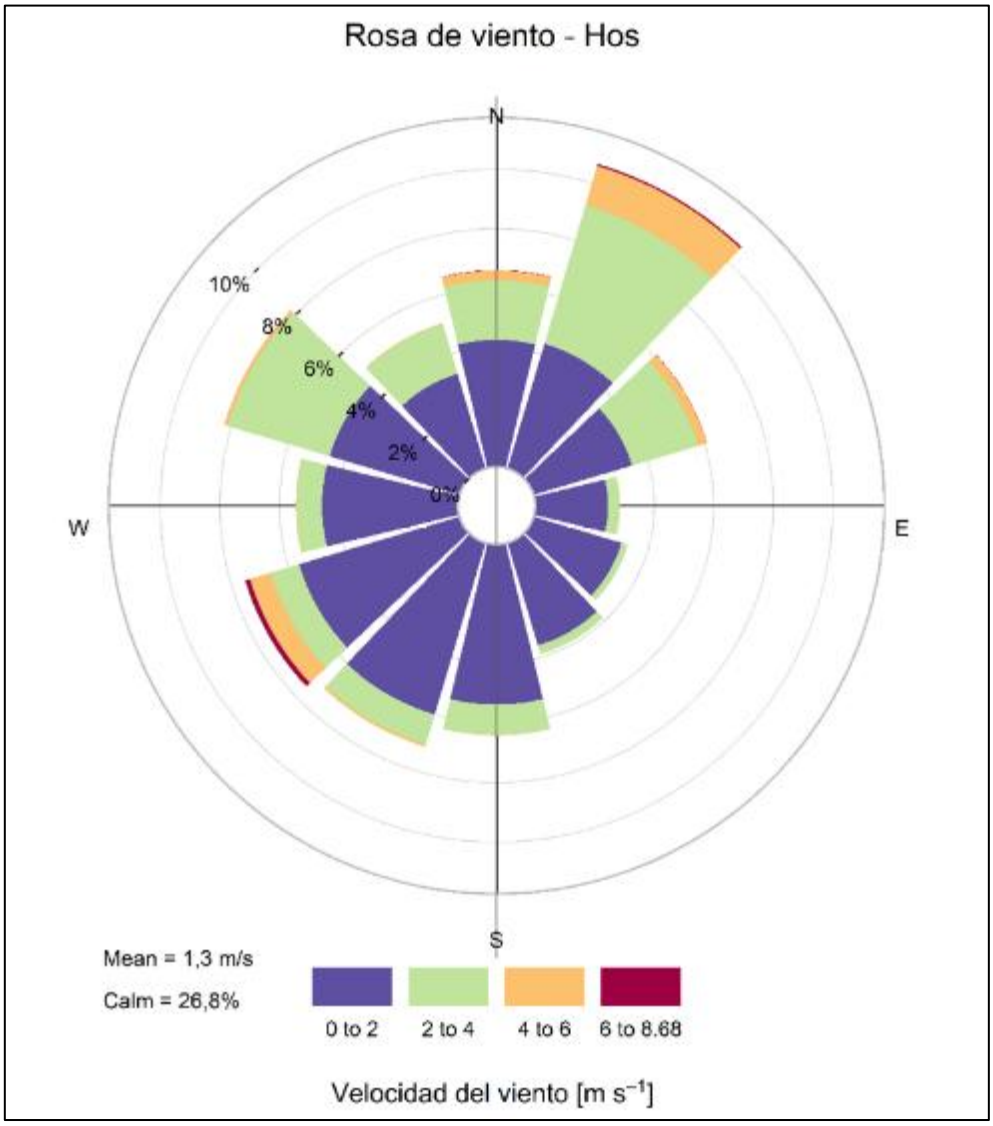
La siguiente caracterización meteorológica se basa en las mediciones realizadas por la estación Hospital durante el año 2024, a nivel horario. Se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo de las variables velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa, mediante rosas de viento, series de tiempo, perfiles de variabilidad temporal y ciclos estacionales.

2.17.6.3.1. Estación Hospital

2.17.6.3.1.1. Rosa de Viento

En la Figura 12 se presenta una rosa de los vientos elaborada con los registros horarios de la estación Hospital, durante el año 2024. Se observa un predominio de vientos proveniente del sector Noreste, con una concurrencia del 10% con velocidades predominantes entre 0 y 2 [m/s].

Figura 12. Rosa de los vientos, estación Hospital, año 2024.

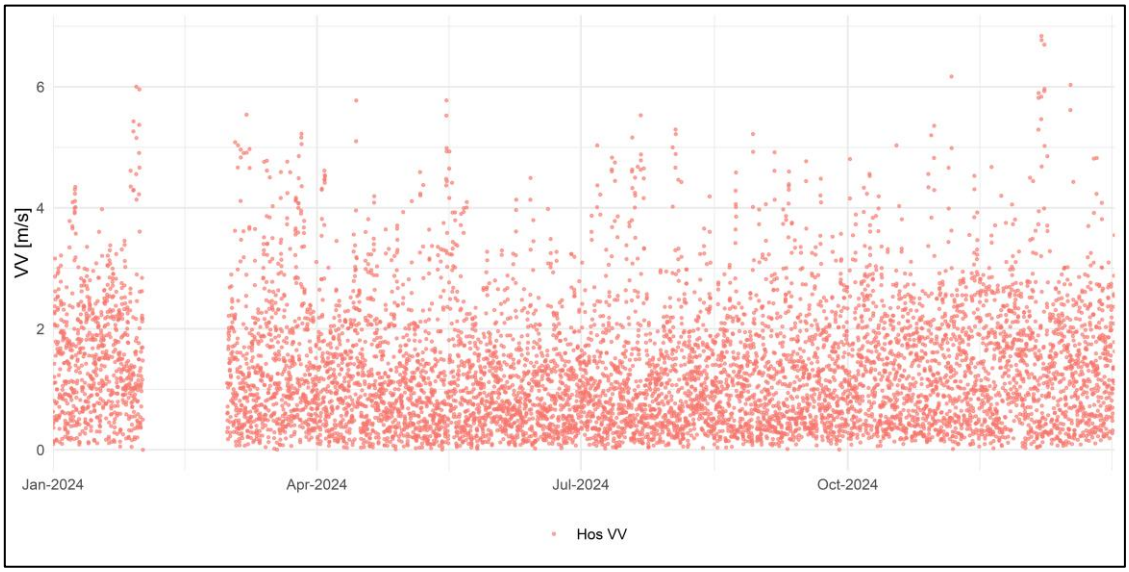


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.3.1.2. Series de Tiempo

En la Figura 13 se presenta la serie de tiempo de la velocidad del viento registrada durante el año 2024 en la estación Hospital. Se observa un perfil temporal bien definido, con velocidades horarias que se mantienen mayoritariamente entre 0 y 3 [m/s], alcanzando un valor máximo de 6,8 [m/s] aproximadamente en diciembre. Cabe destacar que no se registraron datos durante febrero de 2024.

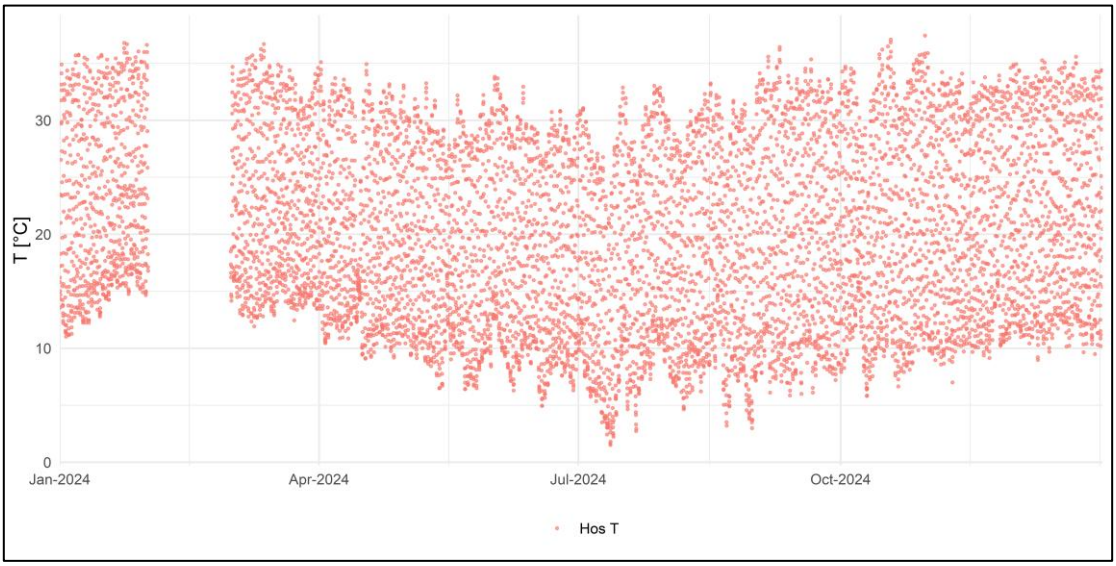
Figura 13. Serie de tiempo de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se presenta la serie de tiempo de la temperatura registrada durante el año 2024 en la estación Hospital. Se observa un marcado ciclo diario y estacional, con temperaturas horarias mayoritariamente entre 8 y 35 [°C] aproximadamente, alcanzando un máximo de 37 [°C] en octubre y un mínimo de 1,5 [°C] en julio. Las temperaturas más bajas se concentran entre junio y agosto.

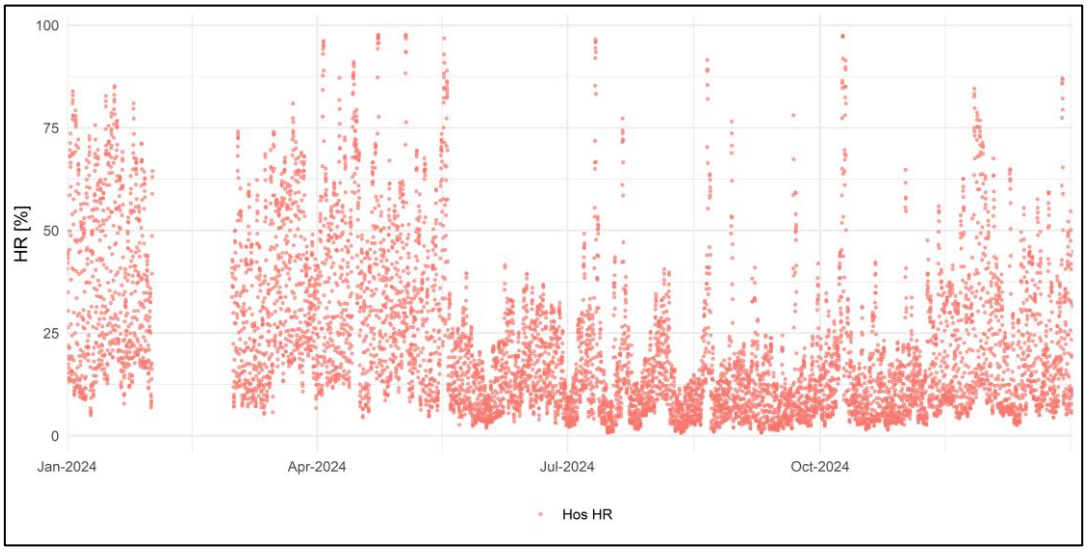
Figura 14. Serie de tiempo de la temperatura, estación Hospital, año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se presenta la serie de tiempo de la humedad relativa registrada durante el año 2024 en la estación Hospital. Se observan valores horarios mayoritariamente entre 3,5 [%] y 64,7 [%], con un máximo de 98 [%] (mayo) y mínimos inferiores a 1 [%]. Las mayores humedades se registran entre enero y mayo, mientras que entre junio y octubre predominan condiciones extremadamente secas.

Figura 15. Serie de tiempo de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024.

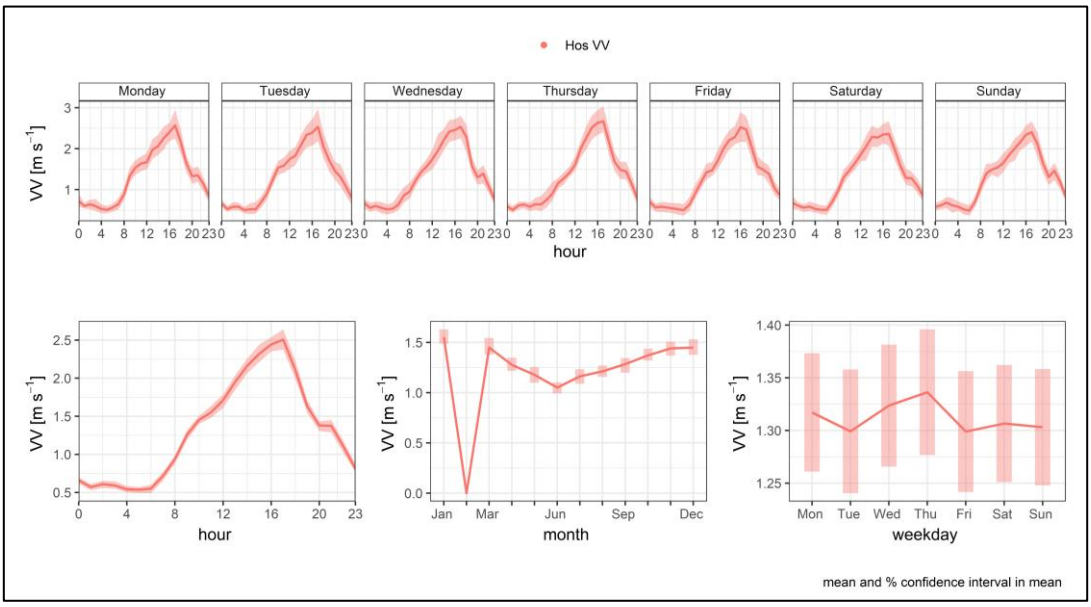


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.3.1.3. Variabilidad Temporal

La Figura 16 muestra los perfiles temporales promedio de la velocidad del viento. En el perfil horario se evidencia un incremento progresivo a partir de las 08:00 horas, alcanzando los valores máximos entre las 16:00 y 17:00 horas (2,6 [m/s]), y valores mínimos durante la madrugada (0,5 [m/s]). En el perfil mensual, las velocidades disminuyen progresivamente hacia el invierno, con un mínimo en junio (1,1 [m/s]), y aumentan hacia el verano, con un máximo en enero (1,6 [m/s]). Respecto del perfil semanal, no se observan diferencias relevantes entre los días de la semana. Cabe destacar que no existían datos disponibles para el mes de febrero.

Figura 16. Serie de tiempo de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024.

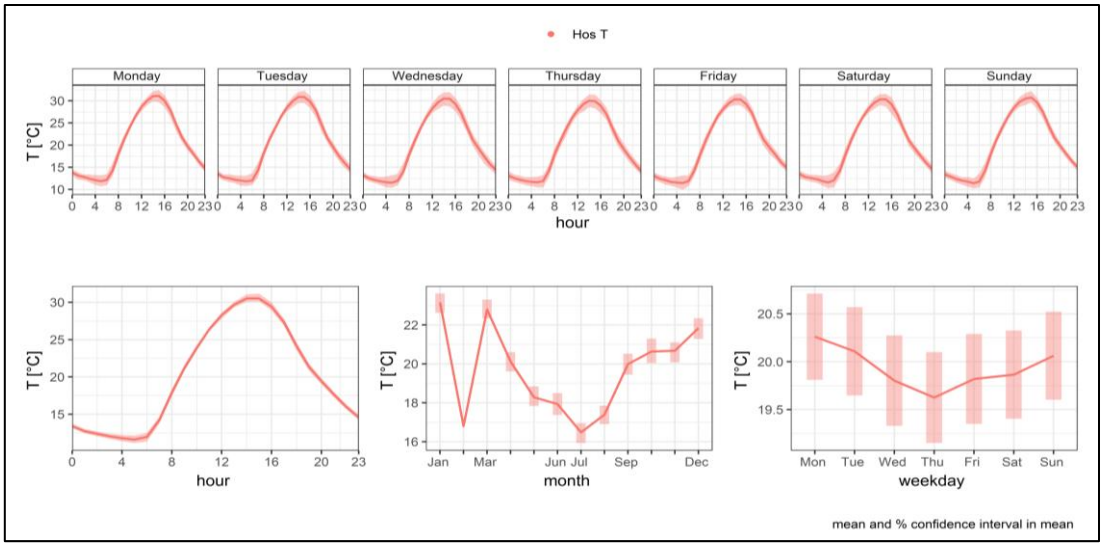


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra los perfiles temporales promedio de la temperatura. En el perfil horario se observa un patrón térmico bien definido, con mínimos a las 06:00 horas (10 [°C]) y máximos a

las 15:00 horas (31 [°C]), lo que representa una amplitud térmica media de 21 [°C]. En el perfil mensual, la temperatura disminuye progresivamente hacia julio (16 [°C]) y aumenta hacia el verano, alcanzando 23 [°C] en enero. En el perfil semanal no se observan diferencias relevantes.

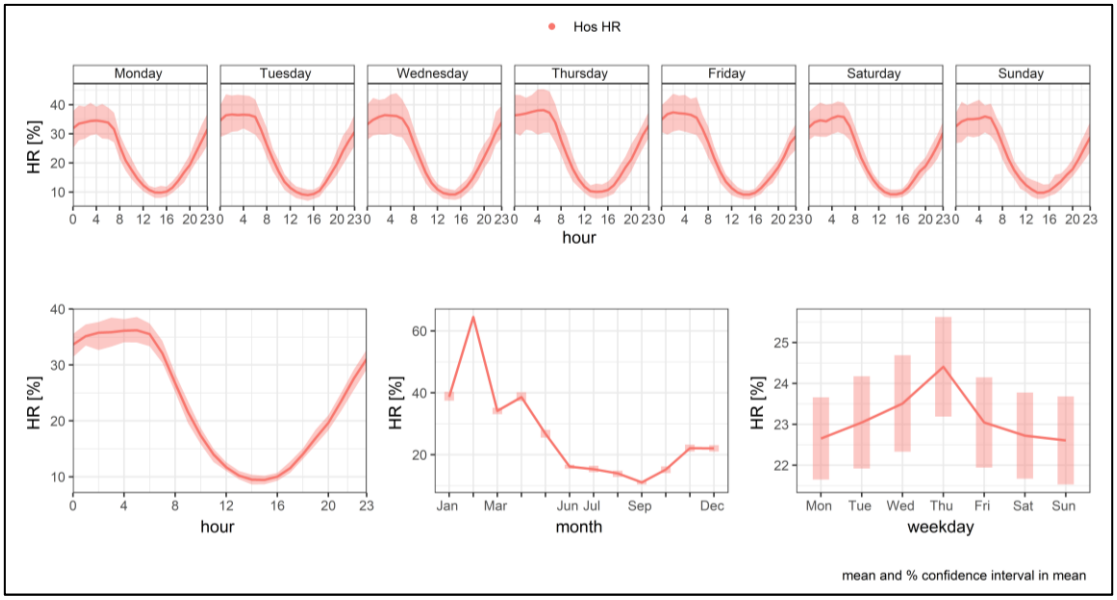
Figura 17. Perfiles temporales promedio de la temperatura, estación Hospital, año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra los perfiles temporales promedio de la humedad relativa. En el perfil horario se observa un patrón bien definido e inverso al de la temperatura, con mínimos entre las 14:00 y 15:00 horas (8,8 [%]) y máximos a las 05:00 horas. En el perfil mensual, la humedad relativa es mayor entre enero y abril y disminuye hasta un mínimo en septiembre. En el perfil semanal no se observan diferencias relevantes.

Figura 18. Perfiles temporales promedio de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024.

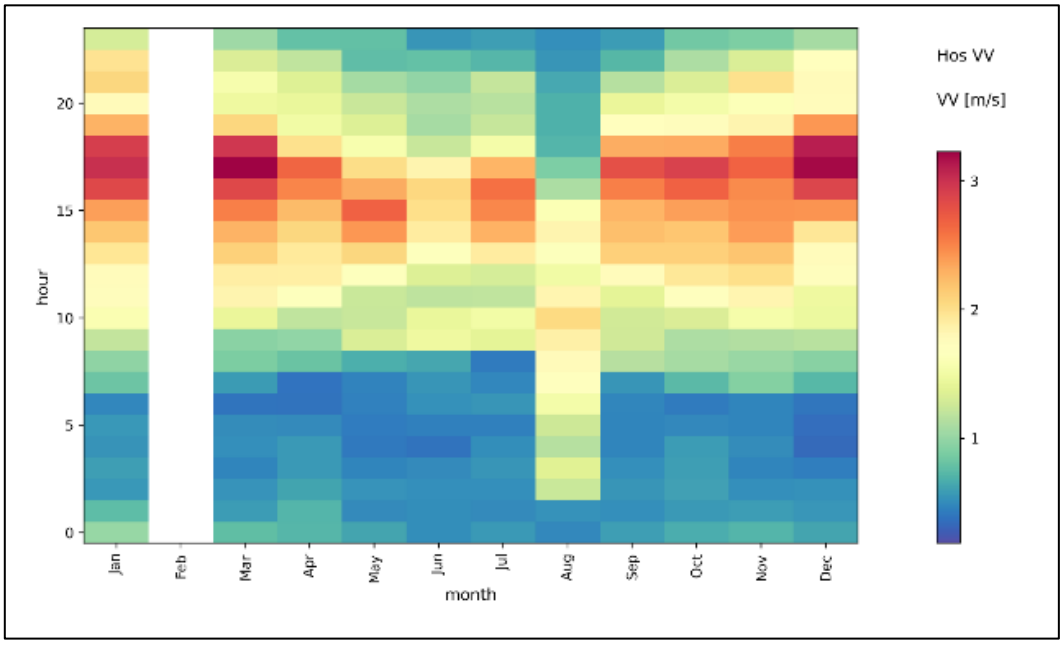


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.3.1.4. Ciclo Estacional

La Figura 19 presenta la variabilidad estacional y horaria de la velocidad del viento mediante un mapa de calor. Se observa un patrón bien definido, con mayores velocidades durante la tarde (14:00 a 19:00 horas) en todos los meses, alcanzando valores medios cercanos a 3 [m/s] a las 17:00 horas en marzo, mientras que las velocidades más bajas (inferiores a 0,5 [m/s]) se concentran durante la madrugada. Cabe mencionar que no existe información durante febrero de 2024.

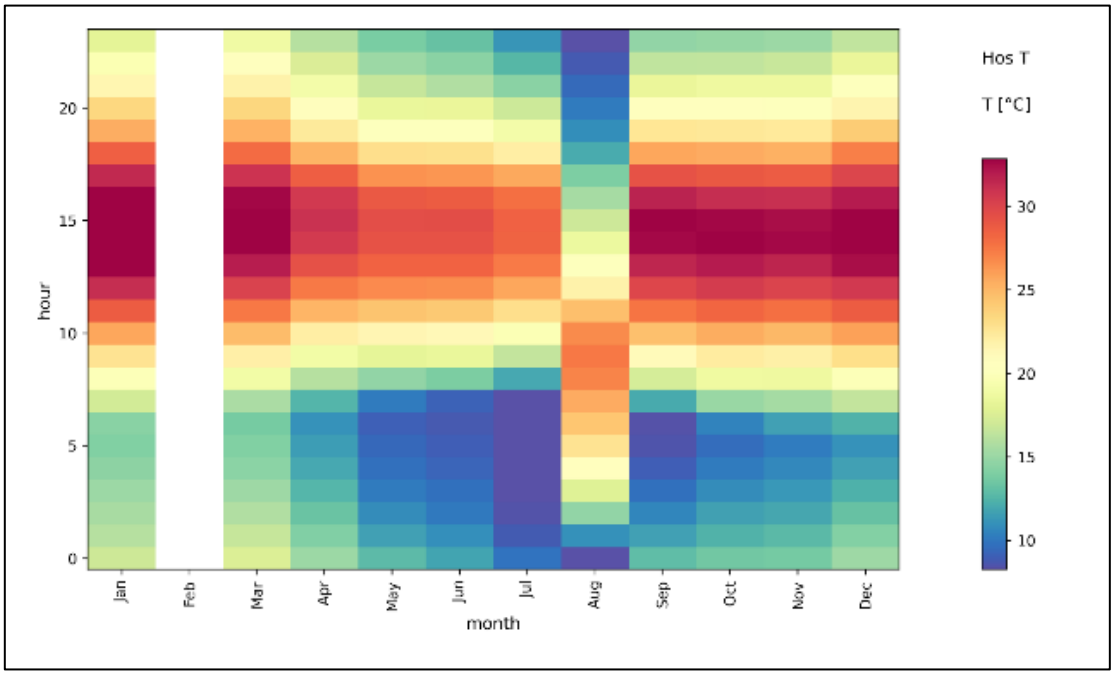
Figura 19. Variabilidad estacional y horaria de la velocidad del viento, estación Hospital, año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 representa la variabilidad estacional y horaria de la temperatura mediante un mapa de calor. Se identifica una marcada amplitud térmica, con ciclos bien definidos. Se observan máximos de temperatura durante el día, entre las 12:00 y 17:00 horas, con valores medios cercanos a 34 [°C] a las 15:00 horas en enero, y mínimos en la madrugada, con valores cercanos a 7 [°C] a las 06:00 horas en julio.

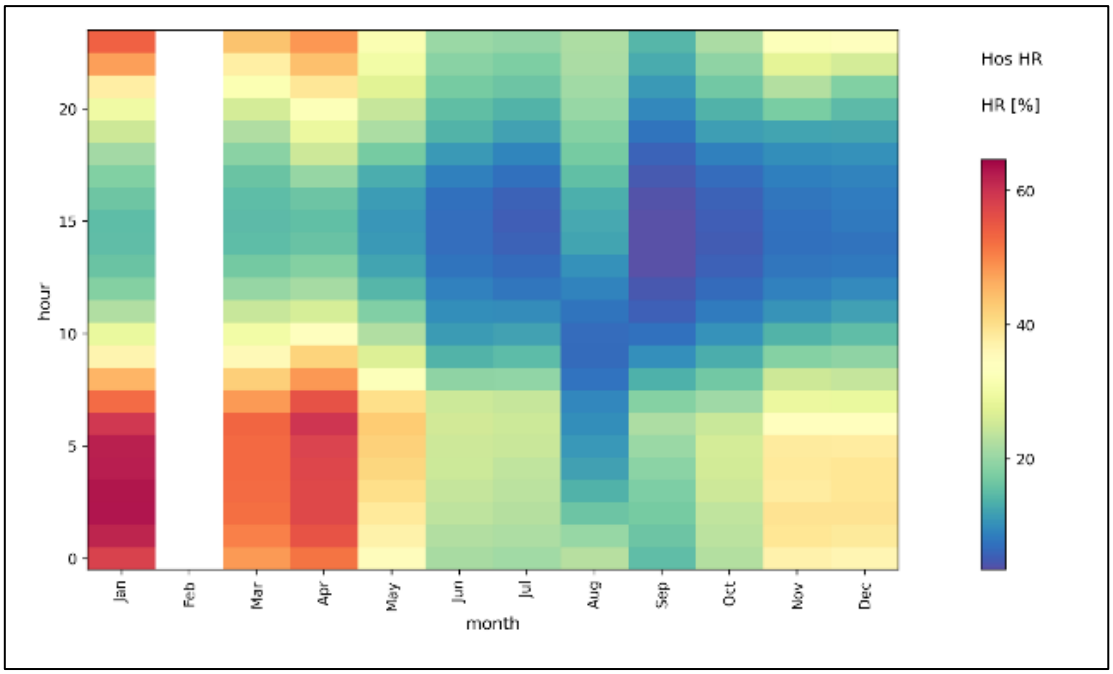
Figura 20. Variabilidad estacional y horaria de la temperatura, estación Hospital, año 2024



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 presenta la variabilidad estacional y horaria de la humedad relativa mediante un mapa de calor. Se observa un patrón bien definido, con mayores humedades durante la madrugada entre enero y abril, alcanzando valores medios cercanos a 63 [%] a las 02:00 horas en enero, mientras que las humedades más bajas se concentran durante la tarde entre julio y octubre, con valores medios cercanos a 3 [%] a las 14:00 horas en septiembre.

Figura 21. Variabilidad estacional y horaria de la humedad relativa, estación Hospital, año 2024



Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4. Calidad de Aire

Para el análisis de resultados de calidad del aire, específicamente el análisis normativo, solo se realiza la comparativa del Percentil 98 Diario, pues no se cuenta con data disponible horaria de los tres años del periodo analizado (2022-2024) en ninguna de las estaciones. Solo la estación Hospital cuenta con datos horarios para el año 2024, lo cual no es suficiente para hacer el análisis del promedio trianual.

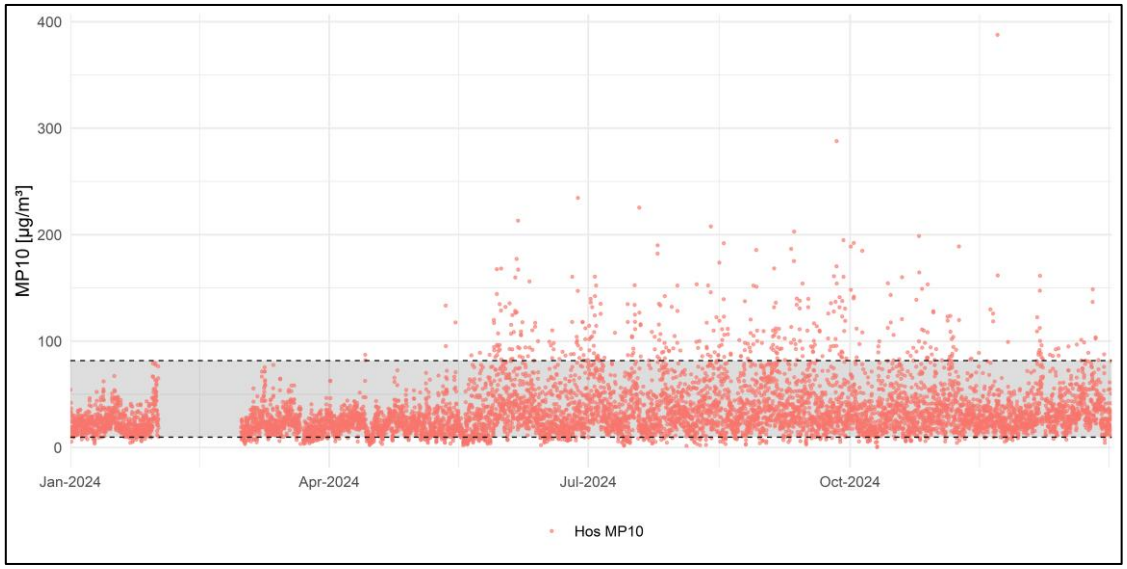
2.17.6.4.1. Estación Hospital

2.17.6.4.1.1. MP_{10} Continuo (Beta)

2.17.6.4.1.1.1. Serie de Tiempo

La Figura 22 presenta la serie de tiempo de las concentraciones horarias de MP10 registradas por el monitor continuo de la estación Hospital durante el año 2024, considerando el intervalo entre el percentil 5 y el percentil 95 de los datos registrados (10,1 y 81,6 [µg/m3N], respectivamente). Se observa un comportamiento definido, con mayores concentraciones entre junio y diciembre, y un máximo horario de 390,0 [µg/m3N] el 21-11-2024 a las 20:00 horas. Del total de horas válidas, 47 registraron concentraciones iguales o superiores a 150 [µg/m3N], correspondientes a eventos de corta duración. No se dispone de registros para febrero de 2024.

Figura 22. Serie de tiempo de las concentraciones horarias de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024.



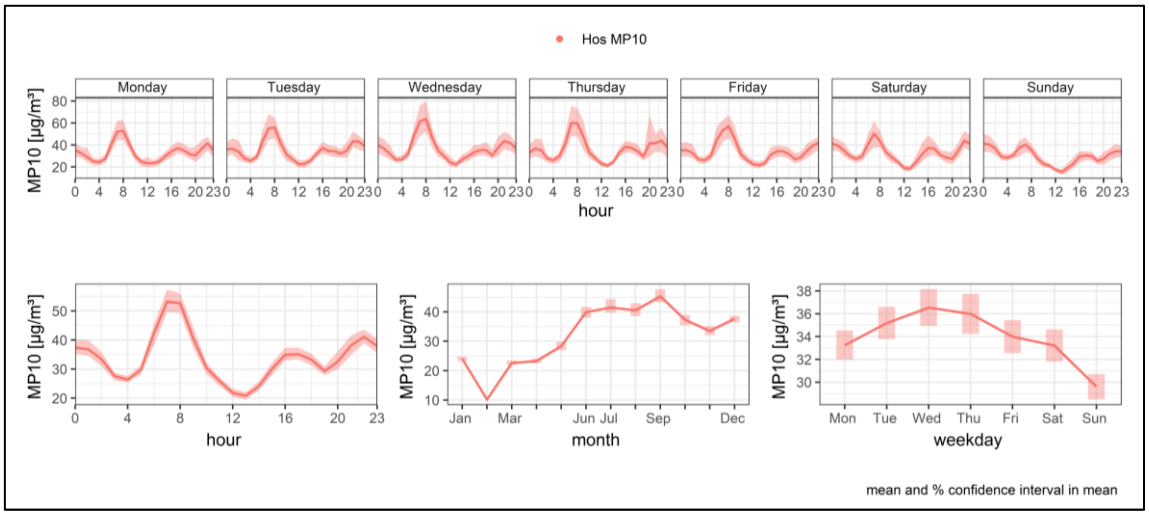
Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.1.1.2. Variabilidad Temporal

La Figura 23 presenta la variación temporal de MP10 para el año 2024 en la estación Hospital, considerando el intervalo de confianza del 95 % de la media. En el perfil horario se observa un comportamiento bimodal, con un máximo principal entre las 07:00 y 08:00 horas (59,4 [µg/m3N]), un máximo secundario entre las 21:00 y 22:00 horas (43,2 [µg/m3N]) y mínimos

entre las 12:00 y 13:00 horas (20,9 [µg/m3N]). Los máximos coinciden con los periodos de vientos débiles y mayor estabilidad atmosférica, en que la capa de mezcla presenta su menor desarrollo, mientras que los mínimos coinciden con el periodo de mayor ventilación y mezcla vertical. En el perfil semanal se registran menores concentraciones el domingo (30,2 [µg/m3N]) respecto de los días de lunes a sábado (33,3 a 36,5 [µg/m3N]), lo que sugiere la influencia de fuentes de origen antrópico. En el perfil mensual se aprecia un aumento de las concentraciones a partir de junio, con un máximo en septiembre (45,3 [µg/m3N]).

Figura 23. Variación temporal de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024.



Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.1.1.3. Ciclo Estacional

La Figura 24 presenta el ciclo estacional de MP10 para el año 2024 en la estación Hospital, considerando una escala de colores acotada entre el percentil 5 y el percentil 95 de los valores representados (observados en los extremos inferior y superior de la escala, respectivamente). Se observa un comportamiento definido, con mayores concentraciones entre mayo y diciembre en las horas de la mañana (06:00 a 09:00 horas), alcanzando valores medios cercanos a 110,3 [µg/m3N] a las 07:00 horas en septiembre, y un segundo núcleo de concentraciones elevadas durante la noche (20:00 a 23:00 horas) entre mayo y septiembre. Las menores concentraciones se registran al mediodía y entre enero y abril.

Figura 24. Ciclo estacional de MP_{10} (monitor continuo), estación Hospital, año 2024.



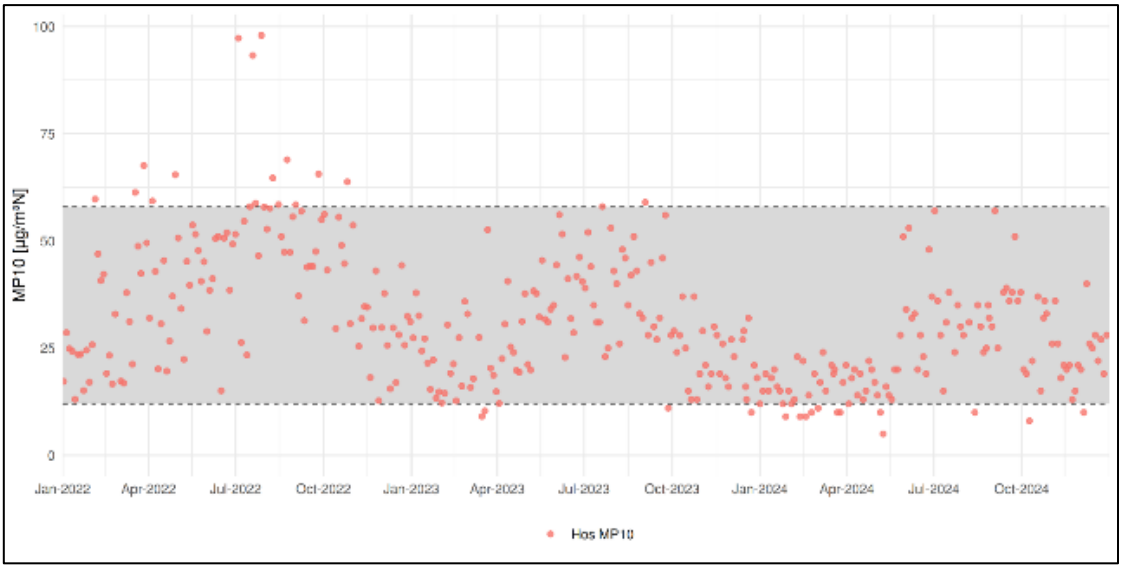
Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.1.2. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)

2.17.6.4.1.2.1. Serie de Tiempo

La Figura 25 presenta la serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Hospital para el periodo 2022–2024, considerando el intervalo entre el percentil 5 y el percentil 95 de los datos registrados (12,0 y 57,9 [µg/m3N], respectivamente). Se observa un marcado ciclo estacional, con mayores concentraciones en los meses de invierno, y una disminución de los niveles desde el año 2022 hacia el año 2024. El mayor registro del periodo alcanzó 97,9 [µg/m3N] el 28-07-2022.

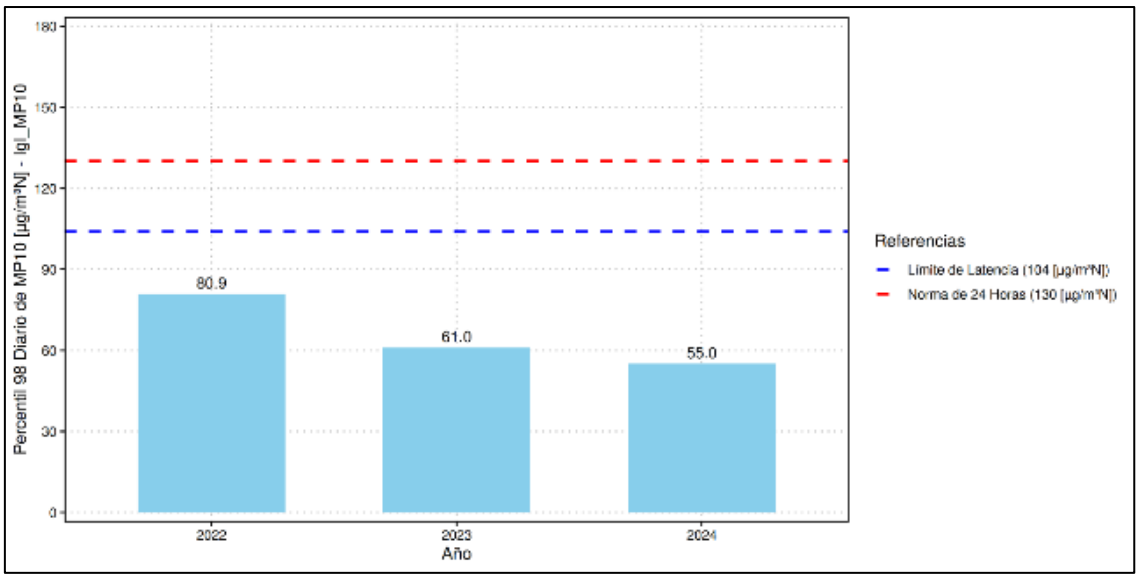
Figura 25. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 26 presenta la línea de base del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Hospital desde el año 2022 al 2024. La gráfica muestra concentraciones inferiores al límite de latencia (104 [µg/m3N]) y a la norma (130 (µg/m3N)) en todos los años, con valores de 80,9; 61,0 y 55,0 [µg/m3N] para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente. Cabe destacar que el año 2022 registra el percentil 98 más alto del periodo.

Figura 26. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024.

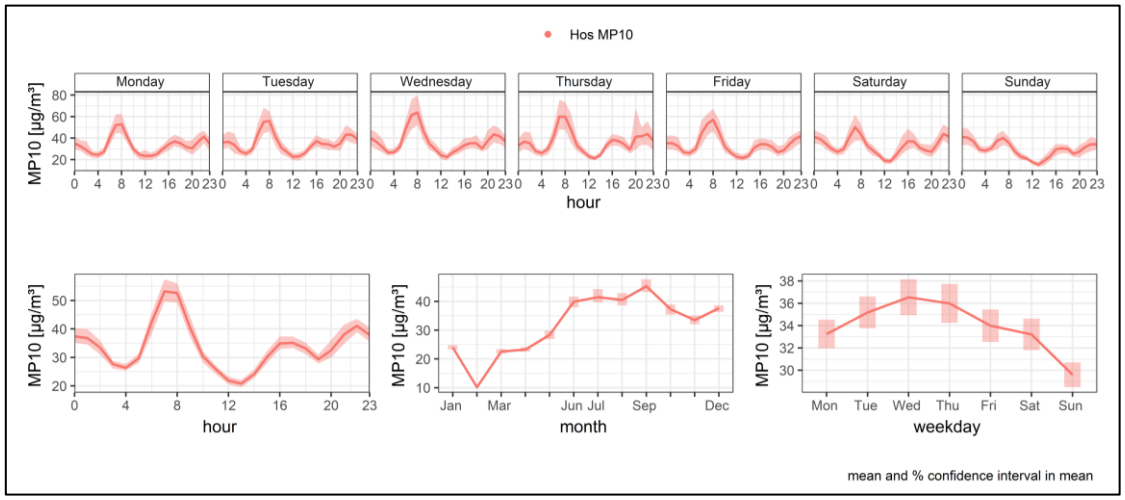


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.1.2.2. Variabilidad Temporal

La Figura 27 presenta la variación temporal de MP10 para el periodo 2022–2024 en la estación Hospital, considerando el intervalo de confianza del 95 % de la media. En los gráficos superiores se observa el perfil mensual de cada año, con máximos en julio de 2022 (60,5 [µg/m3N]), junio de 2023 (40,5 [µg/m3N]) y septiembre de 2024 (39,8 [µg/m3N]). En el perfil mensual del periodo se aprecia un aumento de las concentraciones hacia el invierno, con un máximo en julio (45,0 [µg/m3N]) y un mínimo en enero (19,8 [µg/m3N]). El perfil semanal no presenta diferencias significativas considerando los intervalos de confianza, mientras que el perfil anual evidencia una disminución sostenida de las concentraciones medias desde 40,7 [µg/m3N] en 2022 a 23,6 [µg/m3N] en 2024.

Figura 27. Variación temporal de MP_{10} (Hi-Vol), estación Hospital, periodo 2022–2024



Fuente: Elaboración propia.

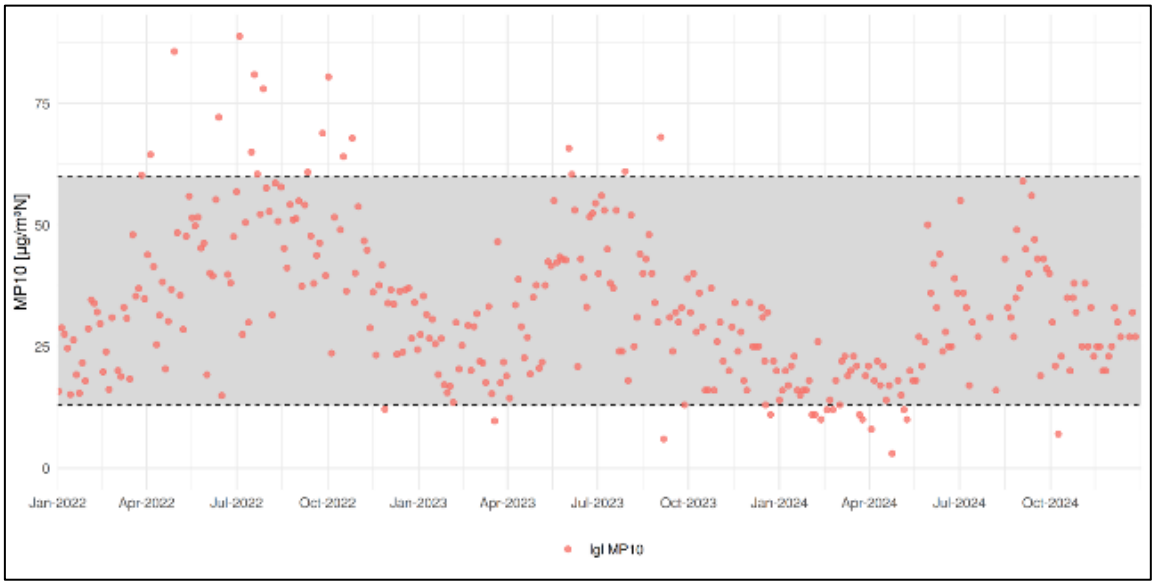
2.17.6.4.2. Estación Iglesia

2.17.6.4.2.1. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)

2.17.6.4.2.1.1. Serie de Tiempo

La Figura 28 presenta la serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Iglesia para el periodo 2022–2024, considerando el intervalo entre el percentil 5 y el percentil 95 de los datos registrados (13,0 y 59,9 [µg/m3N], respectivamente). Se observa un marcado ciclo estacional, con mayores concentraciones en los meses de invierno, y una disminución de los niveles desde el año 2022 hacia el año 2024. El mayor registro del periodo alcanzó 88,8 [µg/m3N] el 04-07-2022.

Figura 28. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Iglesia, periodo 2022–2024.

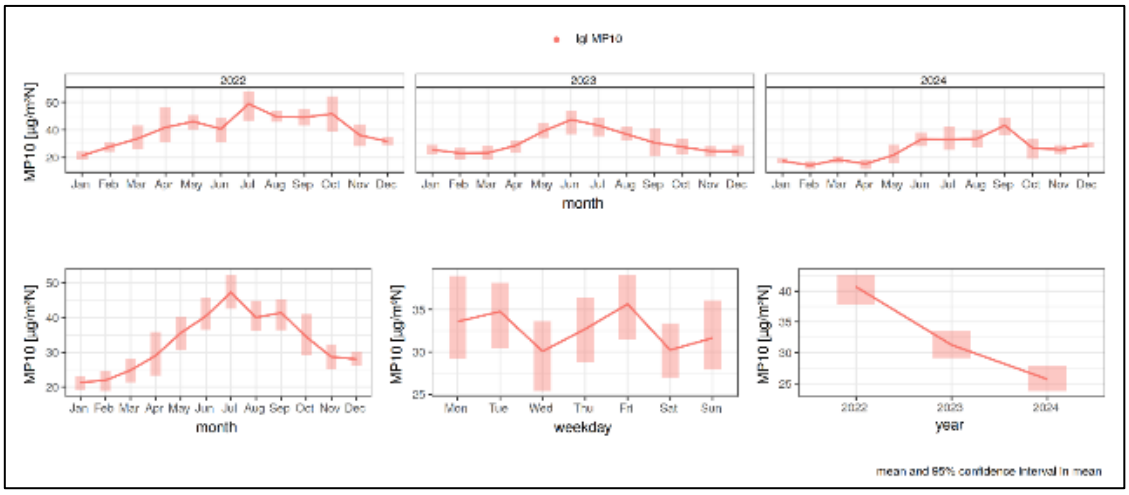


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.2.1.2. Variabilidad Temporal

La Figura 29 presenta la variación temporal de MP10 para el periodo 2022–2024 en la estación Iglesia, considerando el intervalo de confianza del 95 % de la media. En los gráficos superiores se observa el perfil mensual de cada año, con máximos en julio de 2022 (58,9 [µg/m3N]), junio de 2023 (47,4 [µg/m3N]) y septiembre de 2024 (43,3 [µg/m3N]). En el perfil mensual del periodo se aprecia un aumento de las concentraciones hacia el invierno, con un máximo en julio (47,3 [µg/m3N]) y un mínimo en enero (21,3 [µg/m3N]). El perfil semanal no presenta diferencias significativas considerando los intervalos de confianza, mientras que el perfil anual evidencia una disminución sostenida de las concentraciones medias desde 40,6 [µg/m3N] en 2022 a 25,0 [µg/m3N] en 2024.

Figura 29. Variación temporal de MP_{10} (HI-VOL), estación Iglesia, Periodo 2022–2024.

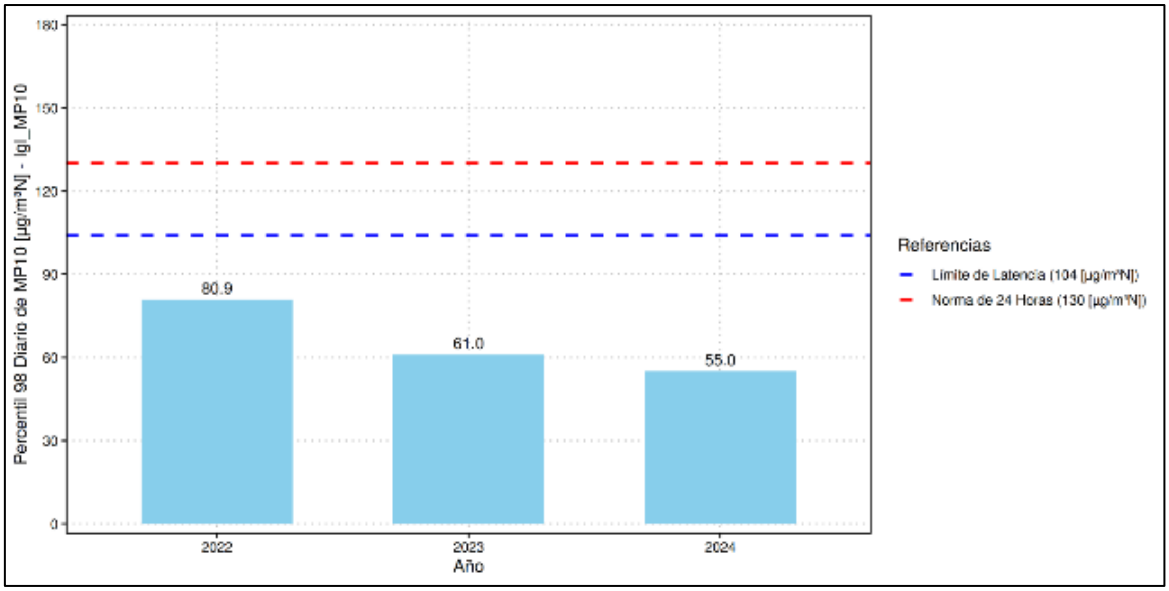


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.2.1.3. Evaluación de Concentraciones

La Figura 30 presenta la línea de base del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Iglesia desde el año 2022 al 2024. La gráfica muestra concentraciones inferiores al límite de latencia (104 [µg/m3N]) y a la norma (130 [µg/m3N]) en todos los años, con valores de 80,9, 61,0 y 55,0 [µg/m3N] para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente. Cabe destacar que el año 2022 registra el percentil 98 más alto del periodo.

Figura 30. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Iglesia, periodo 2022–2024.



Fuente: Elaboración propia.

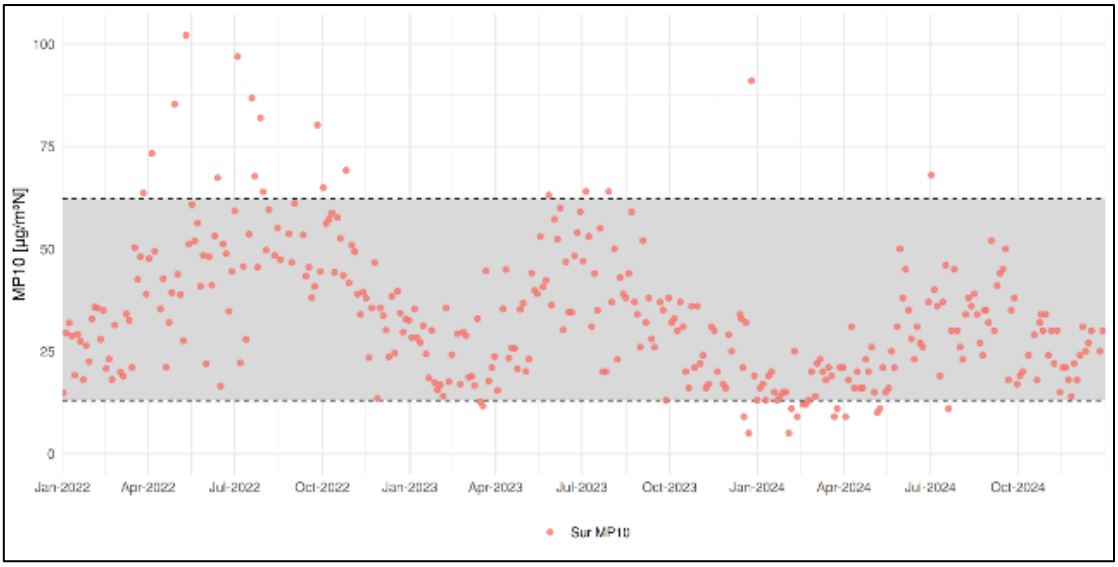
2.17.6.4.3. Estación Sur

2.17.6.4.3.1. MP_{10} Discreto (Hi-Vol)

2.17.6.4.3.1.1. Serie de Tiempo

La Figura 31 presenta la serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Sur para el periodo 2022–2024, considerando el intervalo entre el percentil 5 y el percentil 95 de los datos registrados (13,0 y 62,2 [µg/m3N], respectivamente). Se observa un marcado ciclo estacional, con mayores concentraciones en los meses de invierno, y una disminución de los niveles desde el año 2022 hacia el año 2024. El mayor registro del periodo alcanzó 102,1 [µg/m3N] el 11-05-2022. Adicionalmente, se observa un registro aislado de 91,0 [µg/m3N] el 26-12-2023, significativamente superior a los registrados el mismo día en las estaciones Hospital e Iglesia, atribuible a una fuente local de corta duración.

Figura 31. Serie de tiempo de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024.

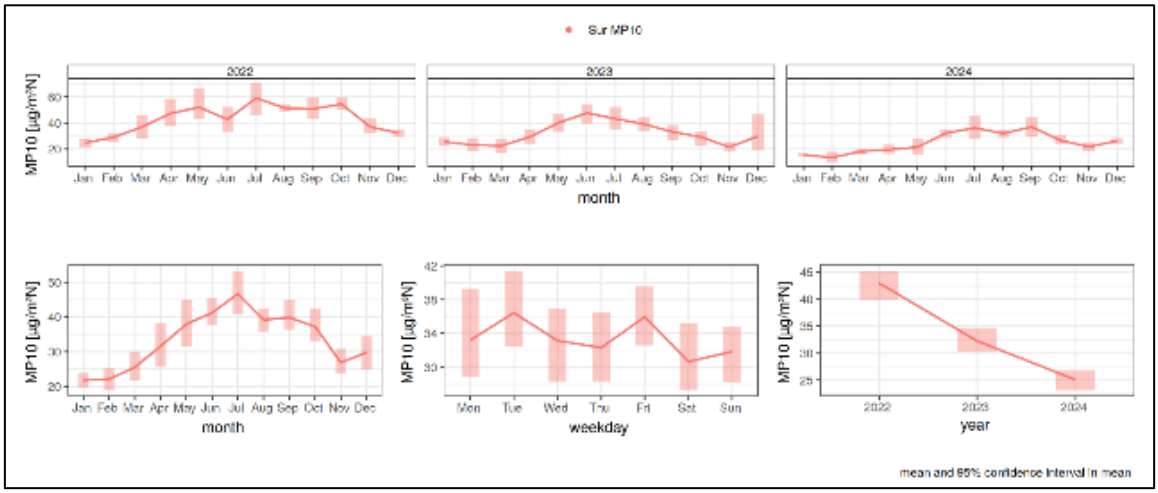


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.3.1.2. Variabilidad Temporal

La Figura 32 presenta la variación temporal de MP10 para el periodo 2022–2024 en la estación Sur, considerando el intervalo de confianza del 95% de la media. En los gráficos superiores se observa el perfil mensual de cada año, con máximos en julio de 2022 (59,2 [µg/m3N]), junio de 2023 (47,7 [µg/m3N]) y septiembre de 2024 (37,0 [µg/m3N]). En el perfil mensual del periodo se aprecia un aumento de las concentraciones hacia el invierno, con un máximo en julio (46,7 [µg/m3N]) y un mínimo en enero (21,7 [µg/m3N]). El perfil semanal no presenta diferencias significativas considerando los intervalos de confianza, mientras que el perfil anual evidencia una disminución sostenida de las concentraciones medias desde 43,0 [µg/m3N] en 2022 a 25,1 [µg/m3N] en 2024.

Figura 32. Variación temporal de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024.

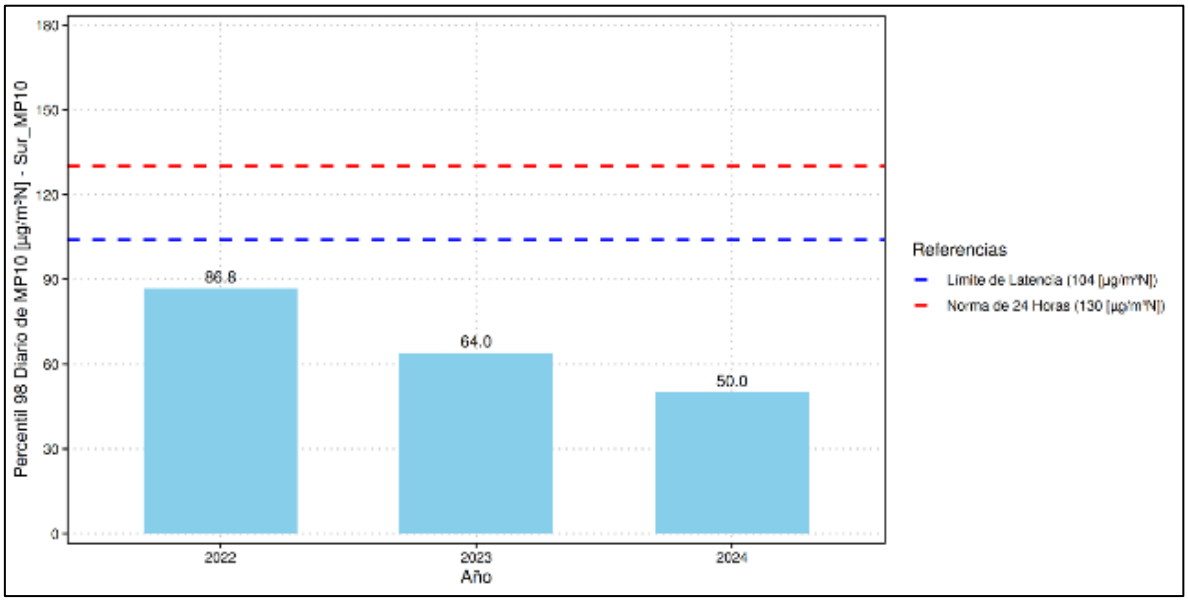


Fuente: Elaboración propia.

2.17.6.4.3.1.3. Evaluación de Concentraciones

La Figura 33 presenta la línea de base del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 del muestreador Hi-Vol de la estación Sur desde el año 2022 al 2024. La gráfica muestra concentraciones inferiores al límite de latencia (104 [µg/m3N]) y a la norma (130 [µg/m3N]) en todos los años, con valores de 86,8, 64,0 y 50,0 [µg/m3N] para los años 2022, 2023 y 2024, respectivamente. Cabe destacar que el año 2022 registra el percentil 98 más alto del periodo.

Figura 33. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} (Hi-Vol), estación Sur, periodo 2022–2024.



Fuente: Elaboración propia.

2.17.7. CONCLUSIONES

A partir de caracterización ambiental del clima, meteorología y calidad del aire de la zona de estudio donde se emplaza el Proyecto se concluye lo siguiente:

- El Área de Influencia de Calidad del Aire para la fase de Línea de Base del Proyecto, se define con los criterios técnicos y normativos establecidos por él SEA, garantizando una delimitación representativa y precautoria. La inclusión de todas las fuentes de emisión relevantes permite asegurar que la caracterización de la calidad del aire sea completa y adecuada para la posterior evaluación. De esta manera, el área establecida proporciona una base sólida para el desarrollo del modelamiento de dispersión y la evaluación ambiental del Proyecto.
- El percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP_{10} se mantuvo, en todas las estaciones y en todos los años evaluados, por debajo del límite de latencia (104 [µg/m^{3}N]) y de la norma (130 [µg/m^{3}N]), con un valor máximo de 86,8 [µg/m^{3}N] en la estación Sur en 2022. Por lo tanto, el área de estudio no presenta una condición de latencia ni de saturación por MP_{10}. Los episodios horarios elevados registrados por el monitor continuo, con un máximo de 390,0 [µg/m^{3}N], corresponden a eventos de corta duración que no comprometen el cumplimiento normativo. Cabe destacar que el PDA es del 2004 (última actualización) y aún se encuentra la nueva versión en proceso de revisión; por lo que, si bien los datos de los últimos tres años disponibles (2022-2024) indican que no se superan los límites normativos ni de latencia, el PDA de María Elena (Decreto 164/2004) sigue vigente y la zona aún se encuentra definida como saturada para MP_{10}.
- Respecto al análisis normativo trianual de MP_{10}, este no fue posible realizarlo, ya que la data disponible solo contaba con datos horarios continuos para la estación Hospital, en el año 2024. Solo se realiza un análisis representativo del promedio anual de este contaminante
- El Proyecto se emplaza en la depresión intermedia de la Región de Antofagasta, bajo un clima desértico interior de condición hiperárida, caracterizado por precipitaciones anuales de entre 2 y 10 [mm], muy baja humedad atmosférica y una marcada amplitud térmica diaria. Las proyecciones de ARClim para el periodo 2025–2065 indican un aumento de 7,8% en la temperatura máxima diaria, sin variaciones relevantes en la precipitación acumulada anual ni en la velocidad media del viento (3,8 [m/s]).
- La meteorología registrada en la estación Hospital durante 2024 muestra vientos débiles, con una velocidad media de 1,31 [m/s] y predominio del sector noreste, con máximos durante la tarde (2,6 [m/s] entre las 16:00 y 17:00 horas) y condiciones de calma durante la madrugada. La temperatura media fue de 19,9 [°C], con una amplitud térmica diaria media de 21 [°C], mientras que la humedad relativa media fue de 23,1 [%], con condiciones extremadamente secas entre junio y octubre. Las condiciones de baja ventilación y mayor estabilidad atmosférica durante la madrugada y primeras horas de la mañana favorecen la acumulación de material particulado.
- Respecto de la calidad del aire, las tres estaciones de la red de María Elena (Hospital, Iglesia y Sur) evidencian una disminución sostenida de las concentraciones anuales de MP_{10} en el periodo 2022–2024, desde 40,7; 40,7 y 43,0 [µg/m^{3}N] en 2022, hasta 23,6;

25,7 y 25,1 [µg/m^3N] en 2024, respectivamente. Las concentraciones presentan un marcado ciclo estacional, con mayores niveles en invierno, y un perfil horario bimodal con máximos entre las 07:00 y 08:00 horas y entre las 21:00 y 22:00 horas, coincidentes con los periodos de menor ventilación. Las menores concentraciones registradas los días domingo sugieren la influencia de fuentes de origen antrópico.

2.17.8. BIBLIOGRAFÍA

- Comité Regional para el Cambio Climático de Antofagasta (CORECC). Plan de Acción Regional de Cambio Climático de la Región de Antofagasta (PARCC). Ministerio del Medio Ambiente.
- Dirección Meteorológica de Chile (DMC). (2001). Climatología regional. Dirección General de Aeronáutica Civil, Santiago, Chile.
- Ley N° 21.562. (2023). Modifica la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, con el objeto de establecer restricciones a la evaluación de proyectos en zonas declaradas latentes o saturadas. Diario Oficial de la República de Chile, 29 de mayo de 2023.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (1998). Decreto Supremo N° 164. Establece Plan de Descontaminación para las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia.
- Ministerio de Salud. (1993). Decreto Supremo N° 1.162. Declara zona saturada por material particulado respirable MP_{10} a las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2014). Planes de descontaminación atmosférica: Estrategia 2014–2018. Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim). https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2021). Decreto Supremo N° 12. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP_{10}. Publicado en el Diario Oficial en junio de 2022.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2024). Resolución Exenta N° 356, de 3 de abril de 2024. Da inicio al proceso de revisión y actualización de los planes de descontaminación de la Región de Antofagasta que indica. Diario Oficial de la República de Chile, 12 de abril de 2024.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2015). Guía para la descripción de la calidad del aire en el área de influencia de proyectos que ingresan al SEIA. Santiago, Chile.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2024). Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA (3.ª ed.). Santiago, Chile.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications (EPA-454/R-99-005). Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.