

ACOMPaña INFORME DE DISPERSIÓN y APORTES A LA CALIDAD DEL AIRE.

S.M.A.

Cristian Rojas Wallis, abogado, mandatario judicial de MINERA IMPERIAL SPA, en causa ROL D-068-2023, a UD digo:

Que, por medio del presente escrito, adjunto informe de dispersión y aporte de aire, efectuado por empresa CESEMC, que da cuenta de la nula injerencia que tiene MINERA IMPERIAL SPA, en la calidad del aire, en la zona de Rinconada de Maipú.

POR TANTO : RUEGO A USTED, tenerlo por acompañado.

**CRISTIAN
ANDRES
ROJAS
WALLIS** Firmado
digitalmente por
CRISTIAN
ANDRES ROJAS
WALLIS
Fecha: 2024.09.06
18:20:51 -04'00'



CESMEC S.A.

**MODELACIÓN DE DISPERSIÓN Y APORTES A LA CALIDAD DEL AIRE
MINERA IMPERIAL**

Para: Minera Imperial SpA.
Contacto: Felipe Soto Blanco
Ingeniero Civil en Minas
Cesmec S.A. Rut: 81.185.000-4

17 de mayo 2024



Índice de contenido

1. Introducción	6
2. Antecedentes generales de la actividad.....	6
3. Clima y meteorología.....	7
3.1. Análisis de temperatura del aire	10
3.1.1. Análisis de humedad relativa.....	17
3.1.1. Análisis de velocidad y dirección del viento	25
4. Modelación meteorológica y dispersión	43
5. Análisis e incertidumbre	50
6. Comparación cuantitativa de variables	57
7. Estimación de Emisiones	57
7.1. Ecuación General de cálculo de emisiones	57
7.2. Actividades o Fuentes de Emisión.....	58
7.1. Cálculo de emisiones.....	59
7.2. Emisión de carguío de material.....	59
7.2.1. Nivel de actividad - Carguío de material.....	60
7.2.2. Emisión Combustión Fuera de Ruta	60
7.2.1. Nivel de actividad - Combustión maquinaria fuera de ruta	63
7.2.1. Emisiones	65
8. Receptores discretos definidos	66
9. Resultados de la modelación.....	67
9.1. Isolíneas de concentraciones.	67
10. Tablas de aportes	79
Partículas	80
Gases	81
Partículas, con medida de abatimiento adicional	85
Partículas, diferencia respecto a escenario sin medida adicional.....	86
11. Resumen y conclusiones	87

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación de las actividades.....	6
Figura 2 Ubicación de la estación meteorológica considerada.	8
Figura 3 Temperatura diaria 2021-2023.	13
Figura 4 Ciclo diario de temperatura 2021-2023.....	13
Figura 5 Ciclo anual de temperatura 2021-2023	14
Figura 6 Humedad relativa diaria 2021-2023.	20
Figura 7 Ciclo diario de humedad relativa 2021-2023.....	20
Figura 8 Ciclo anual de humedad relativa 2021-2023.	21
Figura 9 Velocidad del viento diaria 2021-2023.	29
Figura 10 Ciclo diario de velocidad del viento 2021-2023.....	29
Figura 11 Ciclo anual de velocidad del viento 2021-2023.	30
Figura 12 Rosas de dirección del viento 2021.	40
Figura 13 Rosas de dirección del viento 2022.	41
Figura 14 Rosas de dirección del viento 2023.	42
Figura 15 Dominio y resolución para la modelación de dispersión.....	46
Figura 16 Topografía utilizada (SRTM1 a 30 metros de resolución).	47
Figura 17 Dominio de modelación y usos de suelo (por defecto).	48
Figura 18 Ciclo diario de velocidad observada y modelada.	51
Figura 19 Ciclo anual de velocidad observada y modelada.....	52
Figura 20 Dirección del viento observada y modelada.....	53
Figura 21 Velocidades de viento observada y modelada.	54
Figura 22 Ciclo diario de temperatura observada y modelada.	55
Figura 23 Ciclo anual de temperatura observada y modelada	56
Figura 24 Receptores discretos definidos.....	66
Figura 25 MP10: Percentil 98 de 24 horas.....	69
Figura 26 MP10: Media anual.....	70
Figura 27 MP2.5: Percentil 98 de 24 horas.....	71
Figura 28 MP2.5: Media anual.....	72
Figura 29 SO2: Percentil 99 de 1 hora	73



Figura 30 SO2: Percentil 99 de 24 horas	74
Figura 31 SO2: Media anual.....	75
Figura 32 NO2: Percentil 99 de 1 hora.....	76
Figura 33 NO2: Medial anual.....	77
Figura 34 CO: Percentil 99 de 1 hora	78
Figura 35 CO: Percentil 99 de 8 horas.....	79
Figura 36 Valores de significancia para el aumento de concentraciones de MP10 y M2,5 sobre receptores.	83
Figura 37 Criterios recomendados de incremento significativo en la concentración de contaminantes atmosféricos en zonas saturadas.....	83

Índice de tablas

Tabla 1 Coordenadas punto representativo de las actividades	7
Tabla 2 Detalles de la estación meteorológica considerada.....	9
Tabla 3 Porcentaje de disponibilidad de datos.	9
Tabla 4 Ciclo estacional de temperatura 2021.	15
Tabla 5 Ciclo estacional de temperatura 2022.	16
Tabla 6 Ciclo estacional de humedad relativa 2021.	22
Tabla 7 Ciclo estacional de humedad relativa 2022.	23
Tabla 8 Ciclo estacional de humedad relativa 2023.	24
Tabla 9 Ciclo estacional de velocidad del viento 2021.	31
Tabla 10 Ciclo estacional de velocidad del viento 2022.	32
Tabla 11 Ciclo estacional de velocidad del viento 2023.	33
Tabla 12 Porcentaje de calmas 2021.	34
Tabla 13 Porcentaje de calmas 2022.	35
Tabla 14 Porcentaje de calmas 2023.	36
Tabla 15 Ciclo estacional de dirección del viento 2021.	37
Tabla 16 Ciclo estacional de dirección del viento 2022.	38
Tabla 17 Ciclo estacional de dirección del viento 2023.	39
Tabla 18 Configuración física del modelo WRF 4.3.....	43
Tabla 19 Configuración del modelo CALPUFF.....	45



Tabla 20 Uso de suelos y parámetros de CALPUFF (por defecto).....	49
Tabla 21 Comparación cuantitativa de variables	57
Tabla 22 Actividades o fuentes de emisión	58
Tabla 23 Maquina / Equipo a utilizar en la carga.....	58
Tabla 24 Ecuación para factor de emisión de carguío de material	59
Tabla 25 Nivel de actividad y factor de emisión - Carguío y volteo	60
Tabla 26 Deterioro relativo a la vida útil de maquinaria.	61
Tabla 27 Vida útil de maquinaria.	62
Tabla 28 Factor de ajuste transiente.....	62
Tabla 29 Factores de emisión para maquinaria fuera de ruta.....	62
Tabla 30 Equivalencia en Estándares de Emisiones.....	63
Tabla 31. Nivel de actividad y factor de emisión - Combustión maquinaria fuera de ruta	64
Tabla 32 Resumen de emisiones	65
Tabla 33 Coordenadas de receptores discretos definidos.....	67
Tabla 34. Normas Primarias de Calidad del Aire.....	68
Tabla 35 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas.....	80
Tabla 36 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), gases.....	81
Tabla 37 Verificación de Niveles de Impacto Significativo.....	84
Tabla 38 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas con medida de abatimiento adicional.	85
Tabla 39 Diferencia de aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas.	86
Tabla 40. Resumen de emisiones	88
Tabla 41 Verificación de Niveles de Impacto Significativo.....	89

1. Introducción

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos en la Estimación de Emisiones y Modelación Atmosférica asociado a las actividades de carguío de material de “Extracción de Mineral por Minera Imperial SpA”, de propiedad del titular Sr. Jorge Soto Ponce. La actividad, corresponde a una extracción de Mineral No Metálico, llamado Pumicita, ubicada en el sector de Rinconada Lo Vial, comuna de Maipú.

2. Antecedentes generales de la actividad

La actividad, corresponde a una extracción de mineral no metálico llamado Pumicita, ubicada al Interior de la Estación experimental Agronómica Germán Greve Silva de la Universidad de Chile, en el sector de Rinconada Lo Vial, comuna de Maipú.

Figura 1 Ubicación de las actividades

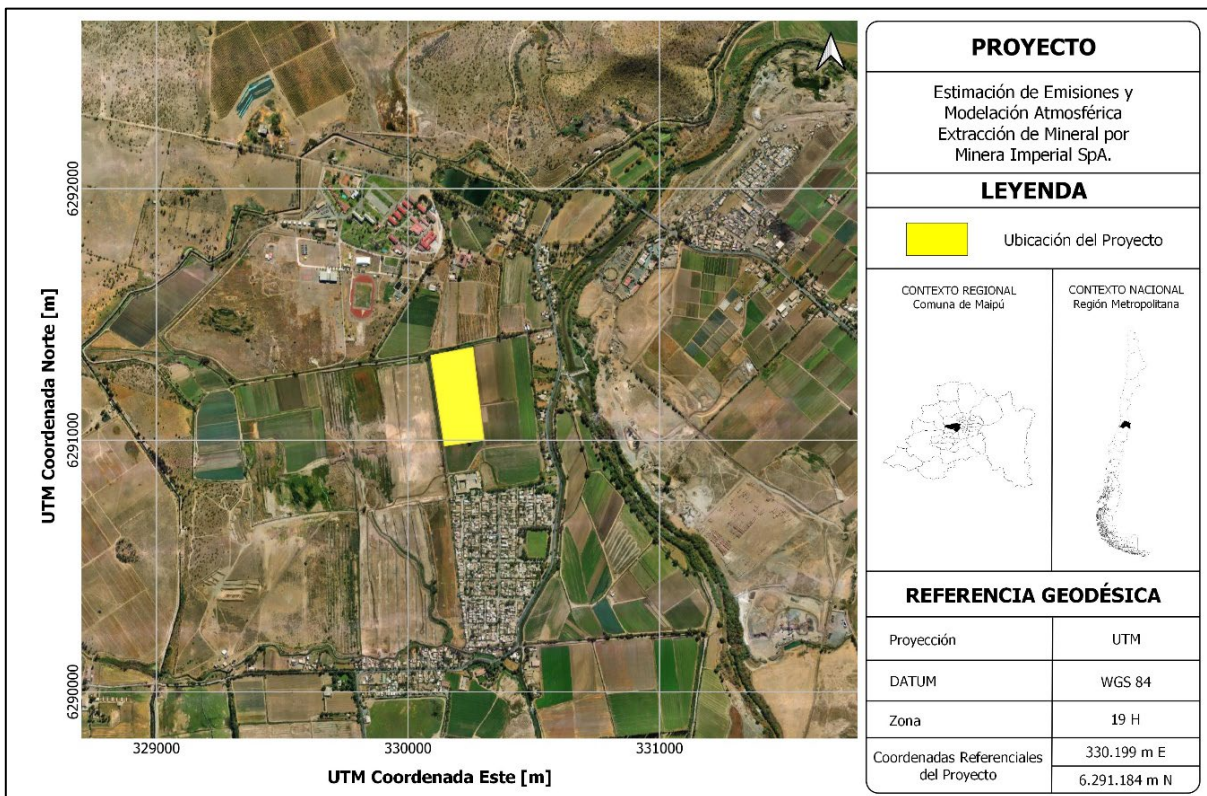


Tabla 1 Coordenadas punto representativo de las actividades

Coordenada central de las actividades (UTM 19S WGS-84)	
Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)
330.199	6.291.184

3. Clima y meteorología

Las actividades de Minera Imperial se desarrollan en la Región Metropolitana de Santiago, sus principales características climáticas corresponden al tipo "mediterráneo", de estación seca larga y con un invierno lluvioso. La temperatura media anual es de 13,9°C, en tanto que el mes más cálido corresponde al mes de enero, alcanzando una temperatura de 22.1°C, y el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,7°C. El sello característico lo constituyen las lluvias, cuyas variaciones permiten destacar condiciones bastantes precarias alcanzando promedios anuales de 356,2 milímetros. Las precipitaciones decrecen desde la costa hacia la depresión intermedia, para aumentar nuevamente en la cordillera de los Andes; originándose de esta manera líneas bioclimáticas generales de la región y de la zona central de Chile.

Con respecto a las precipitaciones presentan una irregularidad, debido a que un año puede ser muy lluvioso y el siguiente muy seco. En el sector de Colina y en menor grado en la zona de Santiago, existen climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa, fenómeno que se debe a la presencia de la cordillera costera relativamente alta que actúa como pantalla, dificultando la penetración de las condiciones climáticas marítimas, en cuanto a la humedad relativa que se presenta en la cuenca de Santiago se puede decir que esta decrece progresivamente.

La presencia de la Cordillera de la Costa y el alejamiento del mar son los principales factores que producen las características de continentalidad del clima de la región de Santiago. En esta región se distinguen dos tipos de climas templado de tipo mediterráneo: con estación seca prolongada y frío de alturas en la Cordillera de los Andes.

Este tipo de clima se desarrolla en todo el territorio regional. Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan a cero grados. Santiago registra una temperatura media anual de 14°C, pero los contrastes térmicos son fuertes en verano las máximas alcanzan valores superiores a 30°C durante el día.

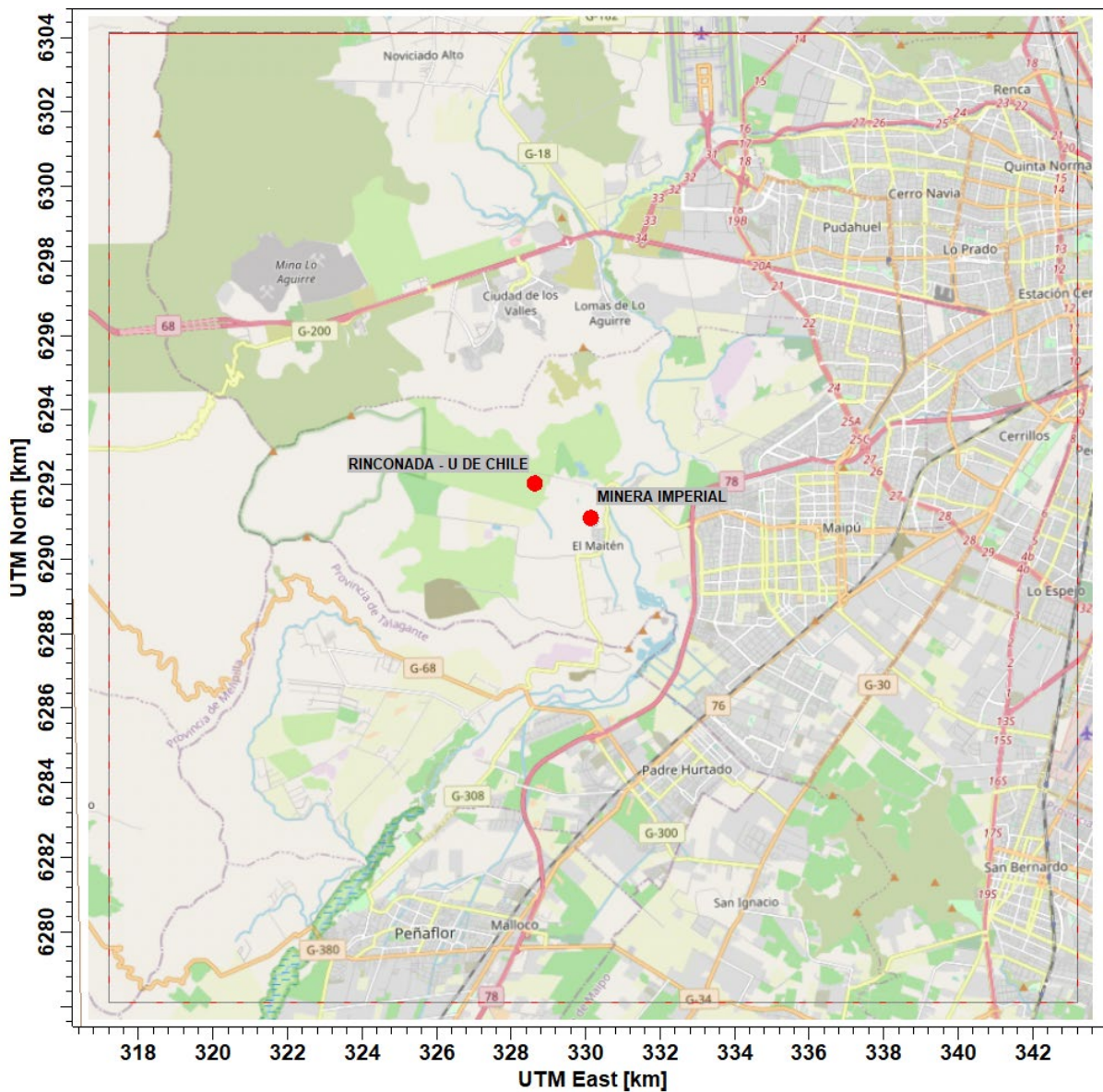
Las precipitaciones se registran durante las temporadas invernales, especialmente durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Santiago presenta 369,5 mm de agua caída promedio anual.

Dentro de la Cuenca de Santiago existen diferencias climáticas locales producidas por el efecto del relieve, al pie oriental de la Cordillera de la Costa y, debido al rol de biombo climático de ésta, se presentan áreas de mayores sequedades, e incluso con características de semi aridez.

El clima frío de altura se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas caracterizan este tipo climático la cual permite la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta cordillera.

En cuanto a la meteorología, para el análisis de variables meteorológicas, se utilizó la estación más próxima con información disponible para el período estudiado y con similitudes topo meteorológicas al área estudiada. De esta manera, la estación disponible corresponde a Rinconada - U de Chile, ubicada aproximadamente a 2 kilómetros al noroeste de la operación, y cuyos datos se encuentran disponibles públicamente en la plataforma web: <https://agrometeorologia.cl>. Su ubicación, se muestra en la Figura 2.

Figura 2 Ubicación de la estación meteorológica considerada.



Mas detalles de la estación considerada se presentan en la Tabla 2. El análisis corresponde a la información de los años 2021, 2022 y 2023.

Tabla 2 Detalles de la estación meteorológica considerada.

Estación	UTME 19S WGS-84 (m)	UTMN 19S WGS-84 (m)	Altitud (m)	Variables
Rinconada - U de Chile	329.060	6.292.875	462	<ul style="list-style-type: none"> •Temperatura (°C). •Humedad relativa (%). •Velocidad del viento (m/s). •Dirección del viento (°).

A continuación, se presenta un análisis de variables de interés para los fenómenos atmosféricos que inciden en la dispersión y transporte de contaminantes. Se analizaron los años 2021, 2022 y 2023, donde el porcentaje de disponibilidad de datos se presenta en la Tabla 3, y se puede ver que para todos los años, se cumple con la cantidad de información necesaria del 75% para considerar el análisis como representativo.

Tabla 3 Porcentaje de disponibilidad de datos.

Año	Variable	Período inicio	Período fin	Disponibilidad de datos
2021	Temperatura	01/01/2021 00:00	31/12/2021 23:00	99,9 %
	Humedad relativa	01/01/2021 00:00	31/12/2021 23:00	99,9 %
	Velocidad del viento	01/01/2021 00:00	31/12/2021 23:00	99,9 %
	Dirección del viento	01/01/2021 00:00	31/12/2021 23:00	99,9 %
2022	Temperatura	01/01/2022 00:00	31/12/2022 23:00	100 %
	Humedad relativa	01/01/2022 00:00	31/12/2022 23:00	100 %
	Velocidad del viento	01/01/2022 00:00	31/12/2022 23:00	100 %
	Dirección del viento	01/01/2022 00:00	31/12/2022 23:00	100 %
2023	Temperatura	01/01/2023 00:00	31/12/2023 23:00	99,7 %
	Humedad relativa	01/01/2023 00:00	31/12/2023 23:00	99,7 %
	Velocidad del viento	01/01/2023 00:00	31/12/2023 23:00	99,7 %
	Dirección del viento	01/01/2023 00:00	31/12/2023 23:00	99,7 %

3.1. Análisis de temperatura del aire

Para el año 2021 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de temperatura del 99,99%. A nivel horario, la temperatura mínima es de $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la máxima es de $33,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; la temperatura media anual es de $14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una desviación estándar de $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante las estaciones frías del año, la temperatura mínima promedia los $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes de julio el mes más frío y, por otro lado, la temperatura máxima durante esta temporada promedia los $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el mes de abril, presentando una oscilación térmica muy baja durante las estaciones frías de $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante las estaciones cálidas del año, la temperatura mínima promedia los $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes de octubre el mes más frío de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes más cálido de la temporada el mes de enero. La oscilación térmica durante las estaciones cálidas se presenta escasa con $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más frío corresponde al mes de julio con $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el mes más cálido corresponde al mes de enero con $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, presentando con ello, una oscilación térmica intra anual moderadamente baja de $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la temperatura mínima promedio es de $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de $19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una oscilación térmica baja de $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante este período del día.

Durante el período diurno, la temperatura mínima promedio es de $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la mañana, alrededor de las 6 am y la temperatura máxima promedio es de $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una oscilación térmica moderada de $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el período diurno.

En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más frío corresponde a la madrugada con $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el más cálido corresponde al período de la tarde con $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, presentando con ello, una oscilación térmica intra diaria moderada de $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para el año 2022 la estación Puente Alto cuenta con una disponibilidad de datos de temperatura del 100%. A nivel horario, la temperatura mínima es de $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la máxima es de $36,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; la temperatura media anual es de $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una desviación estándar de $7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante las estaciones frías del año, la temperatura mínima promedia los $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes de julio el mes más frío y, por otro lado, la temperatura máxima durante esta temporada promedia los $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el mes de abril, presentando una oscilación térmica muy baja durante las estaciones frías de $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante las estaciones cálidas del año, la temperatura mínima promedia los $14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes de octubre el mes más frío de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes más cálido de la temporada el mes de diciembre. La oscilación térmica durante las estaciones cálidas se presenta muy baja con $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más frío corresponde al mes de julio con 7,2 °C, y el mes más cálido corresponde al mes de diciembre con 21,2 °C, presentando con ello, una oscilación térmica intra anual moderadamente baja de 6.5 °C.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la temperatura mínima promedio es de 7,3 °C durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de 18,7 °C durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una oscilación térmica baja de 11,4 °C durante este período del día.

Durante el período diurno, la temperatura mínima promedio es de 7,4 °C durante la mañana, alrededor de las 6 am y la temperatura máxima promedio es de 22,3 °C durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una oscilación térmica moderadamente baja de 14,9 °C durante el período diurno.

En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más frío corresponde a la madrugada con 7,3 °C, y el más cálido corresponde al período de la tarde con 22,3 °C, presentando con ello, una oscilación térmica intra diaria moderadamente baja de 15,0 °C.

Para el año 2023 la estación Puente Alto cuenta con una disponibilidad de datos de temperatura del 99,67%. A nivel horario, la temperatura mínima es de -4,0 °C, mientras que la máxima es de 35,3 °C; la temperatura media anual es de 15,0 °C, con una desviación estándar de 7,3 °C.

Durante las estaciones frías del año, la temperatura mínima promedia los 9,9 °C, siendo el mes de julio el mes más frío y, por otro lado, la temperatura máxima durante esta temporada promedia los 15,6 °C durante el mes de abril, presentando una oscilación térmica muy baja durante las estaciones frías de 5,7 °C.

Durante las estaciones cálidas del año, la temperatura mínima promedia los 13,0 °C, siendo el mes de octubre el mes más frío de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 21,7 °C, siendo el mes más cálido de la temporada el mes de febrero. La oscilación térmica durante las estaciones cálidas se presenta muy baja con 8,8 °C.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más frío corresponde al mes de julio con 9,9 °C, y el mes más cálido corresponde al mes de febrero con 21,7 °C, presentando con ello, una oscilación térmica intra anual baja de 8.8 °C.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la temperatura mínima promedio es de 8,3 °C durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de 19,3 °C durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una oscilación térmica baja de 11,0 °C durante este período del día.

Durante el período diurno, la temperatura mínima promedio es de 8,2 °C durante la mañana, alrededor de las 6 am y la temperatura máxima promedio es de 22,7 °C durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una oscilación térmica moderadamente baja de 14,5 °C durante el período diurno.



En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más frío corresponde a la madrugada con 8,2 °C, y el más cálido corresponde al período de la tarde con 22,7 °C, presentando con ello, una oscilación térmica intra diaria moderadamente baja de 14,5 °C.

Figura 3 Temperatura diaria 2021-2023.

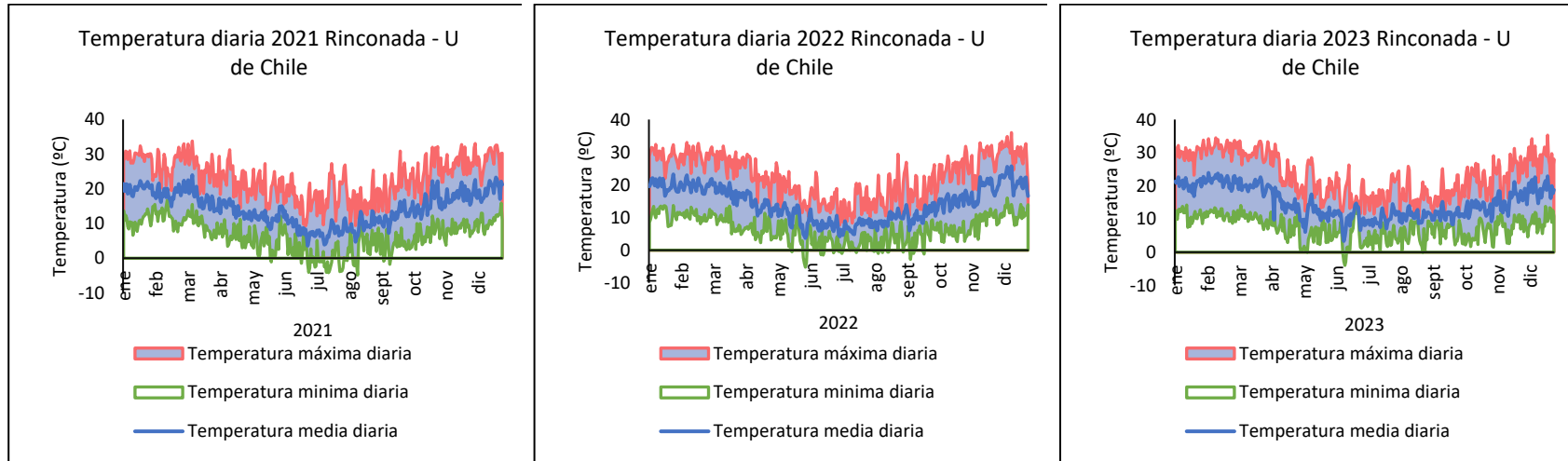


Figura 4 Ciclo diario de temperatura 2021-2023.

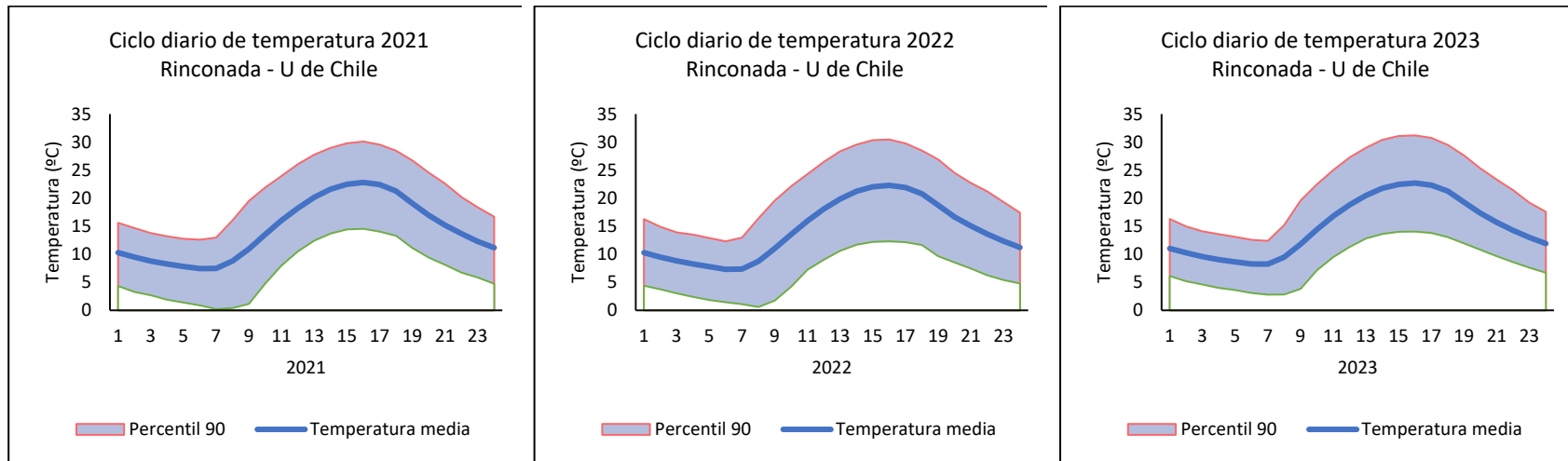


Figura 5 Ciclo anual de temperatura 2021-2023

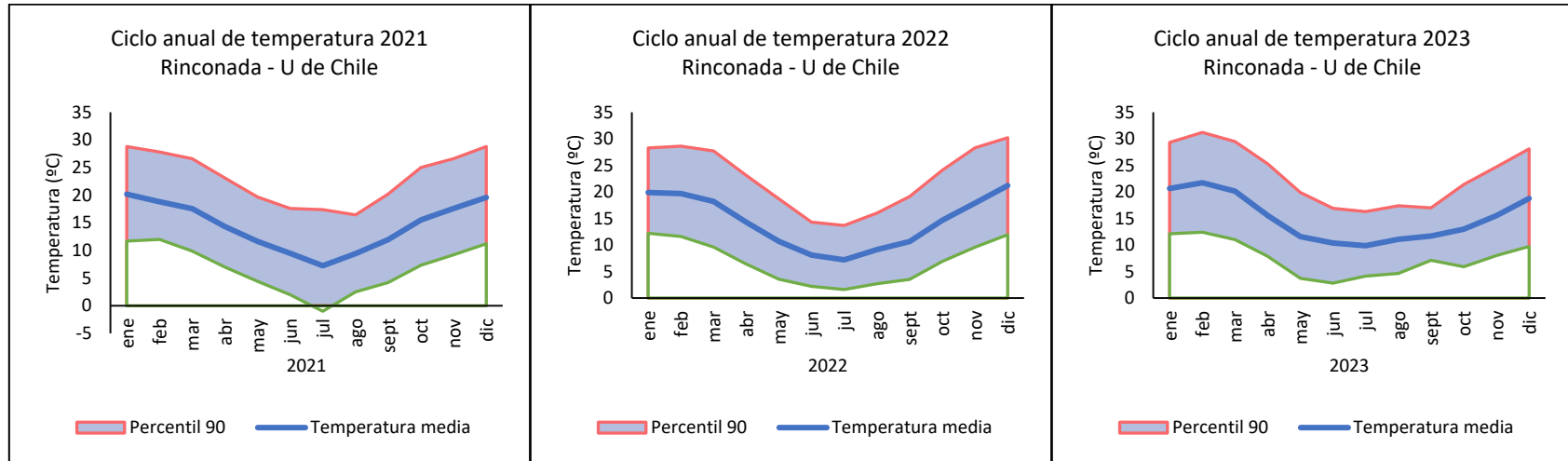


Tabla 4 Ciclo estacional de temperatura 2021.

Datos de temperatura (°C) 2021 Rinconada - U de Chile													
	2021	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	15.1	14.5	13.6	10.5	8.4	7	3.1	6.1	8.2	10.8	12.2	14.4
	1	14.1	13.6	12.5	9.6	7.7	6.4	2.4	5.7	7.3	10	11.3	13.5
	2	13.3	12.9	11.7	8.9	7.1	5.7	1.6	5.4	6.6	9.4	10.4	12.5
	3	12.6	12.8	11.3	8.7	6.6	5.5	1.3	5.2	5.9	8.6	9.7	11.6
	4	11.9	12.3	11	8.2	6.1	5.3	0.8	4.9	5.4	8.1	9.2	10.9
Mañana	5	11.4	12.3	10.7	7.8	5.8	5	0.4	4.8	4.9	7.5	8.8	10.4
	6	11.7	12.1	10.3	7.6	5.2	4.7	0	4.7	4.6	7.3	9.9	11.8
	7	15.4	13.4	10.8	7.7	4.9	4.3	0	4.5	5.3	10.6	13.4	15.7
	8	18.4	16.2	14	9.8	5.9	4.6	0.3	5.2	8.9	14.1	16	18.2
	9	21	18.3	16.7	13	9.2	6.7	3.4	7.8	11.8	16.1	18.5	20.2
	10	23.1	20.2	19.2	15.6	12.7	9.4	7.5	10.1	14.2	18.1	20.6	22.2
Tarde	11	24.9	21.9	21.4	17.8	15.3	11.9	11	12.2	16.1	20	22.6	24.1
	12	26.6	23.6	23	19.8	17.4	14.2	14	14	17.7	21.7	24.3	25.9
	13	27.9	25	24.4	21.4	18.6	15.9	16.3	15.2	18.9	23	25.6	27.3
	14	28.5	26	25.4	22.5	19.6	16.8	17.4	16.1	19.5	23.6	26.3	28.1
	15	28.6	26.7	26	23	19.9	17.1	17.8	16.4	19.8	23.9	26.4	28.3
	16	28.1	26.7	25.8	22.6	19.8	16.6	17.3	16.1	19.5	23.4	25.8	27.7
Noche	17	27	26	25	21.5	18.2	15.2	15.6	15.2	18.5	22.3	24.6	26.5
	18	25.4	24.6	23.1	18.9	15.3	12.4	11.8	13.1	16.5	20.4	22.7	25
	19	23.5	22.4	20.6	16.7	13.3	10.7	9.2	11.3	14.3	18	20.4	23.1
	20	21.6	20	18.7	15	11.8	9.4	7.4	9.8	12.7	16.2	18.7	21.1
	21	19.9	18	16.9	13.7	11	8.4	6.1	8.5	11.3	14.5	16.8	19
	22	18.1	16.5	15.3	12.2	10.4	7.6	5.1	7.3	10.1	12.9	14.8	17.2
	23	16.3	15.4	14.2	11.2	9.4	7.1	4	6.7	9.1	11.9	13.3	15.6
\bar{x} mensual		20.2	18.8	17.6	14.3	11.7	9.5	7.2	9.4	12	15.5	17.6	19.6
\bar{x} estacional		18.9			11.8			9.5			17.6		
\bar{x} anual		14.5											

Tabla 5 Ciclo estacional de temperatura 2022.

Datos de temperatura (°C) 2022 Rinconada - U de Chile													
	2022	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	15.4	15.1	13.9	10.6	7.7	5.6	4.7	6.3	7.1	9.4	12.2	15.8
	1	14.3	14	12.8	9.5	7.1	5	4.4	6	6.6	8.7	11.2	14.7
	2	13.4	13.1	12	8.6	6.8	4.7	4.2	5.6	5.8	8	10.6	13.3
	3	12.6	12.2	11.3	8.1	6.3	4.4	3.9	5.1	5.4	7.3	10.2	12.7
	4	11.9	11.6	10.5	7.6	5.8	4.1	3.5	4.7	5.3	7.1	9.6	12
	5	11.3	11.1	10	7.1	5.4	3.8	3.3	4.2	4.9	6.5	9	11.3
Mañana	6	11.7	10.7	9.5	6.8	5.2	3.5	2.9	4	4.7	6.6	10.2	12.9
	7	15	13	9.8	6.8	4.8	3.3	2.7	3.7	5	9.6	14.1	17.6
	8	17.6	17.2	14	9.4	5.5	3.5	3	4.7	7.4	13	17.1	20.4
	9	19.7	19.7	17.2	13	8.4	5.2	4.8	7.4	10.2	15.3	19.4	22.6
	10	21.8	22	19.9	15.8	11.2	7.8	7.1	10	12.4	17.6	21.5	24.7
	11	23.8	24.1	22.3	18.3	13.6	10	9.3	12	14.4	19.6	23.4	26.5
Tarde	12	25.7	26	24.3	20.2	15.5	12	10.9	13.6	15.9	21.3	25	28
	13	27.3	27.5	25.9	21.7	17.3	13.4	12.4	14.8	17.1	22.7	26	29.1
	14	28.2	28.4	26.9	22.5	18.2	14.6	13.1	15.6	17.7	23.4	26.7	29.7
	15	28.6	28.5	27.4	22.9	18.4	15	13.3	15.9	18	23.5	26.6	29.8
	16	28.1	28.1	27.2	22.5	17.9	14.7	13.1	15.8	17.7	23	25.7	29.2
	17	26.8	27	26.4	21.4	16.5	13.3	12.2	14.9	17.1	21.7	24.5	28.1
Noche	18	25.1	25.2	24.7	19.1	14	11	9.9	12.5	15	19.6	22.8	26.3
	19	23.1	23	22	17.2	12.2	9.6	8.4	10.5	12.2	17.1	20.5	24.2
	20	21.3	21.4	19.8	15.4	11.1	8.5	7.6	9.1	10.5	15.3	18.4	22.5
	21	19.8	19.6	18	14	10	7.7	6.7	8.1	9.1	13.4	16.4	20.9
	22	18.2	17.8	16.5	12.7	8.9	6.9	5.9	7.6	8.3	12	14.7	19
	23	16.7	16.3	14.9	11.6	8.1	6.5	5.3	6.9	7.6	10.4	13.3	17.3
\bar{x} mensual		19.9	19.7	18.2	14.3	10.7	8.1	7.2	9.1	10.6	14.7	17.9	21.2
\bar{x} estacional		19.3			11			9			17.9		
\bar{x} anual		14.3											

3.1.1. Análisis de humedad relativa

Para el año 2021 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de humedad del 99,99%. A nivel horario, la humedad mínima es de 8,6%, mientras que la máxima es de 97,9%; la humedad media anual es de 62,4%, con una desviación estándar de 22,4%.

Durante las estaciones frías del año, la humedad mínima promedia el 62,3%, siendo el mes de septiembre el mes más húmedo y, por otro lado, la humedad máxima durante esta temporada promedia el 73,9% durante el mes de junio, presentando una variación moderadamente baja durante las estaciones frías de 11,6%.

Durante las estaciones cálidas del año, la humedad mínima promedia el 52,0%, siendo el mes de enero el mes más seco de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 65,7%, siendo el mes más húmedo de la temporada el mes de febrero. La variación de la humedad durante las estaciones cálidas se presenta moderadamente baja con 13,7%.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más seco corresponde al mes de enero con 52,0% de humedad, y el mes más húmedo corresponde al mes de junio con 73,9%, presentando con ello, una variación de la humedad intra anual moderada de 13,7 %.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la humedad mínima promedio es de 48,0% durante la tarde, alrededor de las 18 horas, mientras que la máxima promedio es de 83,4% durante la madrugada, alrededor de las 5 am, presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad de 35,5% durante este período del día.

Durante el período diurno, la humedad mínima promedio es de 37,7% durante la tarde, alrededor de las 15 horas y la humedad máxima promedio es de 83,2% durante las horas de la mañana, alrededor de las 6 am presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad de 45,5% durante el período diurno.

En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más seco corresponde a la tarde con 37,7%, y el más húmedo corresponde al período de la madrugada con 83,4%, presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad intra diaria de 45,7%.

Para el año 2022 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de humedad del 100%. A nivel horario, la humedad mínima es de 7,7%, mientras que la máxima es de 98,8%; la humedad media anual es de 63,4%, con una desviación estándar de 23,3%.

Durante las estaciones frías del año, la humedad mínima promedia el 60,9%, siendo el mes de abril el mes más húmedo y, por otro lado, la humedad máxima durante esta temporada promedia el 82,4% durante el mes de julio, presentando una variación moderada durante las estaciones frías de 21,5%.

Durante las estaciones cálidas del año, la humedad mínima promedia el 47,2%, siendo el mes de diciembre el mes más seco de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 58,7%, siendo el

mes más húmedo de la temporada el mes de octubre. La variación de la humedad durante las estaciones cálidas se presenta moderadamente baja con 11,5%.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más seco corresponde al mes de diciembre con 47,2% de humedad, y el mes más húmedo corresponde al mes de julio con 82,4%, presentando con ello, una variación de la humedad intra anual moderadamente alta de 11.5 %.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la humedad mínima promedio es de 50,2% durante la tarde, alrededor de las 18 horas, mientras que la máxima promedio es de 83,5% durante la madrugada, alrededor de las 5 am, presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad de 33,4% durante este período del día.

Durante el período diurno, la humedad mínima promedio es de 39,9% durante la tarde, alrededor de las 15 horas y la humedad máxima promedio es de 83,3% durante las horas de la mañana, alrededor de las 6 am presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad de 43,4% durante el período diurno.

En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más seco corresponde a la tarde con 39,9%, y el más húmedo corresponde al período de la madrugada con 83,5%, presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad intra diaria de 43,6%.

Para el año 2023 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de humedad del 99.67%. A nivel horario, la humedad mínima es de 8,8%, mientras que la máxima es de 97,9%; la humedad media anual es de 64,4%, con una desviación estándar de 22,5%.

Durante las estaciones frías del año, la humedad mínima promedia el 58,1%, siendo el mes de abril el mes más húmedo y, por otro lado, la humedad máxima durante esta temporada promedia el 78,1% durante el mes de julio, presentando una variación moderada durante las estaciones frías de 20,0%.

Durante las estaciones cálidas del año, la humedad mínima promedia el 46,7%, siendo el mes de febrero el mes más seco de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 69,2%, siendo el mes más húmedo de la temporada el mes de octubre. La variación de la humedad durante las estaciones cálidas se presenta moderada con 22,5%.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes más seco corresponde al mes de febrero con 46,7% de humedad, y el mes más húmedo corresponde al mes de julio con 78,1%, presentando con ello, una variación de la humedad intra anual moderada de 22.5 %.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la humedad mínima promedio es de 52,0% durante la tarde, alrededor de las 18 horas, mientras que la máxima promedio es de 83,6% durante la madrugada, alrededor de las 5 am, presentando con ello, una variación moderada de la humedad de 31,6% durante este período del día.



Durante el período diurno, la humedad mínima promedio es de 42,4% durante la tarde, alrededor de las 15 horas y la humedad máxima promedio es de 83,9% durante las horas de la mañana, alrededor de las 6 am presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad de 41,5% durante el período diurno.

En términos generales, a nivel intra diario, el período del día más seco corresponde a la tarde con 42,4%, y el más húmedo corresponde al período de la mañana con 83,9%, presentando con ello, una variación moderadamente alta de la humedad intra diaria de 41,5%.

Figura 6 Humedad relativa diaria 2021-2023.

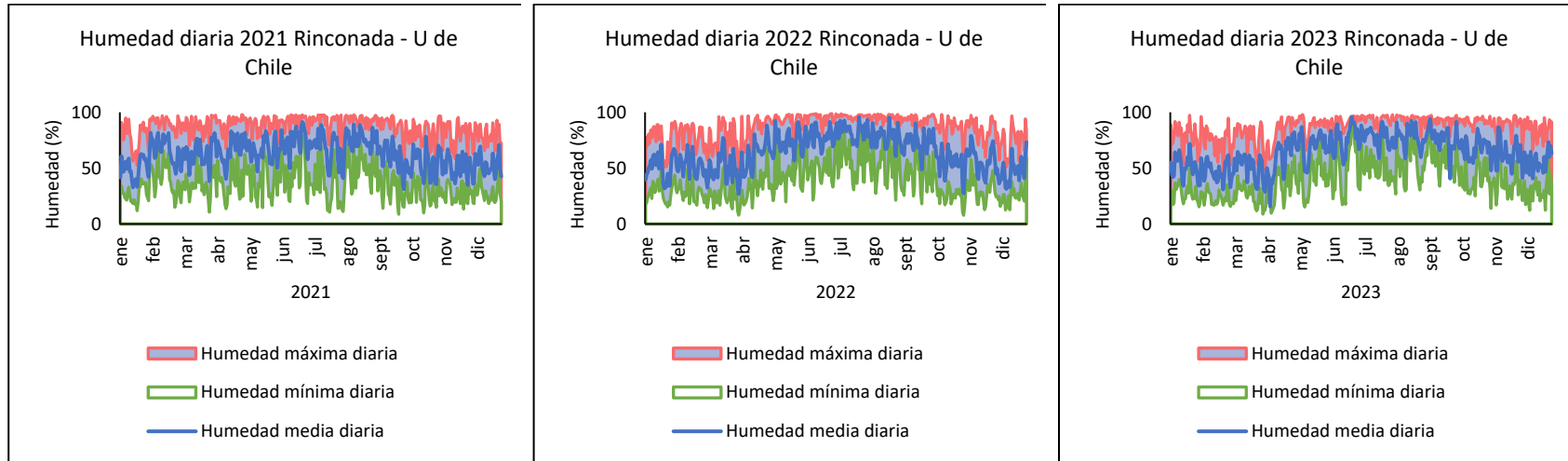


Figura 7 Ciclo diario de humedad relativa 2021-2023.

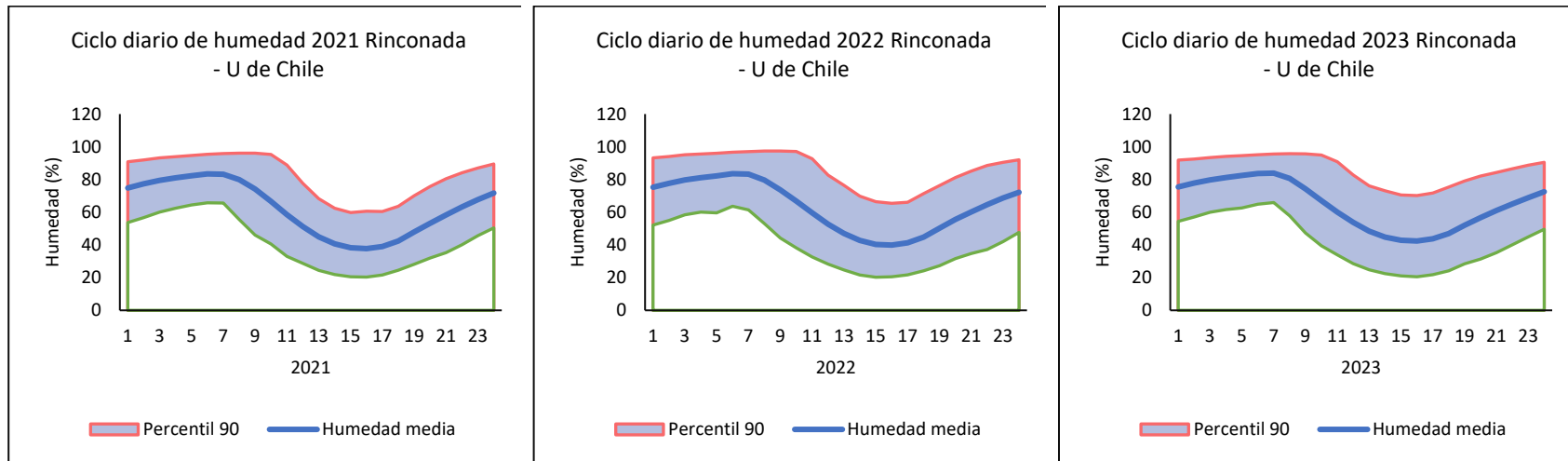


Figura 8 Ciclo anual de humedad relativa 2021-2023.

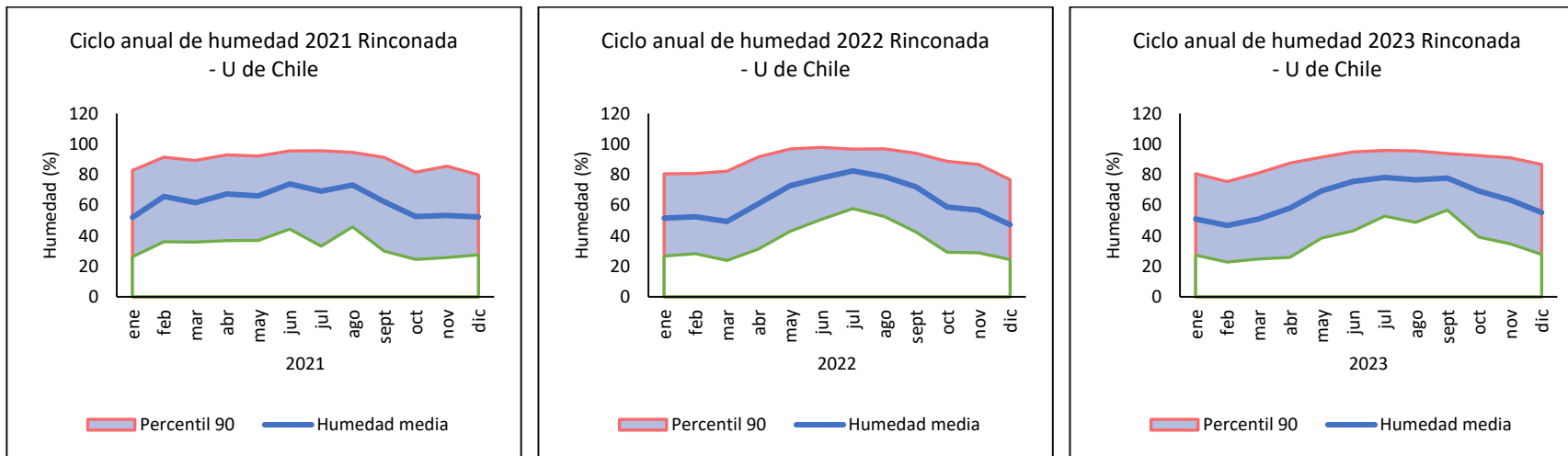


Tabla 6 Ciclo estacional de humedad relativa 2021.

Datos de humedad (%) 2021 Rinconada - U de Chile													
	2021	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	65.5	79.8	73	79.2	76.1	82	82.1	83.2	74.6	65.5	69.7	67.6
	1	69.2	82.7	76.4	81.6	78.2	83.7	84.3	85.1	77.3	67.8	72.4	70.1
	2	71.4	85.3	79.2	83.8	80.4	85.3	86.2	86.3	79.5	69.7	74.7	72.8
	3	73.1	86	80.3	85.1	82.7	86.3	86.9	87.2	81.9	72.1	76.2	74.7
	4	75.1	87.2	81.4	86.1	84.2	86.9	88.1	88.1	83.2	74	77.2	76.6
	5	75.8	87.4	82.7	87.5	85.7	88	88.7	88.7	84.3	75.8	79.4	77.6
Mañana	6	74.2	88.1	84.3	88.2	86.8	88.9	89.4	88.6	85.6	75.8	76.1	73.4
	7	66	84	83	88.8	87.6	89.5	89.8	89	83.2	66.5	67.9	64.7
	8	56.5	75.5	74.7	83.1	86.2	89.5	89.8	88.2	73.7	56.9	59.5	57
	9	48.8	68.1	66.2	74.1	76.2	85	83.5	81.2	64.2	51.2	50.6	50.6
	10	43.2	61.2	56.9	64.6	64.6	77.4	71.4	73.3	56.1	45.5	43.9	44.8
	11	38.4	55.3	49.8	57.1	54.9	68	60.2	64.4	49.1	39.7	38.6	39.7
Tarde	12	34.6	49.5	44.8	49.7	48.1	59.9	48.8	57.5	43.9	35	33.7	34.8
	13	32	45.2	40.7	44.1	43.8	53.3	41	53.5	40.2	31.5	30.9	31.9
	14	31.1	42.8	37.6	41.1	40.9	50.4	37	50.3	38.4	30.8	29.6	30.4
	15	31.7	41	36.6	39.3	40	50.1	36.3	50.2	37.7	30.4	29.6	30.5
	16	33.5	41.3	37.2	40.8	40.8	51.8	38.5	51.3	38.8	32	30.8	32.1
	17	35.7	43.3	40.4	44.4	46.2	56.3	44.9	54.4	41.8	34.3	33.2	33.9
Noche	18	38.6	46.3	44.9	51.9	53.4	63.7	55.8	60.9	47.1	38.8	37.7	36.6
	19	41.9	52.2	50.7	58.6	58.6	68.3	62.8	66.4	52.9	44.1	42.7	40.1
	20	45.2	59.2	56.5	64.9	63.3	73	67.8	71.3	58.3	49.2	46.7	44.7
	21	49.2	66.6	62.3	69.8	66.5	76	72.1	75.8	63.3	54.4	52.7	50.6
	22	54.7	72.1	67.2	73.9	68.4	78.5	75.6	79.7	67.9	59.1	59.4	56.7
	23	61.7	75.9	71.3	76.9	72	81.2	78.9	82	71.3	62.8	65	62.3
\bar{x} mensual	52	65.7	61.6	67.3	66.1	73.9	69.2	73.2	62.3	52.6	53.3	52.3	
\bar{x} estacional		59.8			69.1			68.2			52.7		
\bar{x} anual		62.5											

Tabla 7 Ciclo estacional de humedad relativa 2022.

Datos de humedad (%) 2022 Rinconada - U de Chile													
	2022	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	63.5	66.5	59.6	71.5	82.9	86.8	91.1	87.2	84.3	75.2	72.6	61.2
	1	67.6	69.3	62.8	73.7	84.2	88.8	91.9	88.8	86.4	77.6	75.9	64.6
	2	70.8	71.6	65.4	76.5	85.5	89.9	92.8	90.2	88.5	80	77.3	67.6
	3	71.9	73.8	67.3	77.9	87	90.8	92.8	91.3	89.7	82.3	78.4	69
	4	73.2	74.6	68.9	79.4	88	91.5	93.3	92	90.4	83.5	80.1	70.9
	5	74.7	76	70.7	81.3	89.4	92.4	93.8	93	91.1	85.5	81.6	72.7
Mañana	6	73.7	76.8	72.9	82.1	90.5	93.1	94.3	93.4	91.4	85	77.6	68
	7	65.9	70.7	71.6	81.8	91.2	93.2	94.8	94.1	90.5	76.4	67.9	57.1
	8	58.5	60.1	61.3	75.4	90	92.3	94.9	92.1	84.4	65.8	58.6	49.2
	9	51.6	52.4	53.1	67.8	82	89.4	91.9	86.2	74.9	57.2	51.2	43.4
	10	45.8	45.4	45.4	58.7	73.2	82.2	85.4	78.2	66.5	48.9	45.7	38.6
	11	40.4	39.5	38.5	49.9	64.8	72.7	77.1	72.1	58.9	42.7	40.6	34.2
Tarde	12	35.5	34.5	33.2	44	57.9	64.5	70.5	65.6	53.3	37.4	36.1	31.2
	13	32.2	31	29.6	39.2	50.1	59.1	63.9	60.8	49.6	33.6	33.6	29.2
	14	30	29.7	27.9	35.6	46.8	53.8	61.2	57.6	47.7	32.2	32.8	27.9
	15	30	30.2	27.6	34.9	45.7	51.3	60.8	57.4	46.8	32.5	33.4	27.5
	16	31.5	30.9	28.4	36.9	47.9	53.1	62.1	57.8	47.2	34.5	35.4	28.5
	17	34.1	33	30	41.3	53.7	59.9	66.8	61.1	49.5	37.5	38.6	30.5
Noche	18	37.5	36.6	32.5	47.5	60.9	67.1	74.6	68.3	57.3	42.8	42.8	33.5
	19	41.6	41	38.4	52.5	66.9	71.9	78.9	74	65.9	49.3	48.6	37.2
	20	45.5	45.2	42.8	57.2	71.4	76.7	82	78.5	72.6	54.4	54.5	40.3
	21	49.3	50.4	47.6	61.8	75.2	79.7	85.6	81.1	77.8	60.1	61	44.8
	22	54.1	56.6	52.1	66.1	78.3	82.5	88	83.2	81	65	66.7	50.4
	23	58.7	62.1	56.3	69.6	80.8	84.7	89.5	84.7	83	70.1	71	55.8
\bar{x} mensual		51.6	52.4	49.3	60.9	72.7	77.8	82.4	78.7	72	58.7	56.8	47.2
\bar{x} estacional		51.1			70.5			77.7			54.2		
\bar{x} anual		63.4											

Tabla 8 Ciclo estacional de humedad relativa 2023.

Datos de humedad (%) 2023 Rinconada - U de Chile													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	64.6	60.6	64.2	66.9	78.4	82	85.3	84.5	85.7	83.5	77.4	71.8
	1	68.4	63.7	67.7	69.1	80.7	83.4	86.3	86	87.5	85.2	80	75.5
	2	71.1	66.2	69.8	71.3	82.9	84.9	87.9	88.1	88	85.9	81.8	77.6
	3	73	67.7	71.6	73.4	83.9	86.6	88.8	88.7	88.8	87.8	83.4	79.5
	4	75.2	68.8	73.3	74.8	84.8	87.6	89	89.9	89.3	88.8	85.4	81.4
	5	76.5	69.6	74.1	76.2	85.4	88.3	89.9	91.7	90.4	90.3	87.3	82.8
Mañana	6	75.3	71.1	75.6	77.5	86.8	88.9	90.6	91.5	91.5	90.7	86.6	79.6
	7	65.8	65.4	74	77.8	87.7	89.5	91.3	91.4	91	87.9	76.5	68.1
	8	55.5	52.9	61.9	73.1	86.1	89.6	92	90.8	86.6	76.6	66.6	58.9
	9	47.8	44.4	51.2	65.2	78.9	85.1	89.5	84.8	79.3	66.9	59.1	51.6
	10	41.9	38.3	43.5	57	68.9	77.8	82.3	76.4	73.2	60.4	54.4	45.5
	11	36.7	32.8	37.4	49.8	60.4	68.9	73.1	70.3	68.2	56.4	49.2	40.4
Tarde	12	33	28.8	32.9	43.4	52.6	62	65.1	64.2	65.2	51.4	45.8	36
	13	30.7	26	29.8	38.9	47.2	57.4	58.4	59.4	63.1	48.6	43.3	33.2
	14	30	24.6	27.7	36.3	45.4	55.3	55.5	57.3	61.2	46.4	41.5	31.7
	15	30	25.2	27.2	34.6	45.2	54.9	55.3	55.6	61.7	45.9	40.7	31.5
	16	31.6	26.9	28.2	35.6	46.9	55.8	57	57.1	62.8	47.2	41.7	33.1
	17	33.7	29	31.2	39.1	52.2	60.7	62.6	60.7	64.5	50.3	43.7	34.9
Noche	18	36.5	31.7	34.9	44.9	59.2	67.7	70.2	67.3	69.3	55.4	47.7	38.4
	19	39.6	35.4	39.4	49.7	64.3	72.2	75.8	70.5	74.1	61.3	54.3	42.7
	20	43.4	39.7	44.3	55.1	67.4	74.8	79.4	74.8	76.9	67	60.6	48.1
	21	48.2	44.8	49	59.1	70.3	77	81.1	76.8	80.2	71.3	66.5	54.7
	22	54	51	54.1	62.7	72.8	79.6	83	78.7	83	75.9	71.3	60.3
	23	59.9	56	59.2	65.4	75.6	81.2	84.9	81.7	84.8	80	74.7	66.7
\bar{x} mensual	50.9	46.7	50.9	58.2	69.3	75.5	78.1	76.6	77.8	69.2	63.3	55.2	
\bar{x} estacional		49.5			67.7			77.5			62.6		
\bar{x} anual		64.3											

3.1.1. Análisis de velocidad y dirección del viento

Para el año 2021 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de velocidad de viento del 99.99%. A nivel horario, la velocidad de viento mínima es de 0,1 m/s, mientras que la máxima es de 18,8 m/s; la velocidad de viento media anual es de 4,1 m/s, con una desviación estándar de 3,7 m/s.

Durante las estaciones frías del año, la velocidad de viento mínima promedia el 2,1 m/s, siendo el mes de junio el mes con menor velocidad de viento y, por otro lado, la velocidad de viento máxima durante esta temporada promedia el 4,1 m/s durante el mes de septiembre, presentando una variación débil durante las estaciones frías de 2,0 m/s.

Durante las estaciones cálidas del año, la velocidad de viento mínima promedia el 4,6 m/s, siendo el mes de marzo el mes de menor velocidad de viento de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 6,5 m/s, siendo el mes con mayor velocidad de viento de la temporada el mes de diciembre. La variación de la velocidad de viento durante las estaciones cálidas se presenta débil con 1,9 m/s.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes de menor velocidad de viento corresponde al mes de junio con 2,1 m/s de velocidad de viento, y el mes más húmedo corresponde al mes de diciembre con 6,5 m/s, presentando con ello, una variación de la velocidad de viento intra anual ligero de 4,4 m/s.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la velocidad de viento mínima promedio es de 1,4 m/s durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de 6,4 m/s durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una variación en categoría ligero de la velocidad de viento de 5,0 m/s durante este período del día.

Durante el período diurno, la velocidad de viento mínima promedio es de 1,4 m/s durante la mañana, alrededor de las 6 am y la velocidad de viento máxima promedio es de 9,0 m/s durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una variación en categoría moderado de la velocidad de viento de 7,5 m/s durante el período diurno.

De esta manera, a nivel intra diario, el período del día de menor velocidad de viento corresponde a la madrugada con 1,4 m/s, y el con mayor velocidad de viento corresponde al período de la tarde con 9,0 m/s, presentando con ello, una variación en categoría moderado de la velocidad de viento intra diaria de 7,6 m/s.

En relación con las calmas, el mes de enero se presenta como el mes más calmo, con un 22,8% de sus horas con ausencia de vientos, condición relevante para la generación de malas condiciones de ventilación

En cuanto a la dirección del viento, a nivel general, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 12% de las horas del año, con una velocidad promedio en categoría ligero de 5,3 m/s.

Con relación a las estaciones frías del año, para el otoño, la dirección predominante corresponde al viento del SSE, el cual se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,3 m/s. Hacia el invierno, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual

se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría ligero de 4,4 m/s.

En relación con las estaciones cálidas del año, para la primavera, la dirección predominante corresponde al viento del NE, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 3,0 m/s. Durante el verano, la dirección predominante corresponde al viento del NE, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,5 m/s.

Para el año 2022 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de velocidad de viento del 100%. A nivel horario, la velocidad de viento mínima es de 0,1 m/s, mientras que la máxima es de 17,8 m/s; la velocidad de viento media anual es de 4,0 m/s, con una desviación estándar de 3,9 m/s.

Durante las estaciones frías del año, la velocidad de viento mínima promedia el 1,7 m/s, siendo el mes de junio el mes con menor velocidad de viento y, por otro lado, la velocidad de viento máxima durante esta temporada promedia el 3,5 m/s durante el mes de abril, presentando una variación débil durante las estaciones frías de 1,8 m/s.

Durante las estaciones cálidas del año, la velocidad de viento mínima promedia el 4,9 m/s, siendo el mes de marzo el mes de menor velocidad de viento de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 6,6 m/s, siendo el mes con mayor velocidad de viento de la temporada el mes de enero. La variación de la velocidad de viento durante las estaciones cálidas se presenta débil con 1,7 m/s.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes de menor velocidad de viento corresponde al mes de junio con 1,7 m/s de velocidad de viento, y el mes más húmedo corresponde al mes de enero con 6,6 m/s, presentando con ello, una variación de la velocidad de viento intra anual ligero de 4,8 m/s.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la velocidad de viento mínima promedio es de 1,1 m/s durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de 6,4 m/s durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una variación en categoría ligero de la velocidad de viento de 5,3 m/s durante este período del día.

Durante el período diurno, la velocidad de viento mínima promedio es de 1,1 m/s durante la mañana, alrededor de las 6 am y la velocidad de viento máxima promedio es de 9,0 m/s durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una variación en categoría intenso de la velocidad de viento de 7,9 m/s durante el período diurno.

De esta manera, a nivel intra diario, el período del día de menor velocidad de viento corresponde a la madrugada con 1,1 m/s, y el con mayor velocidad de viento corresponde al período de la tarde con 9,0 m/s, presentando con ello, una variación en categoría intenso de la velocidad de viento intra diaria de 7,9 m/s.

En relación con las calmas, el mes de julio se presenta como el mes más calmo, con un 32,1% de sus horas con ausencia de vientos, condición relevante para la generación de malas condiciones de ventilación

En cuanto a la dirección del viento, a nivel general, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 12% de las horas del año, con una velocidad promedio en categoría ligero de 5,2 m/s.

Con relación a las estaciones frías del año, para el otoño, la dirección predominante corresponde al viento del SSE, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,3 m/s. Hacia el invierno, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría ligero de 3,9 m/s.

En relación con las estaciones cálidas del año, para la primavera, la dirección predominante corresponde al viento del NE, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,8 m/s. Durante el verano, la dirección predominante corresponde al viento del NE, el cual se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 3,1 m/s.

Para el año 2023 la estación Rinconada - U de Chile cuenta con una disponibilidad de datos de velocidad de viento del 99.67%. A nivel horario, la velocidad de viento mínima es de 0,1 m/s, mientras que la máxima es de 17,5 m/s; la velocidad de viento media anual es de 3,4 m/s, con una desviación estándar de 3,8 m/s.

Durante las estaciones frías del año, la velocidad de viento mínima promedia el 1,4 m/s, siendo el mes de julio el mes con menor velocidad de viento y, por otro lado, la velocidad de viento máxima durante esta temporada promedia el 3,0 m/s durante el mes de abril, presentando una variación débil durante las estaciones frías de 1,7 m/s.

Durante las estaciones cálidas del año, la velocidad de viento mínima promedia el 3,1 m/s, siendo el mes de octubre el mes de menor velocidad de viento de la temporada. En relación con las máximas, se presentan en promedio con 6,0 m/s, siendo el mes con mayor velocidad de viento de la temporada el mes de enero. La variación de la velocidad de viento durante las estaciones cálidas se presenta débil con 2,9 m/s.

En términos generales, a nivel intra anual, el mes de menor velocidad de viento corresponde al mes de julio con 1,4 m/s de velocidad de viento, y el mes más húmedo corresponde al mes de enero con 6,0 m/s, presentando con ello, una variación de la velocidad de viento intra anual ligero de 4,6 m/s.

A nivel intra diario, durante el período nocturno, la velocidad de viento mínima promedio es de 0,8 m/s durante la madrugada, alrededor de las 5 am, mientras que la máxima promedio es de 5,3 m/s durante la tarde, alrededor de las 18 horas, presentando con ello, una variación en categoría ligero de la velocidad de viento de 4,6 m/s durante este período del día.

Durante el período diurno, la velocidad de viento mínima promedio es de 0,8 m/s durante la mañana, alrededor de las 6 am y la velocidad de viento máxima promedio es de 8,0 m/s durante las horas de la tarde, alrededor de las 15 horas presentando con ello una variación en categoría moderado de la velocidad de viento de 7,2 m/s durante el período diurno.

De esta manera, a nivel intra diario, el período del día de menor velocidad de viento corresponde a la madrugada con 0,8 m/s, y el con mayor velocidad de viento corresponde al período de la tarde con 8,0 m/s, presentando con ello, una variación en categoría moderado de la velocidad de viento intra diaria de 7,3 m/s.

En relación con las calmas, el mes de julio se presenta como el mes más calmo, con un 48,4% de sus horas con ausencia de vientos, condición relevante para la generación de malas condiciones de ventilación

En cuanto a la dirección del viento, a nivel general, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 12% de las horas del año, con una velocidad promedio en categoría ligero de 5,1 m/s.

Con relación a las estaciones frías del año, para el otoño, la dirección predominante corresponde al viento del SSE, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,3 m/s. Hacia el invierno, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 3% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría ligero de 3,5 m/s.

En relación con las estaciones cálidas del año, para la primavera, la dirección predominante corresponde al viento del Sur, el cual se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría ligero de 5,2 m/s. Durante el verano, la dirección predominante corresponde al viento del NE, el cual se manifiesta durante el 4% de las horas de la temporada, con una velocidad promedio en categoría débil de 2,7 m/s.

Figura 9 Velocidad del viento diaria 2021-2023.

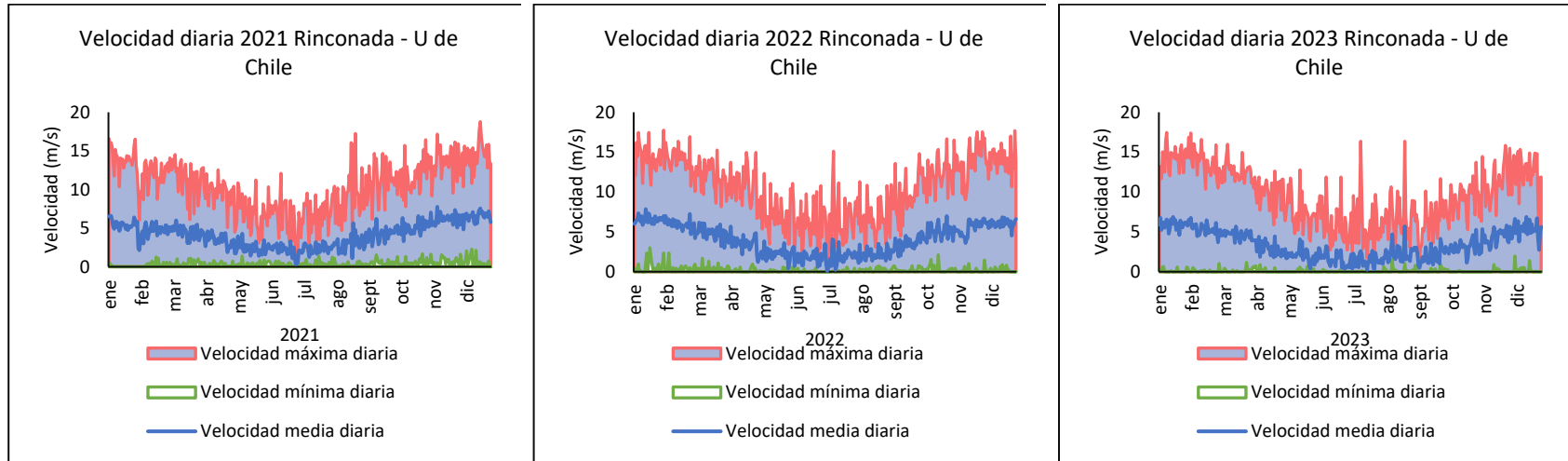


Figura 10 Ciclo diario de velocidad del viento 2021-2023.

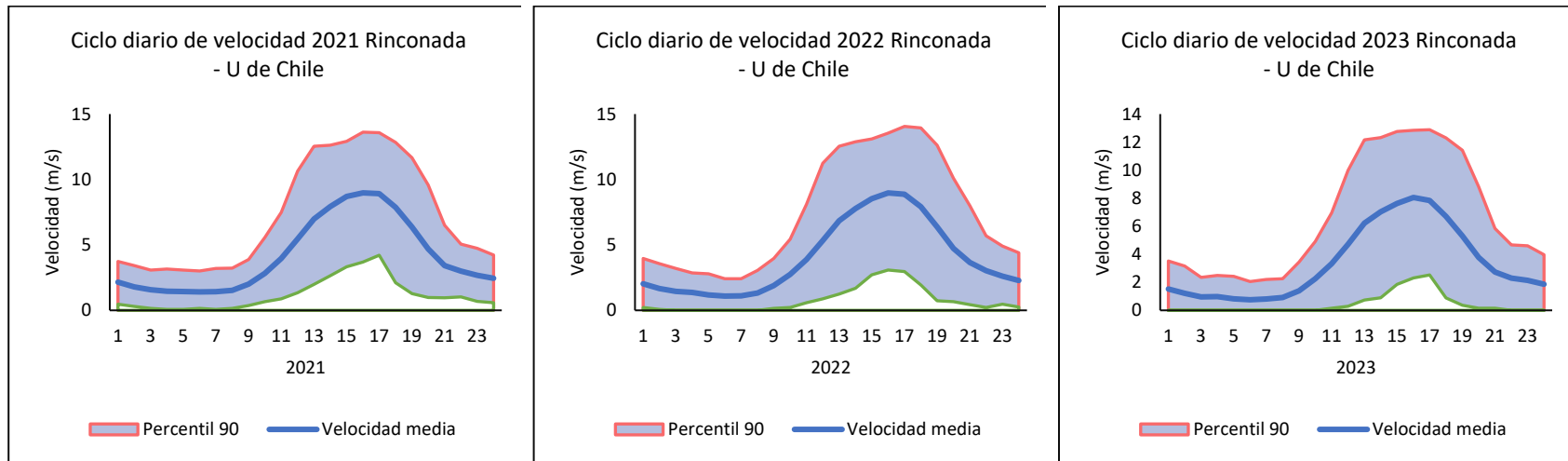


Figura 11 Ciclo anual de velocidad del viento 2021-2023.

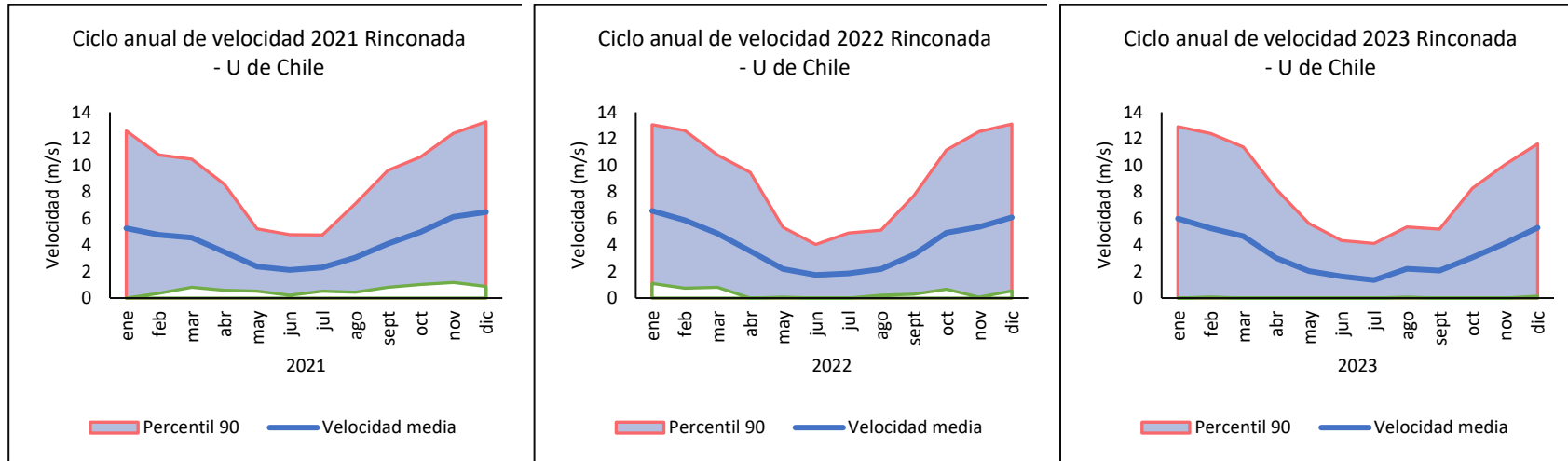


Tabla 9 Ciclo estacional de velocidad del viento 2021.

Datos de velocidad (m/s) 2021 Rinconada - U de Chile													
	2021	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	1.7	2	2.3	2	1.5	1.4	1.9	1.8	2.1	2.5	3.3	3.3
	1	1.2	1.6	1.8	1.8	1.4	1.3	1.5	1.8	1.9	2.5	2.3	2.5
	2	0.5	1.2	1.8	1.4	1.5	1.3	1.5	1.4	1.8	2.4	2	2.1
	3	0.4	1.2	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.8	1.9	2.1	1.5
	4	0.6	1.2	1.5	1.3	1.5	1.7	1.3	1.4	1.6	1.8	1.8	1.5
	5	0.4	1.2	1.4	1.1	1.4	1.3	1.5	1.6	1.6	1.8	2	1.7
Mañana	6	0.4	1.2	1.5	1.2	1.4	1.4	1.3	1.8	1.6	1.8	1.9	1.8
	7	0.5	1	1.5	1.3	1.2	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.6
	8	2.1	1.6	1.8	1.1	1.4	1.5	1.6	1.5	1.8	2.6	3.2	3.7
	9	3.7	3.1	3	1.7	1.4	1.5	1.4	1.5	2.7	3.5	4.9	5.6
	10	5.8	4.9	3.7	2.5	2.1	1.7	1.6	2.2	3.3	4.6	7.2	8.1
	11	8.3	7.1	5.8	4	2.5	2	1.9	2.5	5.2	6.4	9.4	10.5
Tarde	12	10.4	9.3	8.6	5.2	3.3	2.7	2.5	3.8	6.7	8.6	11	11.8
	13	10.2	10.5	9.6	6.7	4.3	3.6	3.4	5.3	8.4	9.8	11.7	11.8
	14	10.7	10.8	9.9	8.4	5.5	4.4	4.8	6.8	9.2	10.1	11.9	12.1
	15	11.4	10.5	9.5	8.9	5.8	4.7	5.4	7.9	9.2	10.1	12.1	12.4
	16	12.3	10.3	9.5	8.4	5.1	4.4	5.1	7.8	8.8	10.1	12.2	13.1
	17	12	10	9	7	3.2	2.7	3.1	6.1	8	9.6	11	12.8
Noche	18	10.7	8.7	7.3	4.3	2	2.2	2.3	3.4	5.6	8.2	10.1	11.7
	19	8.2	5.3	5	3.1	1.7	1.7	2.4	2.8	3.7	6.1	8	8.2
	20	5.2	3.2	3.6	3.2	1.6	1.6	2.1	2.7	3	4.4	5.6	4.8
	21	3.8	3	3.5	2.9	1.9	1.7	2.2	2.2	3.1	3.2	4.2	4.1
	22	3.2	2.9	3.2	2.4	1.9	1.5	1.9	1.8	2.9	2.8	3.6	3.9
	23	2.5	2.4	2.9	2.1	1.6	1.6	1.8	1.8	2.5	2.9	3.6	3.6
\bar{x} mensual		5.3	4.8	4.5	3.5	2.4	2.1	2.3	3	4.1	5	6.1	6.5
\bar{x} estacional		4.9			2.7			3.1			5.9		
\bar{x} anual		4.1											

Tabla 10 Ciclo estacional de velocidad del viento 2022.

Datos de velocidad (m/s) 2022 Rinconada - U de Chile													
	2022	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	3.7	3	2.7	1.6	1.2	1	1.2	1.5	1.7	2.4	1.8	2.5
	1	3	2	2.4	1.2	1.2	0.8	0.9	1.4	1.4	2.1	1.5	2
	2	2.3	1.7	2.1	1	1.2	1	1.1	1.5	1.3	1.7	1.1	1.4
	3	1.8	1.5	1.7	1.1	1.3	1.1	1.5	1.4	1.4	1.3	0.9	1.5
	4	1.4	1.6	1.3	1	1.1	1.1	1.3	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9
	5	1.4	1.3	1.6	1.2	1	0.9	1.2	0.9	1.3	0.9	0.6	0.8
Mañana	6	1.5	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9	1.3	0.9	1.3	1	0.5	1.2
	7	2.3	1.4	1.5	1	0.8	1.1	1.2	0.8	1.4	1.6	1.3	1.5
	8	3.6	1.9	1.5	0.9	1.3	1	1.4	1.1	1.7	2.8	2.8	2.7
	9	4.9	3.3	2.9	1.1	1.5	1.1	1.1	1.3	2.1	4.1	4.8	4.7
	10	7	5.2	4	2.5	1.7	1.3	1.2	1.4	3	5.2	6.7	7.4
	11	9.4	8.3	6	3.6	2.1	1.8	1.7	1.9	3.7	6.9	8.8	9.9
Tarde	12	11.5	10.9	8.7	5.4	2.9	2	2.4	2.8	5	9	10.7	11
	13	11.5	11.5	10.2	7.5	4	3.2	3.6	3.6	6.6	9.7	10.9	11.2
	14	11.6	11.7	11.1	9.6	5.3	4.1	4.2	4.2	7.5	10.3	11.2	11.8
	15	12.2	12.2	10.8	9.9	5.9	4.3	4.6	5.3	7.8	10.8	11.6	12.3
	16	13.1	12.6	10.2	9.4	5.6	4.1	4.1	5	6.8	11	11.7	13.1
	17	13.7	12.2	9.5	7.8	3.5	2.6	2.4	3.8	6.1	9.9	11.2	12.6
Noche	18	12.4	11.3	7.4	5.3	1.9	1.5	1.8	2.6	4.5	8.3	8.9	11.1
	19	9.3	8.2	5.3	3.2	1.9	1.4	1.5	2	3.1	5.3	6.3	9.3
	20	6.9	5.7	4.2	2.7	1.7	1.6	1.4	2	2.8	3.7	4.9	6.4
	21	5.1	4.4	3.6	2.6	1.8	1.4	1	2.5	2.6	3.3	3.8	4.4
	22	4.2	4.1	3.6	2.2	1.4	1.4	1	1.8	2.2	3.2	3.1	3.3
	23	3.9	3.5	2.9	1.9	1.5	1.2	1.3	1.3	1.9	2.5	2.5	2.9
\bar{x} mensual		6.6	5.9	4.9	3.5	2.2	1.7	1.9	2.2	3.3	4.9	5.4	6.1
\bar{x} estacional		5.8			2.5			2.5			5.5		
\bar{x} anual		4.1											

Tabla 11 Ciclo estacional de velocidad del viento 2023.

Datos de velocidad (m/s) 2023 Rinconada - U de Chile													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	2.4	2.4	1.9	1.3	1.1	1.1	1	1.6	0.9	1.1	1	2.5
	1	2	1.4	1.3	1.2	1.2	0.8	0.8	1.3	1	0.8	0.9	1.9
	2	1.3	0.9	1	0.9	1	1.2	0.4	1.1	1	0.7	0.7	1.3
	3	1	0.9	0.9	1	1.3	0.9	0.9	1.5	0.9	0.6	0.8	1.2
	4	0.7	0.9	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	1.2	1	0.6	0.7	0.9
	5	0.8	0.6	0.6	0.8	1.1	1	0.7	0.8	0.6	0.5	0.5	0.9
Mañana	6	0.6	0.5	1	0.8	1.1	0.9	0.8	1.2	0.6	0.5	0.4	1.2
	7	0.8	0.7	0.6	0.7	1	1	0.6	1.8	0.7	0.7	1	1.5
	8	2.1	1.1	1	0.9	0.9	0.7	0.6	1.5	1	1.2	2.3	3.3
	9	4.3	2.7	2	1.1	0.8	1.1	0.5	1.6	1.5	2.2	4.5	4.8
	10	6.8	4.7	4.1	1.7	1	1.1	1.1	1.6	1.9	3.3	6	6.7
Tarde	11	9.7	7	6.2	3.1	1.8	1.6	1.1	1.9	3	4.8	7.4	9
	12	11.5	10.5	9.4	5.1	2.9	2.6	1.8	2.1	3.7	6.1	8.8	10.4
	13	11.5	11.5	10.9	6.6	3.8	2.8	1.9	3.6	4	7.2	9.6	11
	14	12.3	11.6	11	8.4	5.3	3.6	2.7	4.4	4.3	7.9	9.5	10.7
	15	12.8	12.1	11.4	9	6.3	3.9	3.8	5	4.6	7.5	9.5	10.9
	16	12.9	12.6	10.8	8.6	5.1	3.8	3.7	4.7	4.6	7.6	8.9	10.8
	17	12.7	11.6	10.2	6.8	3.1	2	1.9	3.3	3.9	6.8	7.8	10.5
Noche	18	11.6	10.1	8.3	4.1	1.6	1.4	1.1	2.3	2.5	5.1	6.8	9.2
	19	7.9	7.1	5.9	2.5	1.6	1.7	0.9	2.1	1.8	3	4.1	6.9
	20	5.8	4.7	4.1	2	1.7	1.4	1.3	2.1	1.7	1.7	2.5	3.8
	21	4.6	4	3.2	1.8	1.6	1.3	1.4	2	1.6	1.4	2	2.8
	22	4.3	3.5	3.1	1.7	1.3	1	1.5	2.1	1.4	1.2	1.8	2.7
	23	3.3	3.1	2.5	1.6	1.4	1.2	1.3	1.8	1.3	1	1.5	2.5
\bar{x} mensual		6	5.3	4.7	3	2	1.6	1.4	2.2	2.1	3.1	4.1	5.3
\bar{x} estacional		5.3			2.2			1.9			4.2		
\bar{x} anual		3.4											

Tabla 12 Porcentaje de calmas 2021.

Porcentaje de calmas, velocidad inferior a 0.5 (m/s) 2021 Rinconada - U de Chile													
	2021	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	1.3%	0.4%	0.3%	0.3%	0.6%	1.1%	0.3%	0.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
	1	1.5%	0.7%	1.0%	0.3%	0.7%	0.8%	0.4%	0.4%	1.0%	0.3%	0.1%	0.1%
	2	2.8%	1.4%	0.1%	1.3%	0.6%	0.8%	0.3%	1.0%	0.1%	0.7%	0.1%	0.7%
	3	3.3%	1.4%	0.7%	1.0%	0.6%	1.1%	0.7%	1.4%	0.4%	0.7%	0.1%	1.0%
	4	3.1%	1.1%	0.4%	1.0%	0.6%	0.6%	0.7%	1.1%	0.6%	0.4%	0.3%	0.8%
	5	3.5%	1.3%	0.8%	1.0%	0.6%	0.8%	0.4%	0.8%	0.6%	0.3%	0.6%	1.1%
Mañana	6	3.2%	1.7%	0.4%	1.1%	0.8%	1.1%	0.7%	1.0%	0.7%	0.4%	0.4%	1.0%
	7	2.8%	1.8%	0.8%	0.8%	1.0%	0.8%	0.8%	1.0%	0.4%	1.1%	0.4%	0.4%
	8	0.7%	0.4%	0.4%	0.8%	0.4%	0.8%	0.8%	1.0%	0.8%	0.1%	0.0%	0.0%
	9	0.3%	0.0%	0.0%	0.6%	0.6%	0.8%	0.6%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	10	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.6%	0.8%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Tarde	12	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	14	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	16	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Noche	18	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.8%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	19	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	1.1%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	20	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.4%	0.6%	0.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
	21	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.6%	0.4%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	22	0.4%	0.0%	0.1%	0.6%	0.0%	0.4%	0.4%	0.3%	0.0%	0.3%	0.0%	0.1%
	23	0.7%	0.1%	0.1%	0.6%	0.3%	0.7%	0.4%	1.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
Total calmas mes		22.8%	11.2%	5.1%	9.6%	7.9%	16.4%	9.1%	11.4%	5.1%	4.3%	2.0%	5.5%
Total calmas estacion		13.1%			11.3%			8.6%			3.9%		
Total calmas año		9%											

Tabla 13 Porcentaje de calmas 2022.

Porcentaje de calmas, velocidad inferior a 0.5 (m/s) 2022 Rinconada - U de Chile													
	2022	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	0.0%	0.0%	0.1%	0.8%	1.8%	1.5%	1.4%	0.8%	0.3%	0.1%	1.4%	0.3%
	1	0.0%	0.6%	0.1%	1.4%	1.5%	1.8%	2.1%	1.0%	0.7%	0.1%	1.3%	0.6%
	2	0.3%	0.6%	0.6%	1.7%	1.4%	1.5%	1.5%	0.8%	1.5%	0.4%	1.9%	0.7%
	3	0.8%	0.8%	0.6%	1.5%	1.3%	1.4%	1.7%	1.1%	1.0%	1.4%	1.9%	0.8%
	4	1.4%	0.7%	0.8%	1.8%	1.9%	1.7%	1.7%	1.0%	1.7%	1.4%	1.9%	2.2%
Mañana	5	1.1%	1.0%	0.7%	1.9%	1.9%	2.1%	2.1%	2.1%	1.5%	1.7%	2.4%	1.8%
	6	1.0%	0.8%	1.1%	0.7%	2.1%	2.1%	1.8%	1.8%	1.4%	1.7%	2.2%	1.4%
	7	0.6%	0.7%	0.7%	1.4%	1.7%	1.3%	1.8%	1.4%	1.7%	1.3%	1.7%	1.1%
	8	0.0%	0.1%	0.6%	2.2%	1.4%	1.7%	2.2%	1.1%	1.1%	0.0%	0.1%	0.0%
	9	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	1.0%	1.1%	1.7%	1.4%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
	10	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.7%	1.1%	1.5%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Tarde	11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.7%	1.4%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	12	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.1%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	14	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	16	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Noche	17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.8%	0.7%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	18	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.7%	1.3%	1.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	19	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.6%	1.0%	1.5%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	20	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.8%	0.8%	1.8%	0.6%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
	21	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	1.1%	1.5%	1.9%	0.7%	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%
	22	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.8%	0.8%	1.4%	0.4%	0.6%	0.0%	0.1%	0.1%
23	0.0%	0.0%	0.1%	0.6%	1.3%	1.1%	1.8%	1.0%	0.6%	0.0%	0.4%	0.4%	
Total calmas mes		5.0%	5.7%	5.2%	18.6%	22.4%	26.7%	32.1%	16.0%	14.2%	8.2%	15.1%	9.3%
Total calmas estacion		5.3%			22.6%			20.8%			10.9%		
Total calmas año		15%											

Tabla 14 Porcentaje de calmas 2023.

Porcentaje de calmas, velocidad inferior a 0.5 (m/s) 2023 Rinconada - U de Chile													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	0.3%	0.4%	0.8%	1.5%	2.1%	1.7%	2.6%	1.4%	1.7%	1.7%	2.1%	0.7%
	1	1.3%	0.7%	1.4%	1.8%	1.8%	2.4%	2.6%	1.3%	2.2%	2.1%	2.2%	0.8%
	2	1.8%	1.8%	1.9%	1.8%	2.1%	1.8%	3.1%	1.8%	1.7%	2.4%	2.4%	1.8%
	3	1.8%	1.7%	2.2%	1.8%	1.3%	1.9%	2.2%	1.5%	1.9%	2.5%	2.5%	1.7%
	4	2.5%	1.8%	2.4%	2.4%	2.2%	2.4%	2.5%	2.4%	1.9%	2.9%	2.2%	1.9%
Mañana	5	2.4%	2.1%	3.2%	1.9%	2.1%	2.4%	2.9%	2.6%	2.4%	2.9%	3.1%	2.4%
	6	2.8%	2.4%	1.8%	2.2%	2.1%	2.2%	2.5%	2.5%	2.4%	3.1%	2.9%	2.1%
	7	2.5%	2.2%	2.6%	2.2%	1.8%	1.9%	2.5%	1.9%	2.4%	2.5%	1.7%	1.4%
	8	0.6%	1.3%	1.8%	1.9%	1.9%	1.4%	2.9%	1.9%	1.8%	1.9%	0.3%	0.0%
	9	0.0%	0.0%	0.3%	1.5%	2.2%	1.9%	2.5%	1.7%	1.1%	0.4%	0.0%	0.0%
	10	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	1.9%	1.7%	2.5%	1.0%	0.8%	0.1%	0.0%	0.0%
Tarde	11	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	1.0%	1.3%	2.2%	0.8%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
	12	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.7%	1.1%	1.4%	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
	13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	1.3%	1.7%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	14	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.8%	1.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.6%	0.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
	16	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.7%	0.7%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Noche	17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.8%	1.1%	0.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	18	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.5%	1.8%	1.5%	0.7%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
	19	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	1.4%	1.7%	2.5%	0.6%	1.4%	0.3%	0.4%	0.0%
	20	0.0%	0.0%	0.1%	1.0%	1.5%	1.3%	1.9%	0.8%	1.3%	1.0%	0.6%	0.0%
	21	0.1%	0.0%	0.3%	1.0%	1.3%	1.3%	2.4%	1.1%	0.8%	1.9%	1.0%	0.1%
	22	0.0%	0.0%	0.1%	1.0%	1.3%	1.7%	1.8%	0.7%	1.4%	1.7%	1.0%	0.6%
23	0.1%	0.0%	0.4%	1.5%	1.0%	1.8%	2.4%	0.7%	1.5%	1.7%	1.7%	0.7%	
Total calmas mes		15.6%	15.3%	18.8%	25.9%	31.6%	37.6%	48.4%	25.9%	29.4%	29.4%	23.1%	13.7%
Total calmas estacion		16.6%			31.7%			34.7%			22.0%		
Total calmas año		26%											

Tabla 15 Ciclo estacional de dirección del viento 2021.

Datos de dirección (°) 2021 Rinconada - U de Chile													
	2021	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	53	61	53	66	242	185	258	131	135	95	57	65
	1	61	56	55	108	189	228	217	109	141	107	62	72
	2	98	71	56	199	194	149	200	107	198	151	92	44
	3	263	87	76	142	154	167	203	134	194	121	103	76
	4	56	140	90	155	187	177	248	166	161	209	136	103
	5	97	166	154	140	198	146	227	136	218	176	135	119
Mañana	6	78	154	136	176	194	127	179	149	231	199	164	106
	7	76	109	116	52	162	144	208	194	185	178	122	134
	8	124	131	123	126	225	208	211	156	166	146	139	143
	9	146	163	134	149	107	137	156	126	156	151	160	168
	10	169	167	148	146	121	109	128	130	161	159	174	184
	11	189	180	168	161	145	147	114	153	171	180	192	193
Tarde	12	201	190	185	171	157	137	143	165	181	191	201	201
	13	214	199	198	182	169	161	146	179	197	205	216	217
	14	233	207	206	192	185	179	168	200	206	220	225	236
	15	246	210	220	205	185	189	172	202	213	231	238	248
	16	255	223	224	205	188	192	173	203	216	235	247	254
	17	254	237	232	211	191	194	159	207	226	244	251	258
Noche	18	256	239	242	206	206	113	84	205	242	251	255	258
	19	244	219	230	120	139	64	63	330	229	246	246	247
	20	224	137	131	78	75	32	50	108	144	226	212	184
	21	104	89	90	52	52	136	158	100	87	126	124	104
	22	87	68	72	60	328	174	160	94	9	95	78	85
	23	71	63	62	69	135	262	186	243	50	95	62	65
Grados	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Comp	Norte	Noreste		Este	Sureste		Sur	Suroeste		Oeste	Noroeste		Norte

Tabla 16 Ciclo estacional de dirección del viento 2022.

Datos de dirección (°) 2022 Rinconada - U de Chile													
	2022	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	77	55	57	87	93	176	141	77	167	76	57	55
	1	63	51	60	41	97	162	111	177	158	62	69	63
	2	55	61	54	152	193	196	126	178	200	60	2	92
	3	60	50	224	214	164	190	159	186	203	42	93	61
	4	69	102	172	200	167	169	178	227	222	136	193	132
	5	112	84	196	168	153	208	133	287	212	125	40	128
Mañana	6	108	135	130	157	190	204	186	189	202	163	106	150
	7	120	97	94	229	158	217	176	171	192	115	137	136
	8	144	135	115	167	155	171	110	179	172	150	143	143
	9	161	142	133	116	121	122	177	97	179	158	155	153
	10	176	163	149	121	128	128	126	143	163	169	177	175
	11	186	177	166	145	129	112	138	153	168	174	185	190
Tarde	12	196	196	185	166	149	148	157	168	178	191	195	208
	13	214	217	200	182	159	166	181	173	198	211	207	228
	14	229	235	210	202	167	187	178	190	202	222	225	239
	15	245	243	220	210	179	185	187	193	208	235	241	248
	16	255	251	223	221	182	186	180	202	212	242	249	257
	17	261	256	233	228	158	179	186	192	231	249	251	259
Noche	18	261	257	235	238	78	96	47	186	246	249	249	259
	19	253	249	217	209	69	65	42	159	215	243	232	255
	20	226	197	163	88	62	63	82	172	198	206	177	236
	21	147	134	83	70	88	59	97	117	91	94	89	149
	22	105	83	78	68	167	95	84	295	249	68	73	81
	23	86	67	71	60	93	198	29	231	170	60	54	77
Grados	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Comp	Norte	Noreste		Este	Sureste		Sur	Suroeste		Oeste	Noroeste		Norte

Tabla 17 Ciclo estacional de dirección del viento 2023.

Datos de dirección (°) 2023 Rinconada - U de Chile													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	56	52	62	53	205	227	53	145	184	66	68	55
	1	56	47	59	5	207	164	326	173	169	83	43	56
	2	59	172	255	127	0	200	87	147	154	127	81	59
	3	114	195	131	156	245	166	318	159	48	230	88	83
	4	101	230	274	329	125	132	46	287	110	57	148	71
	5	67	204	236	78	185	291	70	170	124	95	118	105
Mañana	6	93	147	226	208	57	192	229	178	111	146	80	136
	7	97	74	157	186	136	146	186	90	153	163	114	138
	8	130	118	104	146	114	158	183	54	100	130	165	156
	9	152	130	129	112	110	110	109	163	166	170	171	160
	10	169	146	144	131	110	130	156	152	164	177	178	174
	11	186	165	171	148	129	146	133	179	178	183	185	187
Tarde	12	199	190	186	167	146	157	152	160	185	192	196	201
	13	219	216	203	176	159	163	164	184	195	205	209	214
	14	242	229	224	195	173	160	152	189	205	211	215	222
	15	247	242	240	208	178	178	177	201	198	220	222	230
	16	252	251	246	211	181	170	177	201	211	229	220	239
	17	258	254	254	215	180	165	185	179	223	236	224	250
Noche	18	258	255	249	232	119	73	190	187	235	245	238	254
	19	247	241	228	156	70	61	100	144	240	210	230	243
	20	219	191	145	79	78	78	46	357	226	132	180	196
	21	150	98	83	52	94	114	83	181	69	75	112	98
	22	81	67	67	46	259	292	15	222	103	63	74	80
	23	66	55	60	61	154	225	358	68	196	52	63	61
Grados	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Comp	Norte	Noreste		Este	Sureste		Sur	Suroeste		Oeste	Noroeste		Norte

Figura 12 Rosas de dirección del viento 2021.

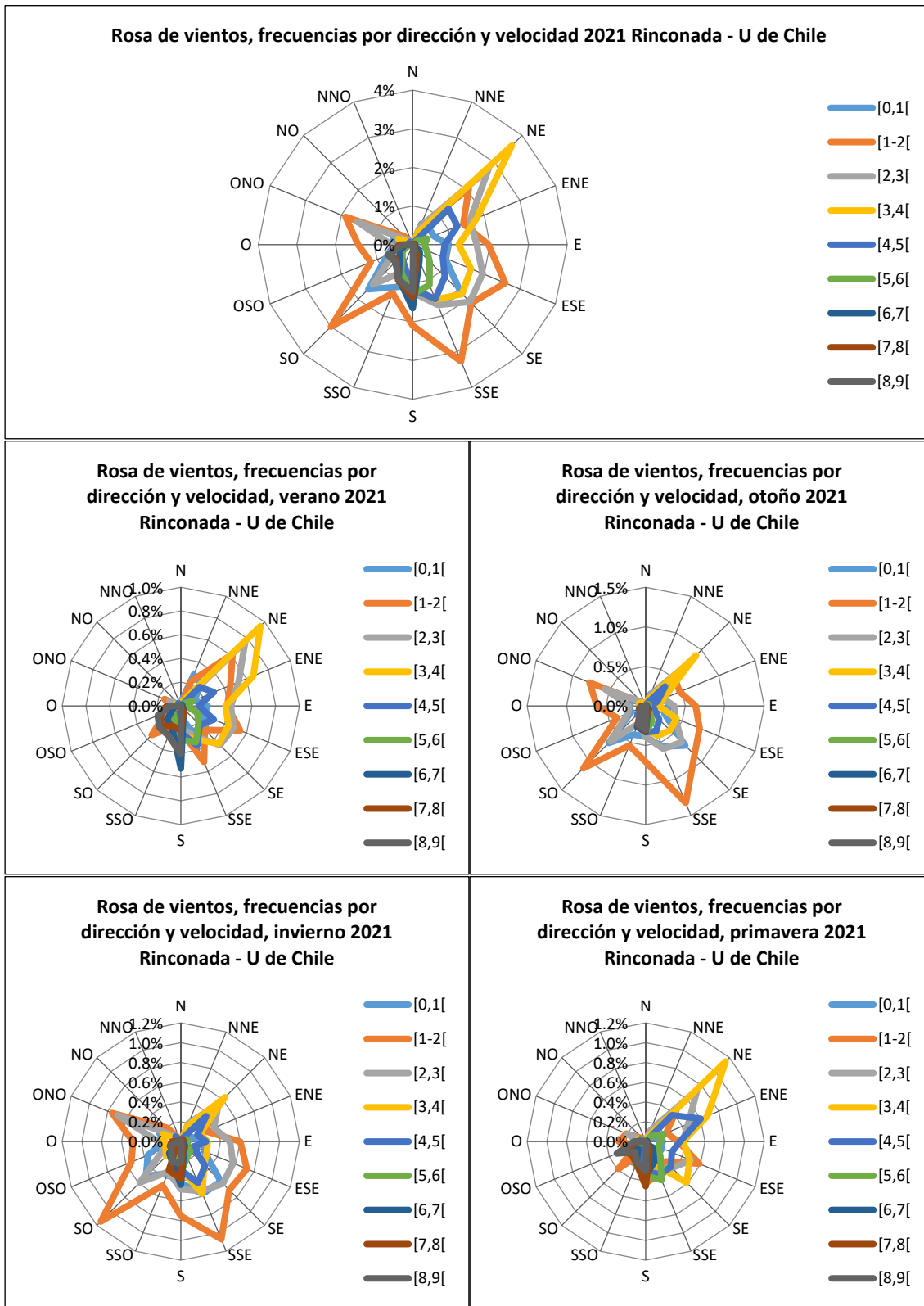


Figura 13 Rosas de dirección del viento 2022.

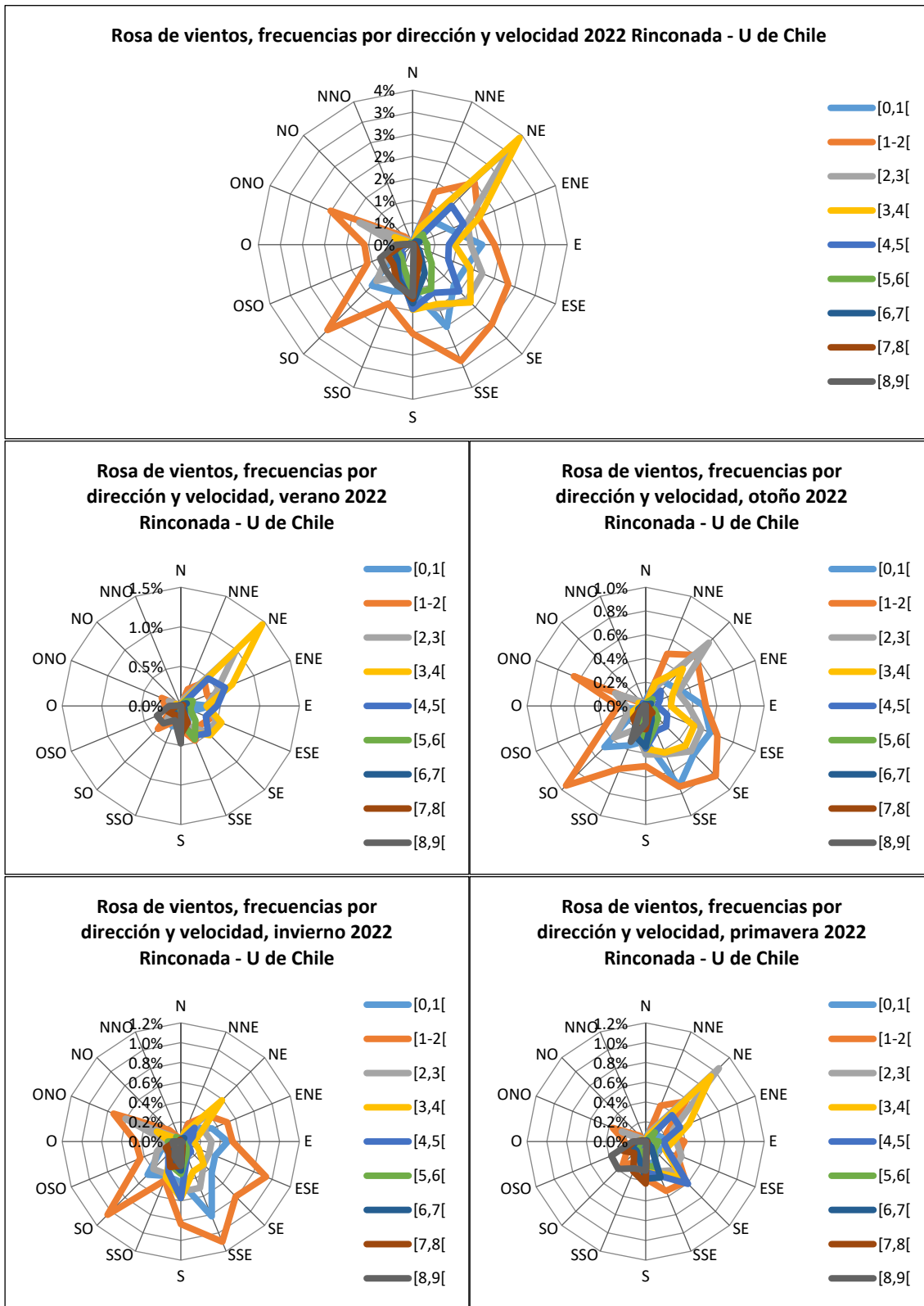
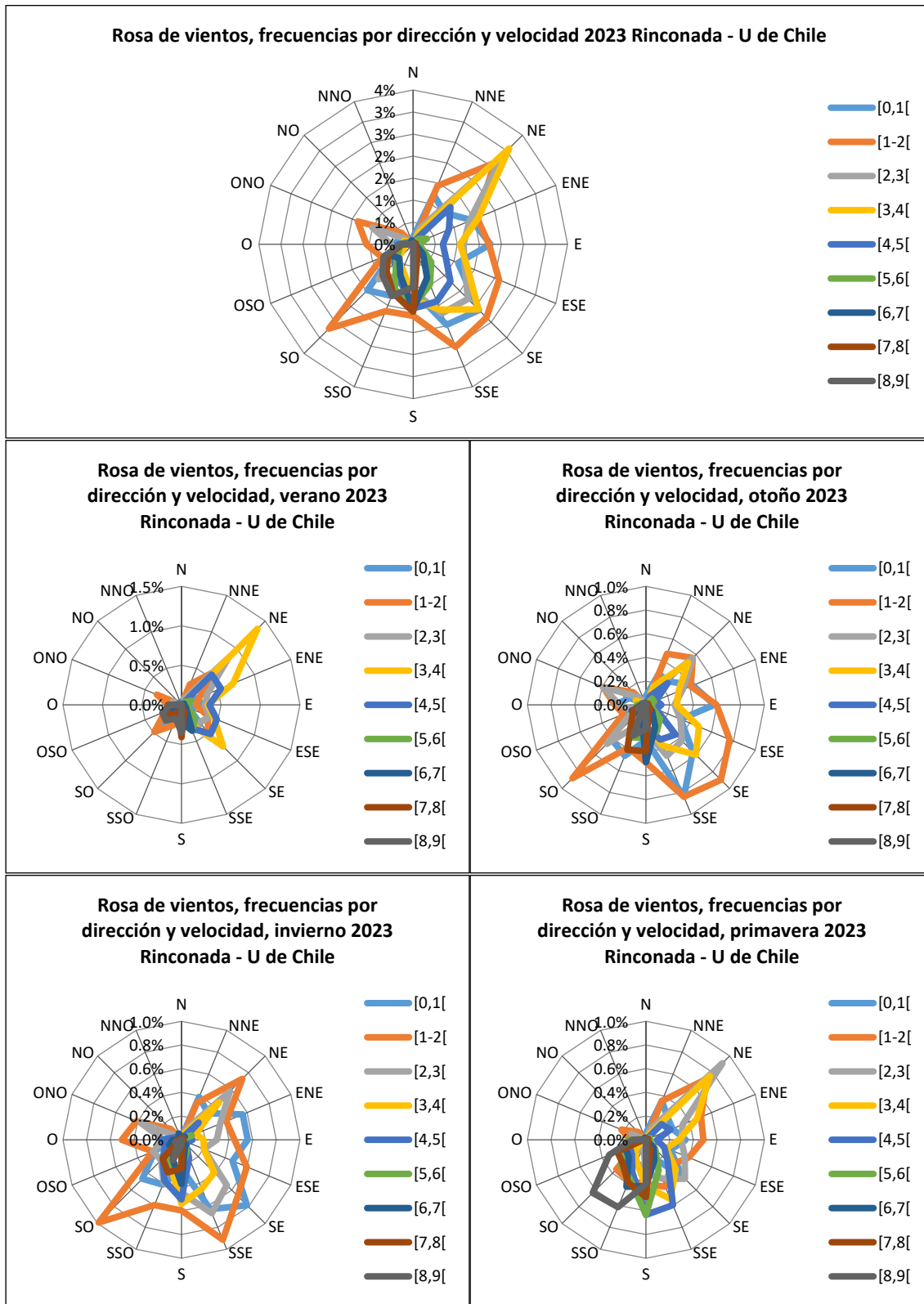


Figura 14 Rosas de dirección del viento 2023.



4. Modelación meteorológica y dispersión

Para la generación de la base de datos de variables meteorológicas, se utilizó el modelo WRF versión 4.3. Éste es un modelo meteorológico de alta resolución, desarrollado para la simulación de variables meteorológicas, mediante la resolución de las ecuaciones físicas que describen los movimientos de la atmósfera, utilizando aproximaciones basadas en métodos numéricos.

Este modelo se encuentra en constante desarrollo y mejora por medio de una asociación colaborativa, principalmente entre el National Center Research (NCAR, USA), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA), Forecast Systems Laboratory (FSL, USA), Air Force Weather Agency (AFWA, USA), el Naval Research Laboratory, University of Oklahoma, y la Federal Aviation Administration (FAA, USA). WRF es un Software Libre y comunitario, por lo que su desarrollo y mejoramiento se realiza en distintos sitios alrededor del mundo por voluntarios que deseen contribuir al proyecto¹.

En el presente informe se utilizó la información meteorológica correspondiente al año meteorológico completo y validado 2023. Esta información se obtuvo a partir del CISL Research Data Archive (NCAR, USA), utilizándose el conjunto de datos de entrada ds083.2. NCAR (National Center for Atmospheric Research) ofrece a los científicos de Estados Unidos y del mundo, una gran cantidad de herramientas, desde modelos comunitarios hasta aviones de investigación, supercomputadores y talleres. Los científicos internos de NCAR colaboran con sus colegas en el mundo académico, el gobierno y el sector privado para construir, refinar y ampliar los recursos de la comunidad de NCAR para que sean lo más relevantes y útiles posible².

Para el dominio de modelación, la configuración del modelo WRF, comprendió una configuración anidada de 3 dominios, junto a la parametrización de variables propias de los fenómenos de escala sinóptica, escala regional y mesoescala que inciden en la dispersión de los contaminantes, esto es: parametrizaciones de microfísica de nubes, fenómenos radiativos, altura de la capa de mezcla y fenómenos turbulentos causados por la orografía. En la Tabla 18 se detallan las configuraciones de importancia con las cuales se ejecutó la modelación.

Tabla 18 Configuración física del modelo WRF 4.3

Parámetro	Configuración
Centro Latitud (WGS-84)	-33.506063
Centro Longitud (WGS-84)	-70.828054
Condiciones de entrada	https://rda.ucar.edu FNL DS083.2 2023
Proyección cartográfica	Lambert Conformal

¹ The Weather Research & Forecasting Model, NCAR/UCAR, <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

² National Center for Atmospheric Research, NCAR/UCAR, <https://ncar.ucar.edu/what-we-offer>



<i>Puntos en X</i>	30
<i>Puntos en Y</i>	30
<i>Topografía</i>	GTOPO30 (Aproximadamente 1 Kilómetro)
<i>Uso de suelo</i>	USGS (Aproximadamente 1 Kilómetro)
<i>Resolución horizontal (Km)</i>	1
<i>Resolución vertical (niveles)</i>	35 niveles hasta 5 hPa
<i>Microfísica</i> <i>mp_physics = 6</i>	“WRF Single-Moment 6-class scheme”. Esquema micro físico de 6 clases, que incorpora además de líquidos, hielo y nieve. Parametrización ideal para simulaciones a alta resolución. Esquema que diferencia el tipo de precipitación líquida o sólida, variables necesarias para CALPUFF
<i>Radiación (Onda larga y Corta)</i> <i>ra_lw_physics = 1</i> <i>ra_sw_physics = 1</i>	“RRTMG”. Esquema radiativo simple y eficiente, capaz de simular los fenómenos radiativos de onda larga a través del solapamiento de capas nubosas. Esquema simple y eficiente, ampliamente documentado. Utilizado como parametrización por defecto por WRF y por el equipo de testeo y mejora continua.
<i>Modelo de suelo</i> <i>sf_sfclay_physics = 2</i>	“Noah LSM”. Modelo de Superficie de Tierra (Land Surface Model, LSM), que tiene en cuenta una serie de procesos importantes en la capa superficial de suelo, como el flujo de calor sensible, el flujo de calor latente, la humedad del suelo y la temperatura del suelo. Proporciona una descripción detallada de la interacción suelo-atmósfera y se utiliza en una variedad de aplicaciones meteorológicas y climáticas.
<i>Interacción suelo atmósfera</i> <i>sf_surface_physics = 2</i>	“Noah LSM”. Esquema de difusión que considera múltiples factores: Transferencia de calor sensible y latente, Almacenamiento de calor en el suelo, Humedad del suelo, Parámetros y características del suelo y Modelado de la cubierta terrestre.
<i>Capa planetaria</i> <i>bl_pbl_physics = 2</i>	“MYJ”. Esquema Mellor – Yamada - Janjic, que considera procesos de Turbulencia y mezcla vertical, además de Estabilidad atmosférica
<i>Física urbana</i> <i>sf_urban_physics = 1</i>	“Single-layer, UCM”. Parametrización incorporada para mejorar la representación de las interacciones suelo-atmósfera en zonas donde se concentra y se presenta uso de suelos con clasificación urbana.
<i>Sombra topográfica</i> <i>topo_shading = 1</i>	Efectos de sombra topográfica en vecindades de accidentes geográficos de importancia. Activado. Parametrización incorporada para considerar los efectos de diferencia de calentamiento en zonas ubicadas a la sombra de accidentes geográficos. Las diferencias de calentamiento influyen en la generación de viento térmico.
<i>Corrección de viento por topografía</i> <i>topo_wind = 2</i>	Corrección topográfica de los vientos en superficie para representar el arrastre adicional de la topografía. Se muestra que reduce los sesgos de viento de 10 m, estando diseñado para resoluciones menores a 2 km, por lo que aplica la presente modelación.

En relación con las parametrizaciones dinámicas, no han sido modificadas en relación con la configuración por defecto y recomendada. De lo anterior se desprende que el dominio más pequeño definido, considera una zona de 30x30 kilómetros a 1 kilómetro de resolución espacial, los que se consideran lo suficientemente amplios como para incorporar fenómenos de escala sinóptica en sus dominios parentales, propios de la zona como los sistemas frontales o la incursión de altas frías migratorias, con la capacidad de incorporar fenómenos de meso escala como oscilaciones en la capa altura de la mezcla por efecto radiativo o fenómenos de intercambio turbulento causados por la orografía.

Para la modelación de calidad del aire, se han seguido los procedimientos establecidos por la “Guía metodológica de uso de modelos de dispersión en el SEIA” (SEA, 2023), la cual recomienda el uso de CALPUFF como uno de los modelos de dispersión de contaminantes. Para propósitos particulares de este estudio, se ha utilizado la versión 7. CALPUFF es un modelo lagrangiano de dispersión de contaminantes basado en un sistema de “puffs”, los cuales varían en su forma y posición en función del tiempo, del espacio, la estabilidad atmosférica y los vientos, entre otros parámetros. Es un modelo que soporta múltiples tipos de fuentes con diferentes tipos de tratamiento para cada una de ellas: Fuentes de área, fuentes de volumen, fuentes puntuales y fuentes de línea³. En la Tabla 19, se presenta la configuración del dominio utilizado para la modelación de dispersión de realizada con CALPUFF, el que utiliza como insumo la modelación realizada con WRF, incrementando el nivel de detalle a una grilla de 100x100 metros de resolución espacial.

Tabla 19 Configuración del modelo CALPUFF

Parámetro	Configuración
Centro UTM E (m) WGS-84	330.201 m UTM WGS-84 19S
Centro UTM N (m) WGS-94	6.291.113 m UTM WGS-84 19S
Resolución espacial (m)	100
Puntos en X	260
Puntos en Y	260
Topografía	SRTM1 (Aproximadamente 30 metros de resolución)
Uso de suelo	GLCC (USGS30 aproximadamente a 1 Kilómetro e resolución)

Se ha definido el año de modelación como 2023 puesto que, es el año que representa la condición más reciente de la atmósfera, además como se pudo ver en el análisis meteorológico, es el año que presenta los vientos más débiles y el mayor porcentaje de calmas, es decir, las condiciones de ventilación más desfavorables, favoreciendo el desarrollo de altas concentraciones. En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se presentan detalles del dominio considerado en la modelación de dispersión.

³ A User’s Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5), Earth Tech Inc.

Figura 15 Dominio y resolución para la modelación de dispersión.

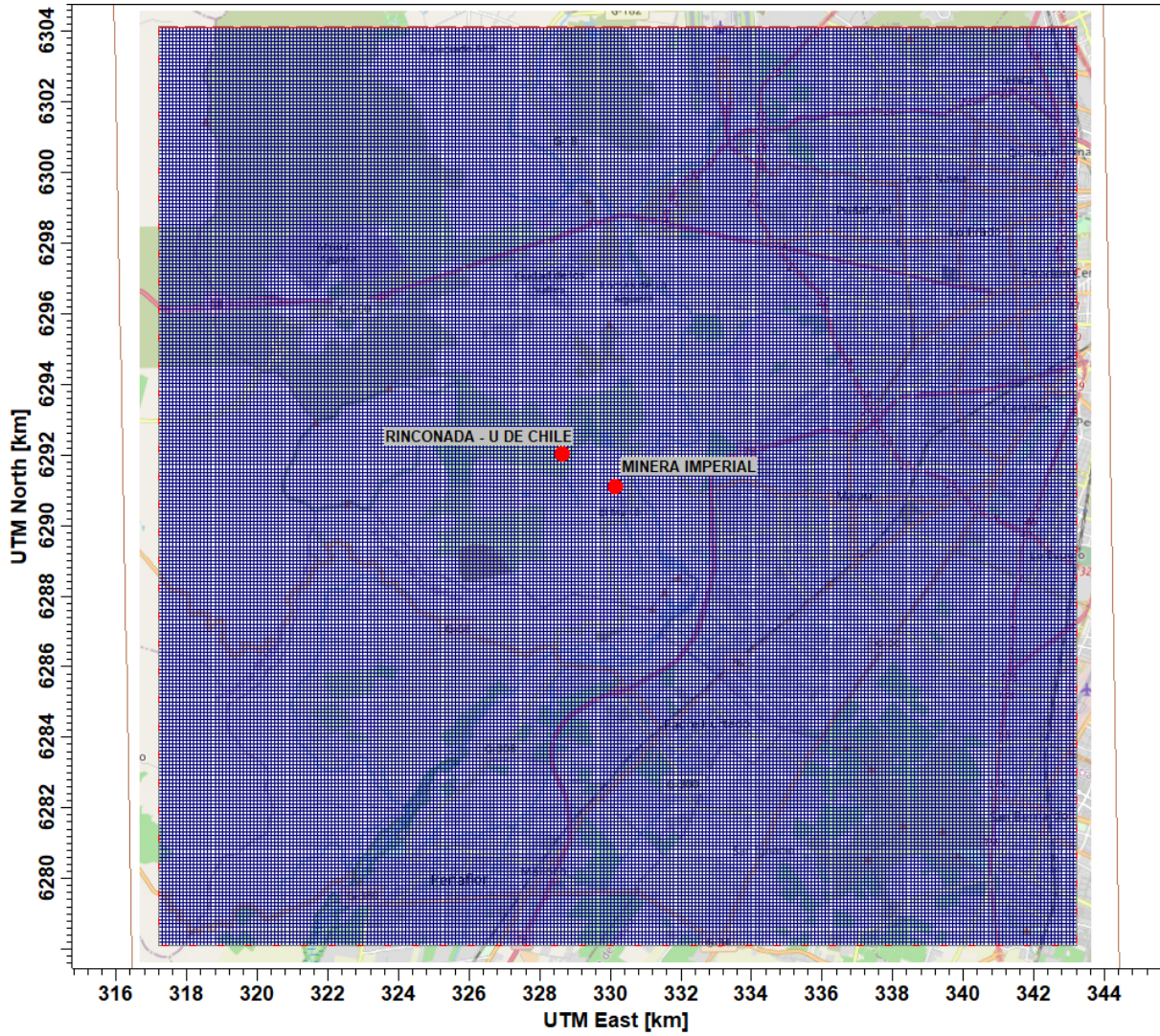


Figura 16 Topografía utilizada (SRTM1 a 30 metros de resolución).

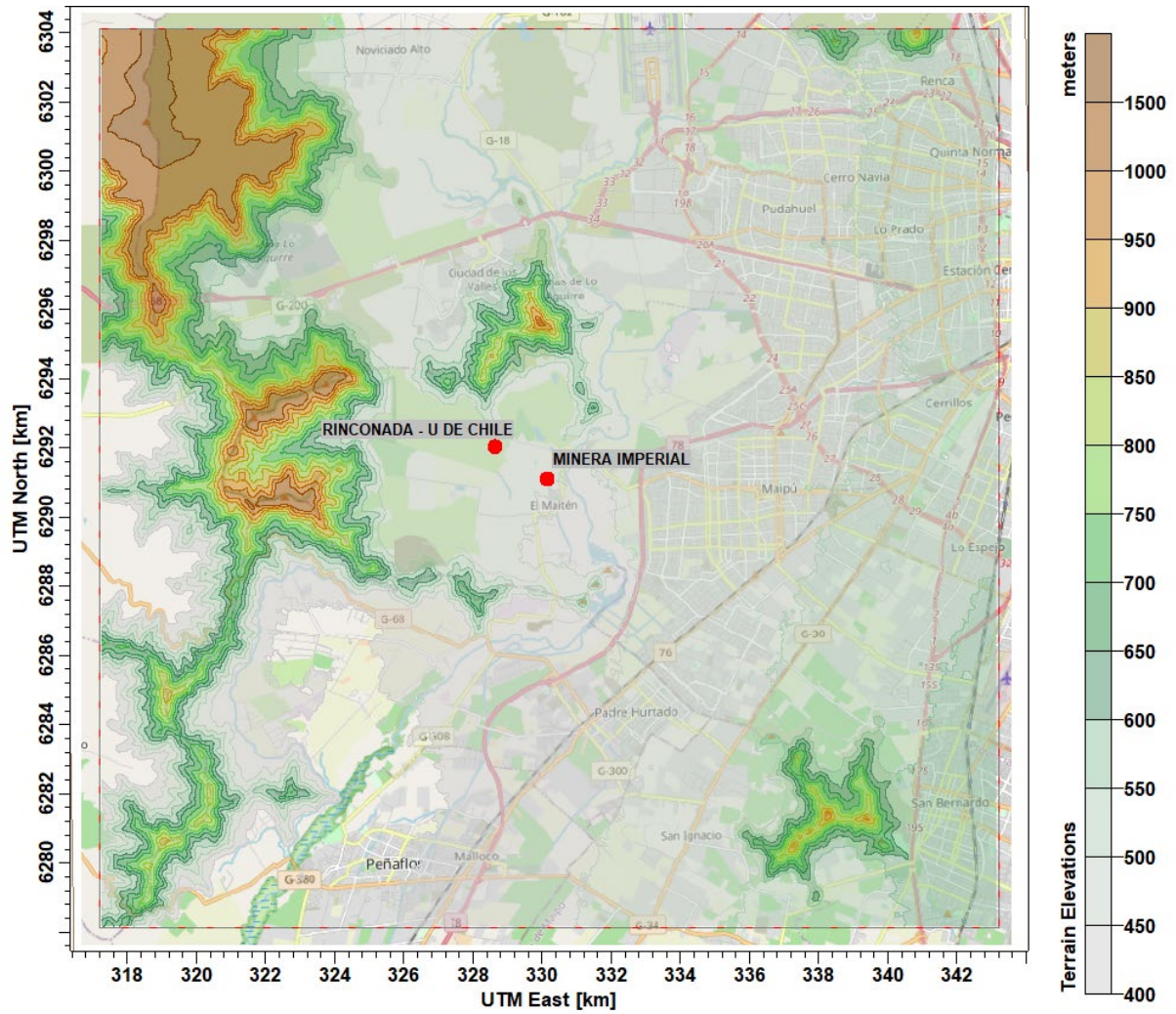


Figura 17 Dominio de modelación y usos de suelo (por defecto).

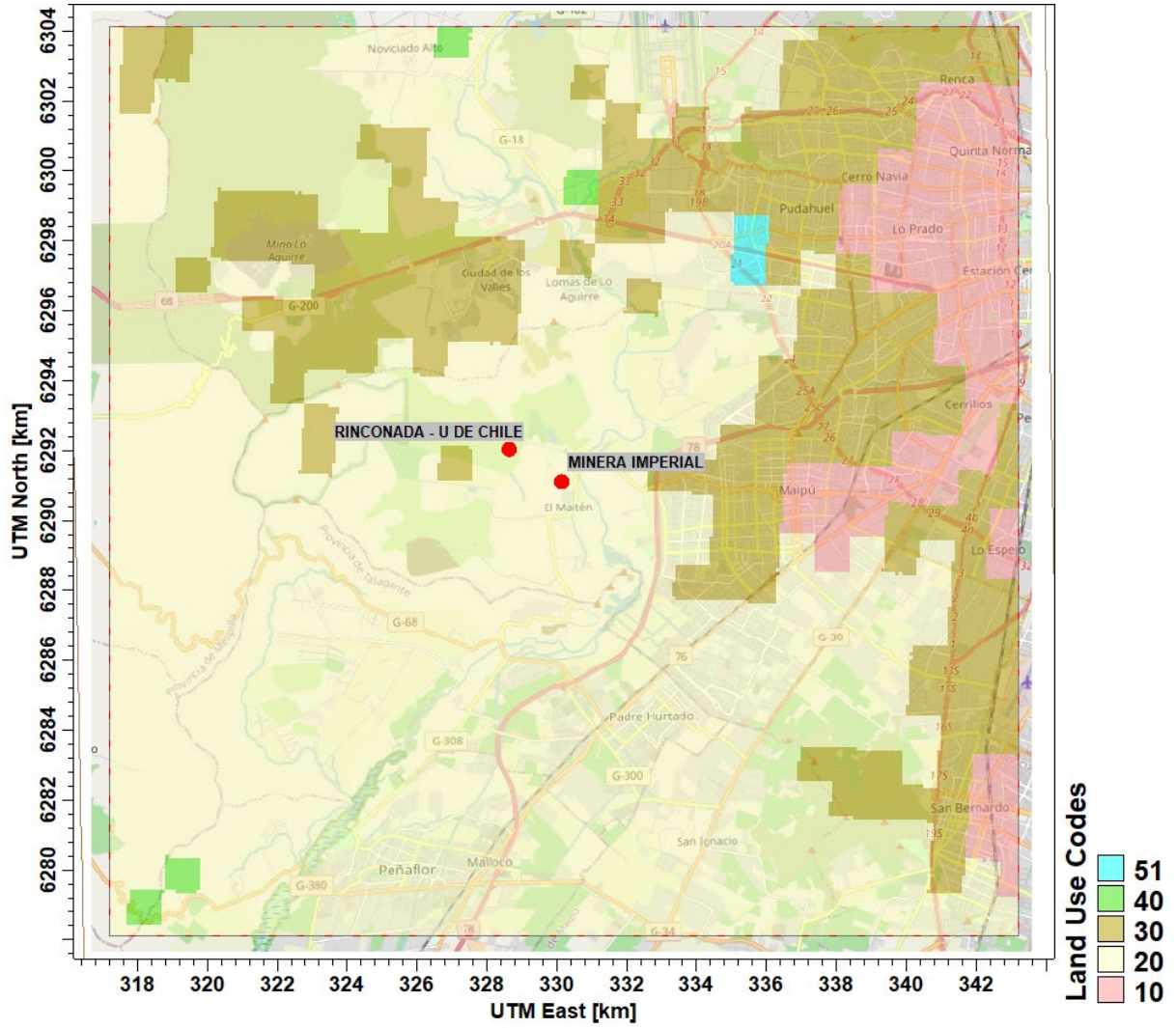


Tabla 20 Uso de suelos y parámetros de CALPUFF (por defecto).

Categoría CALPUFF	Categoría GLCC	Rugosidad	Albedo	Bowen	Flujo natural	Flujo antrópico	Área foliar	Descripción
10	11	0.5	0.18	1.5	0.2	0	1	Residencial
10	12	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Comercial
10	13	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Industrial
10	14	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Transportes, Comunicaciones
10	15	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Industrial y Comercial
10	16	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Urbano o Construido 1
10	17	1	0.18	1.5	0.25	0	0.2	Urbano o Construido 2
20	21	0.25	0.15	1	0.15	0	3	Cultivo o Pastoreo
20	22	0.25	0.15	1	0.15	0	3	Huertos, Arboledas, Viñedos, Viveros
20	23	0.25	0.15	1	0.15	0	3	Operaciones de alimentación confinada
20	24	0.25	0.15	1	0.15	0	3	Agricultura
30	31	0.05	0.25	1	0.15	0	0.5	Pastizales herbáceos
30	32	0.05	0.25	1	0.15	0	0.5	Pastizales de arbustos y matorrales
30	33	0.05	0.25	1	0.15	0	0.5	Pastizales mixtos
40	41	1	0.1	1	0.15	0	7	Tierra de bosque caducifolio
40	42	1	0.1	1	0.15	0	7	Tierra de bosque siempre verde
40	43	1	0.1	1	0.15	0	7	Tierra forestal mixta
51	51	0.001	0.1	0	0	0	0	Corrientes y canales
51	52	0.001	0.1	0	0	0	0	Lagos
51	53	0.001	0.1	0	0	0	0	Reservorios

5. Análisis e incertidumbre

Para el análisis de incertidumbre, se utilizó la estación más con información pública disponible que corresponde a la estación Rinconada - U de Chile. Las variables para analizar corresponden a la Magnitud y Dirección del viento, puesto que esta combinación de variables incide el transporte y dispersión de contaminantes. Se extrajo desde el dominio de modelación, el punto de grilla correspondiente a la posición de la estación, de manera de analizar la incertidumbre de los datos modelados versus los datos observados.

En cuanto a la comparación cualitativa de variables, en la Figura 18, se presenta el ciclo diario de la velocidad del viento observada y modelada, se puede ver que el ciclo es capturado de manera adecuada por parte del modelo. Sin embargo, en términos de promedios se puede ver que el modelo tiende a subestimar las velocidades del viento.

En la Figura 20 se presenta una comparación de la dirección del viento observado y modelado, el modelo logra representar las componentes del viento provenientes desde el Oeste, las que producen que, los fenómenos de transporte y dispersión de produzcan hacia la componente Este.

En la Figura 21 se observa una comparación de las velocidades de viento. Se puede ver que, en promedio, el modelo subestima la velocidad en un promedio de 0,6 m/s. De esta manera, el modelo representa escenarios de ventilación más desfavorables, incrementando las concentraciones, permitiendo llevar a cabo la evaluación bajo un escenario conservador.

Respecto a la variable Temperatura, en la Figura 22 y Figura 23 se presenta una comparación entre lo modelado y lo observado. Tal como se puede ver, la representación de esta variable concuerda con lo monitoreado en dicha estación, tanto en el ciclo diario como anual.

Figura 18 Ciclo diario de velocidad observada y modelada.

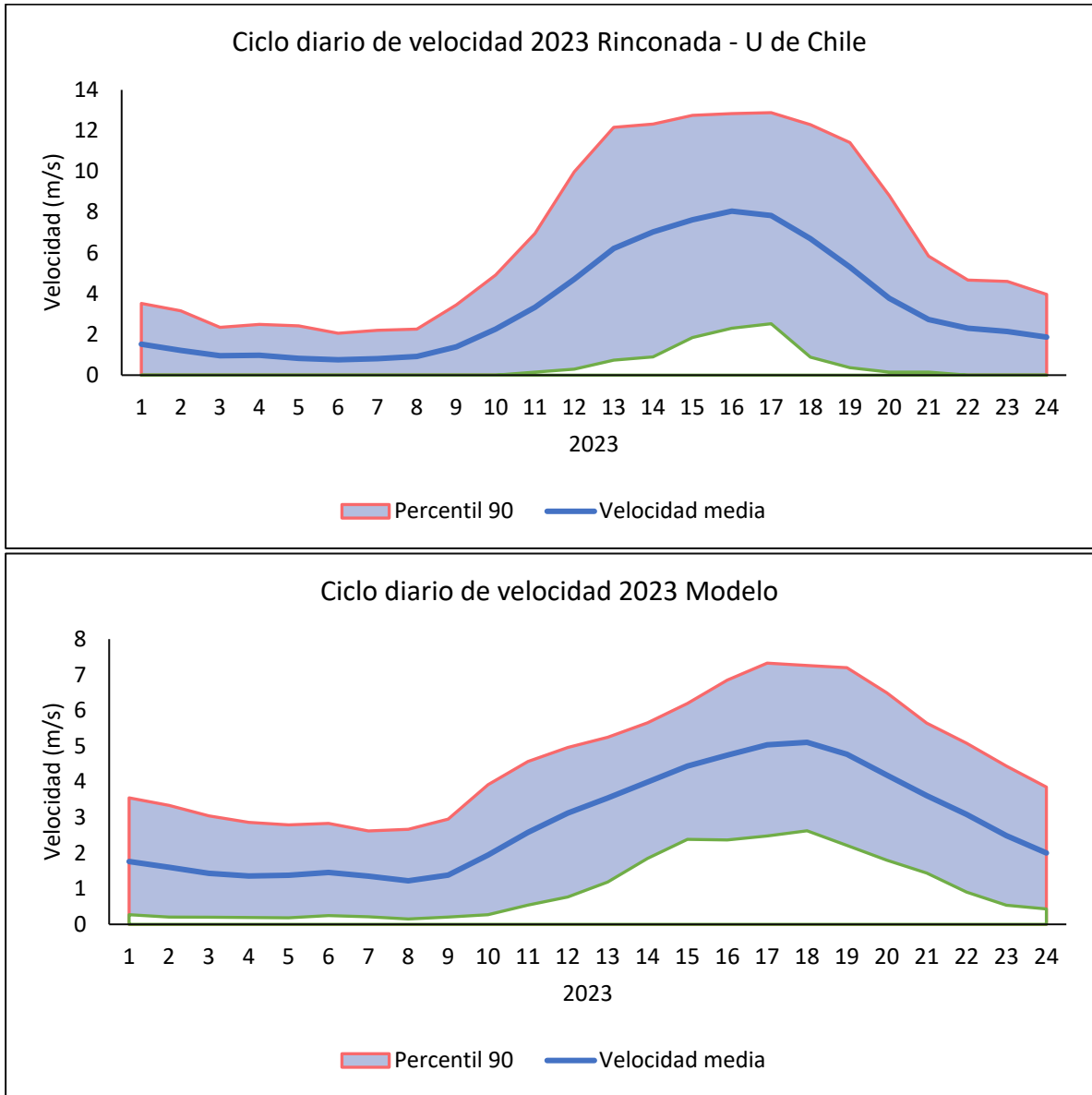


Figura 19 Ciclo anual de velocidad observada y modelada.

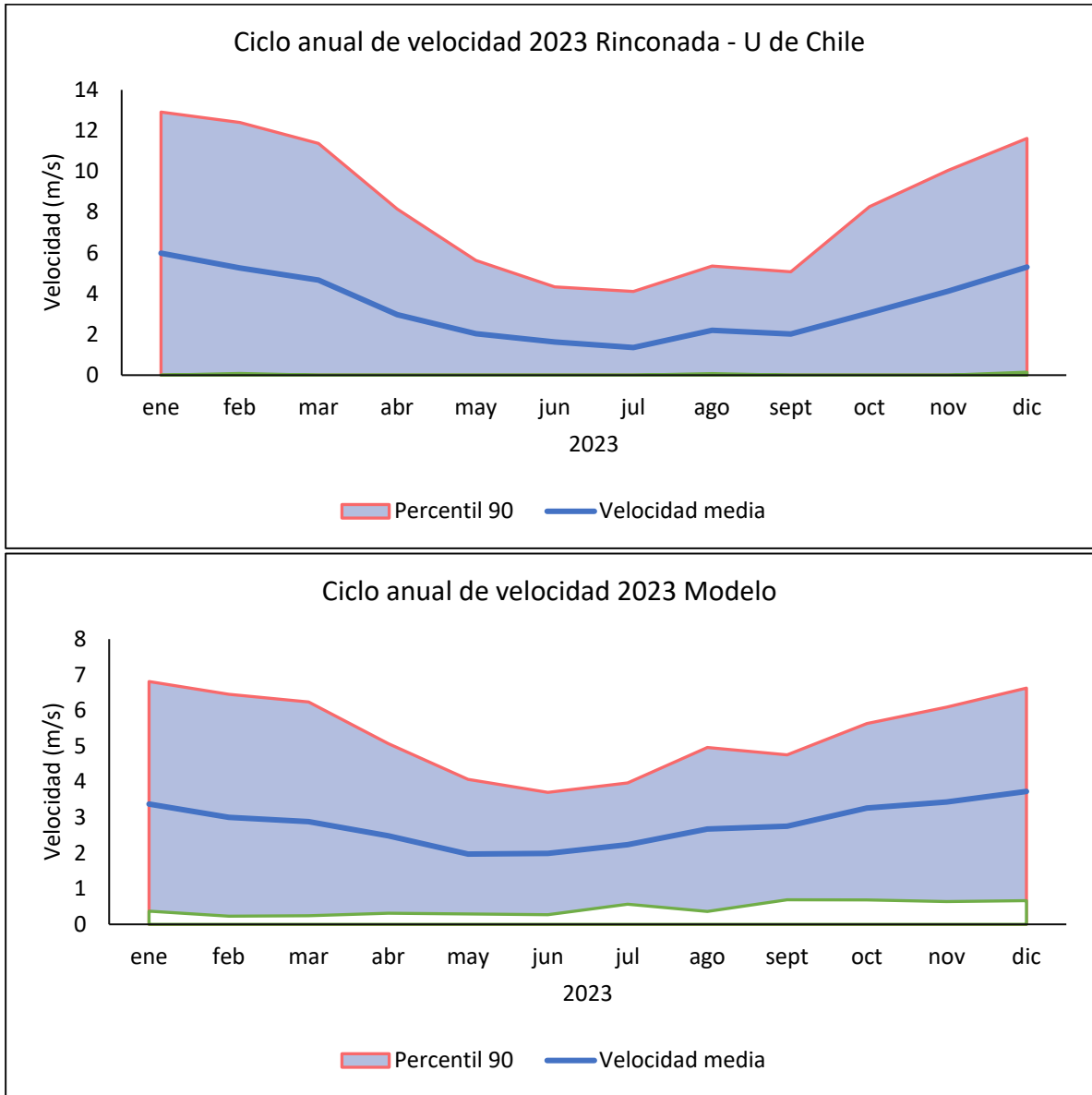


Figura 20 Dirección del viento observada y modelada.

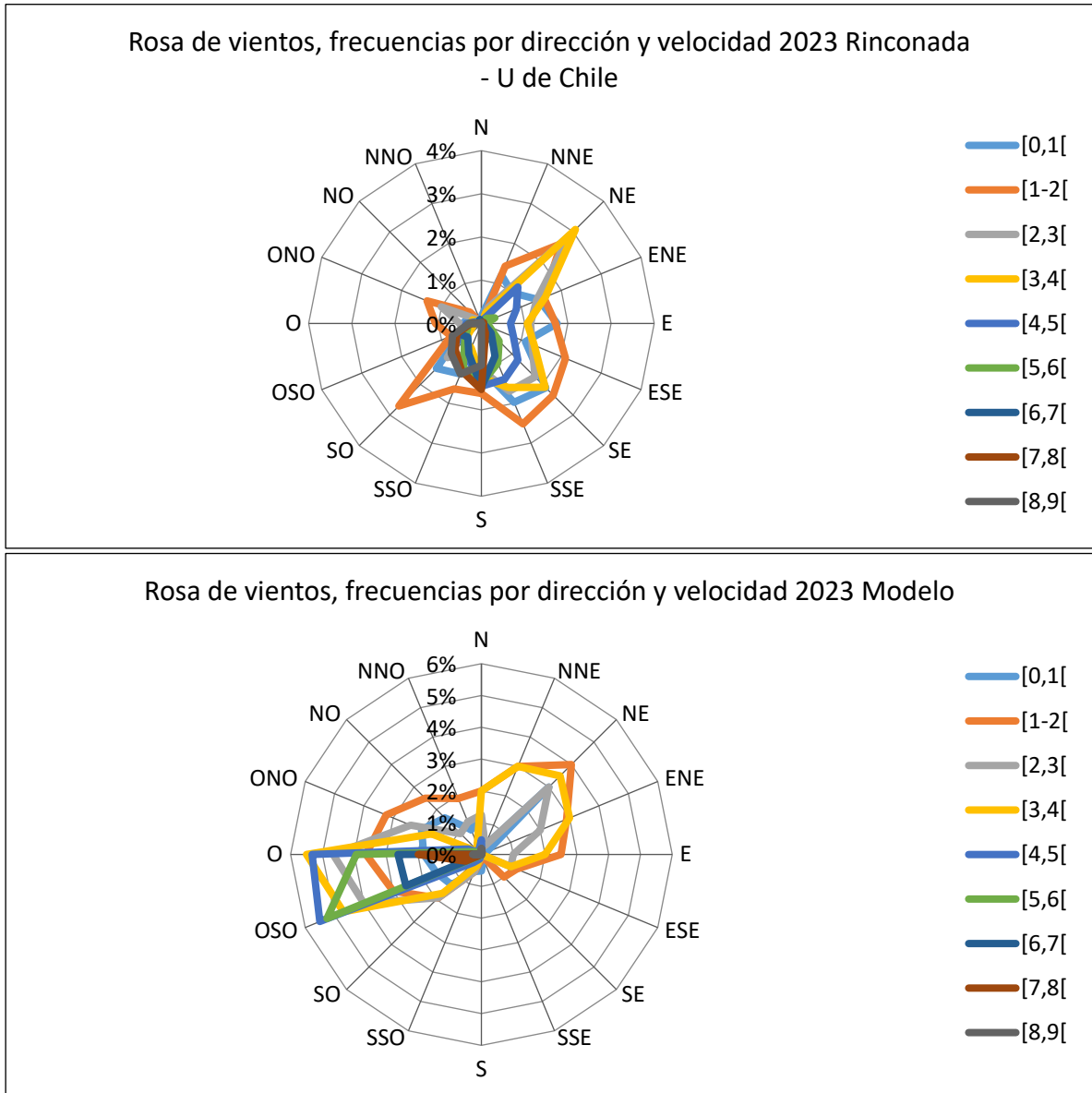




Figura 21 Velocidades de viento observada y modelada.

Datos de velocidad (m/s) 2023 Rinconada - U de Chile													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	2.4	2.4	1.9	1.3	1.1	1.1	1	1.6	0.9	1.1	1	2.5
	1	2	1.4	1.3	1.2	1.2	0.8	0.8	1.3	1	0.8	0.9	1.9
	2	1.3	0.9	1	0.9	1	1.2	0.4	1.1	1	0.7	0.7	1.3
	3	1	0.9	0.9	1	1.3	0.9	0.9	1.5	0.9	0.6	0.8	1.2
	4	0.7	0.9	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	1.2	0.9	0.6	0.7	0.9
Mañana	5	0.8	0.6	0.6	0.8	1.1	1	0.7	0.8	0.6	0.5	0.5	0.9
	6	0.6	0.5	1	0.7	1.1	0.9	0.8	1.2	0.6	0.5	0.4	1.2
	7	0.8	0.7	0.6	0.7	1	1	0.6	1.8	0.7	0.7	1	1.5
	8	2.1	1.1	1	0.8	0.9	0.7	0.6	1.5	1	1.2	2.3	3.3
	9	4.3	2.7	2	1	0.8	1.1	0.5	1.6	1.5	2.2	4.5	4.8
Tarde	10	6.8	4.7	4.1	1.7	1	1.1	1.1	1.6	1.8	3.3	6	6.7
	11	9.7	7	6.2	3	1.8	1.6	1.1	1.9	2.9	4.8	7.4	9
	12	11.5	10.5	9.4	4.9	2.9	2.6	1.8	2.1	3.5	6.1	8.8	10.4
	13	11.5	11.5	10.9	6.4	3.8	2.8	1.9	3.6	3.9	7.2	9.6	11
	14	12.3	11.6	11	8.1	5.3	3.6	2.7	4.4	4.1	7.9	9.5	10.7
Noche	15	12.8	12.1	11.4	9	6.3	3.9	3.8	5	4.6	7.5	9.5	10.9
	16	12.9	12.6	10.8	8.6	5.1	3.8	3.7	4.7	4.6	7.6	8.9	10.8
	17	12.7	11.6	10.2	6.8	3.1	2	1.9	3.3	3.9	6.8	7.8	10.5
	18	11.6	10.1	8.3	4.1	1.6	1.4	1.1	2.3	2.5	5.1	6.8	9.2
	19	7.9	7.1	5.9	2.5	1.6	1.7	0.9	2.1	1.8	3	4.1	6.9
Noche	20	5.8	4.7	4.1	2	1.7	1.4	1.3	2.1	1.7	1.7	2.5	3.8
	21	4.6	4	3.2	1.8	1.6	1.3	1.4	2	1.6	1.4	2	2.8
	22	4.3	3.5	3.1	1.7	1.3	1	1.5	2.1	1.3	1.2	1.8	2.7
	23	3.3	3.1	2.5	1.6	1.4	1.2	1.3	1.8	1.2	1	1.5	2.5
x mensual		6	5.3	4.7	3	2	1.6	1.4	2.2	2	3.1	4.1	5.3
x estacional		5.3			2.2			1.9			4.2		
x anual		3.4											

Datos de velocidad (m/s) 2023 Modelo													
	2023	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Magrugada	0	1.5	1	1	1	1.1	1.8	2.1	1.7	2.4	2.4	2.8	2.3
	1	1.1	1	0.7	0.9	1.2	1.9	2.1	1.7	2.4	2.1	2.2	2
	2	0.9	0.6	0.5	1	1.4	1.9	2.1	1.8	2	1.7	1.6	1.6
	3	0.9	0.6	0.6	0.9	1.4	1.6	2	2	1.7	1.6	1.4	1.4
	4	0.9	0.6	0.7	1	1.2	1.6	1.9	2.1	1.9	1.5	1.5	1.6
Mañana	5	1	0.7	0.7	1.1	1.4	1.5	2	2.2	1.9	1.7	1.7	1.5
	6	0.7	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	2	2.3	1.8	1.6	1.1	0.9
	7	0.4	0.3	0.6	1.1	1.3	1.8	2.2	2.2	1.4	1.1	1.1	1.2
	8	1.1	0.6	0.5	0.4	1	1.8	1.9	1.9	1.3	1.7	2	2.3
	9	2.8	1.9	1.5	0.8	0.7	1.2	1.3	1.9	1.7	2.9	3.2	3.5
Tarde	10	3.8	3.4	2.8	1.8	0.8	1.3	1.2	2.3	2.3	3.6	3.7	4.1
	11	4.1	4	3.7	2.9	1.5	1.7	1.5	2.9	3	3.7	4	4.4
	12	4.6	4.5	4.2	3.3	2.3	2	1.8	3.4	3.5	4	4.2	4.8
	13	5.3	5.1	4.8	3.6	2.8	2.3	2.5	3.7	3.5	4.3	4.6	5.2
	14	6.1	5.8	5.6	4.2	3	2.7	2.9	4	3.8	4.7	5	5.6
Noche	15	6.6	6.3	6.2	4.6	3.2	2.7	3	4.1	3.9	4.9	5.4	6.2
	16	7	6.8	6.8	5.1	3.8	2.9	3.1	3.8	3.9	5.1	5.6	6.6
	17	6.9	6.7	6.6	5.3	4.1	3.1	3.2	3.8	3.9	5.3	5.5	6.8
	18	6.3	5.8	5.8	5.2	3.7	2.7	3	3.6	3.9	5.4	5.4	6.4
	19	5.5	4.7	4.7	4.4	3.1	2.2	2.8	3.3	3.7	4.9	5.3	5.7
Noche	20	4.6	3.9	3.9	3.7	2.5	2	2.5	2.9	3.5	4.3	4.6	4.9
	21	3.8	3.3	3.1	2.7	1.9	2	2.5	2.5	3.2	3.8	4.1	4.3
	22	3.1	2.2	1.8	1.8	1.3	1.9	2.3	2.2	2.8	3.4	3.5	3.5
	23	2.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.7	2.1	1.9	2.6	2.8	3	2.6
x mensual		3.4	3	2.9	2.5	2	2	2.3	2.7	2.8	3.3	3.4	3.7
x estacional		3.1			2.2			2.6			3.5		
x anual		2.8											

Figura 22 Ciclo diario de temperatura observada y modelada.

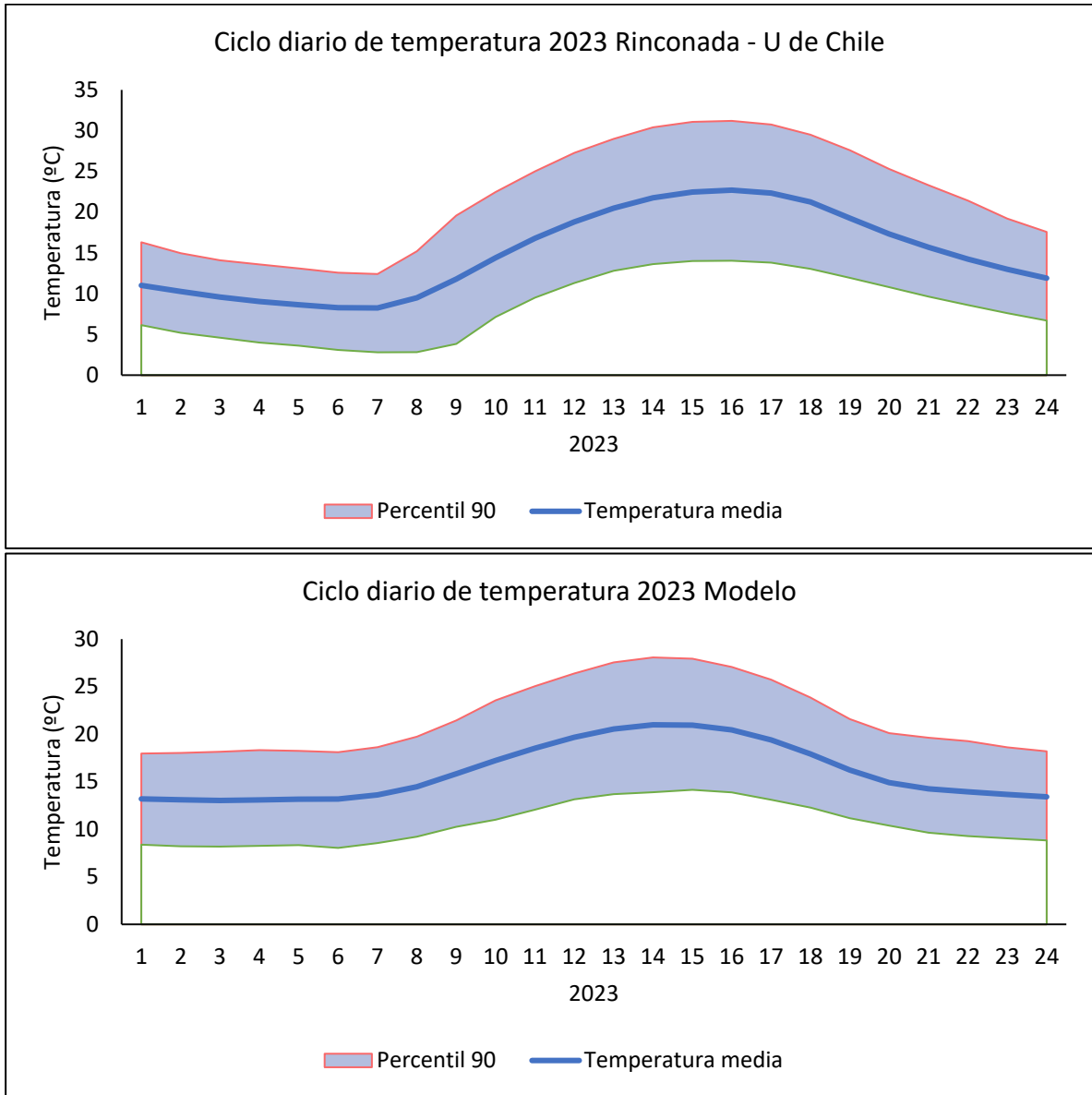
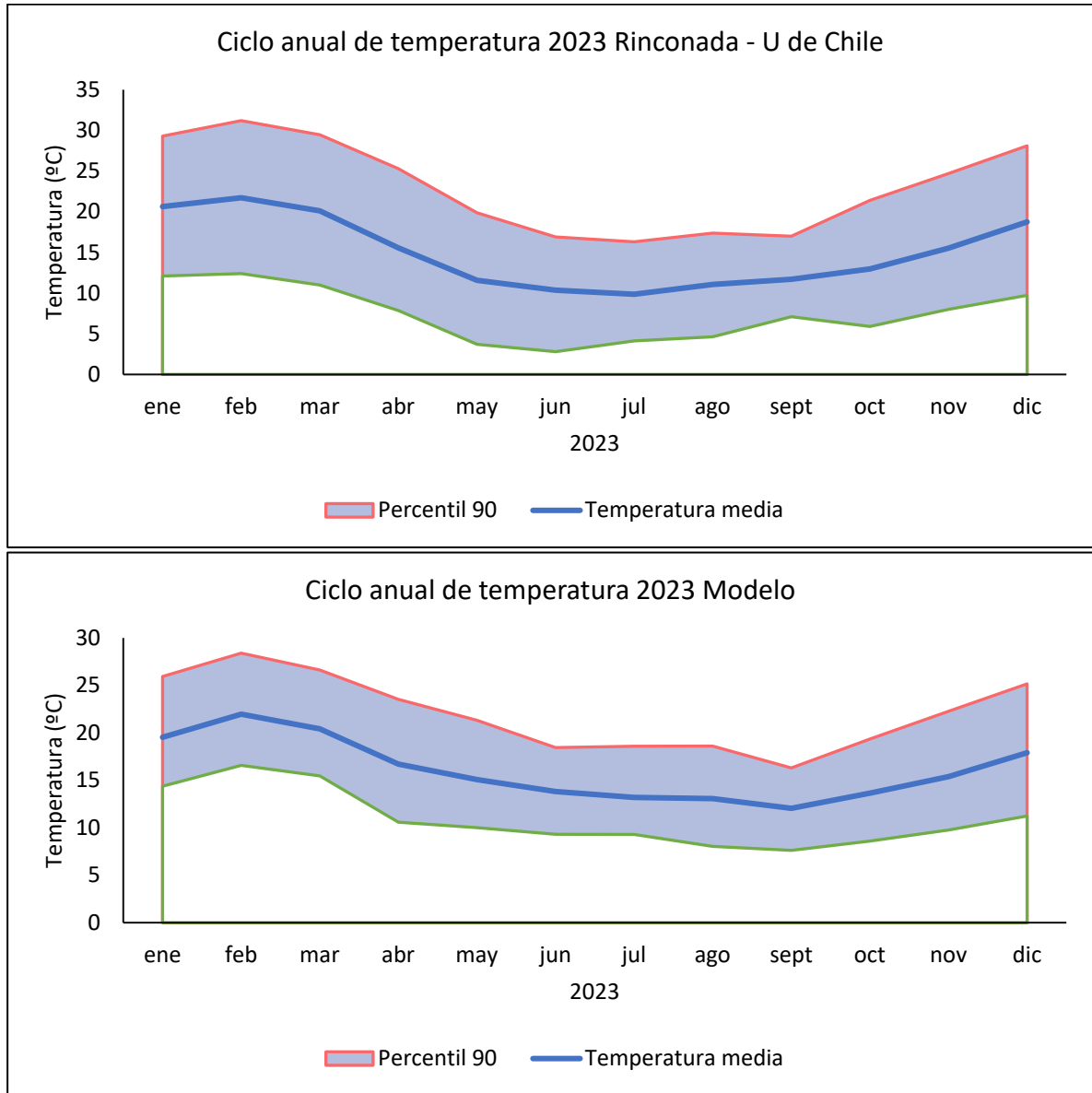


Figura 23 Ciclo anual de temperatura observada y modelada.



6. Comparación cuantitativa de variables

En la Tabla 21 se puede ver los estadísticos que comparan el desempeño del modelo para las variables de Velocidad del viento y temperatura. Se puede ver que las métricas estadísticas están dentro de los rangos considerados como aceptables.

Tabla 21 Comparación cuantitativa de variables

Estadístico	Velocidad del viento		Temperatura	
	Calculado	Referencia*	Calculado	Referencia*
BIAS	0,57 (m/s)	[-2,5;2,5] (m/s)	-1,1	[-4;4] (°C)
MAE	2,2 (m/s)	≤3 (m/s)	3,4	≤4 (°C)
RMSE	2,98 (m/s)	≤3,5 (m/s)	4,54	≤ 4,5 (°C)
r	0,64	>0,6	0,80	>0,8

* Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA (2023), 6.2.2 Análisis cuantitativo, Tabla 2.

7. Estimación de Emisiones

7.1. Ecuación General de cálculo de emisiones

La metodología utilizada, corresponde a la señalada en el documento “Guía para la Estimación de Emisiones en la Región Metropolitana”, de la Seremi del Medio Ambiente de la Región Metropolitana del año 2020, que se basa en “Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP 42” de EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). El método para determinar las emisiones generadas corresponde a un método indirecto. Las emisiones son estimadas en base a la utilización de factores de emisión, el cual corresponde a una relación entre el contaminante emitido a la atmósfera y los niveles de actividad, de acuerdo con la siguiente ecuación: Ecuación 1. Ecuación General de Emisiones Atmosféricas.

$$E = fe \times Na \times (1 - Ea)$$

Donde:

- E : Emisión
- fe : Factor de emisión
- Na : Nivel de actividad
- Ea : Eficiencia de abatimiento

Las emisiones deben ser estimadas sobre una base anual (12 meses corridos) de acuerdo con la programación para la realización de las distintas actividades, en toneladas por año cronológico. El nivel de actividad depende de las condiciones específicas; dicha información, fue entregada al Consultor previamente.

Los factores de emisión utilizan distintos parámetros para su determinación, los cuales pueden ser obtenidos de fuentes bibliográficas o de estudios específicos realizados o en la zona afectada. Al respecto, se aclara que los parámetros seleccionados deben ser representativos de la zona afectada o de las actividades realizadas. Los factores de emisión que serán utilizados en presente documento, son los siguientes:

- Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana, desarrollada por la SEREMI de Medio Ambiente de la Región Metropolitana, publicada en octubre de 2020.
- AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, de la US EPA, y en el Informe Final Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el SEIA.

7.2. Actividades o Fuentes de Emisión

Para este caso, se realizó el cálculo de Emisión de la fuente mostrada en la Tabla 22. Las emisiones atmosféricas corresponden a las generadas por el carguío del material extraído y las que son cargadas a camión tolva.

Tabla 22 Actividades o fuentes de emisión

Actividad	Contaminantes
Carguío de Material	MP10 - MP2,5 - MPS
Combustión maquinaria fuera de ruta	MP10 - MP2,5 - MPS - NOX - SOX - NH3 - CO - COV

En la siguiente Tabla 23, se muestra la maquinaria y sus características, la cual se utilizará para el cálculo de emisiones.

Tabla 23 Maquina / Equipo a utilizar en la carga

Actividad	Vehículo	Marca y Modelo	Potencia (HP)	Potencia (kW)
Carguío de material	Excavadora	CAT 320 D	157	117

7.1. Cálculo de emisiones

A continuación se presentan la Emisión por las actividades de carguío de material y Combustión maquinaria fuera de ruta.

7.2. Emisión de carguío de material

La carga de material genera polvo en suspensión debido a la transferencia de material que se realiza entre un punto a otro, esta emisión es calculada de acuerdo con la cantidad de material a transferir en toneladas, considerando la densidad de este material, obteniendo el nivel de actividad en toneladas. Es importante señalar que para esta actividad sólo se considera la carga del material a camión tolva.

Tabla 24 Ecuación para factor de emisión de carguío de material

Ecuación	Unidad	Parámetros	Referencia
$fe = k \times 0,0016 \times \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$	(kg/ton)	K MP10: 0,35 K MP2,5: 0,053 K MPS: 0,74 U: Velocidad del viento promedio. Valor por defecto: 5,0 m/s. M: Porcentaje de humedad del suelo. Valor por defecto: 6,5	EPA, Capitulo 13 "Miscellaneous Sources", AP-42, sección 13.2.4.3 "Aggregate Handling and Storage Piles".

Para el cálculo de la Emisión de Carguío de Material, se utilizó como valor de velocidad de viento el especificado por la Guía, ya que, al realizar el cálculo de promedio de aire en la Estación más cercana (Estación Rinconada - U de Chile, Maipú) este arrojó un valor de 3,4 m/s, ello en línea con utilizar los valores que arrojaran los resultados más desfavorables. Con respecto al valor de Porcentaje de Humedad, se utilizó también valor por defecto de la Guía, el cual es de 6,5%. El valor de densidad del material a extraer es igual a 1,6 ton/m³.

4 Valor de Densidad de Material entregado por el Titular.

7.2.1. Nivel de actividad - Carguío de material

Para contemplar todas las emisiones, el nivel de actividad es equivalente a las toneladas del material cargado hacia el camión. Además, se considerará el uso de abatimiento mediante la humectación del material a extraer⁵.

En la Tabla 25, se muestra el Nivel de Actividad y Factor de Emisión, utilizado en el Cálculo de Emisión durante la fase de operación; como material cargado, se utilizó un valor de 117.000 m³, lo que equivale a 187.200 toneladas⁶.

Tabla 25 Nivel de actividad y factor de emisión - Carguío y volteo

Actividad	Nivel de Actividad (ton)	Densidad del Material (kg/m3)	Fe MP10 (kg/ton)	Fe MP2,5 (kg/ton)	Fe MPS (kg/ton)
Carguío de Material	187.200	1,6	0,00031	0,000047	0,000661

7.2.2. Emisión Combustión Fuera de Ruta

La operación de maquinarias para la extracción de áridos genera combustión, al estar estacionarias en algún lugar de la obra, por lo que sus emisiones corresponden a gases principalmente y material particulado.

Con respecto al cálculo, la siguiente metodología está basada en dos documentos, en primer lugar, en el “Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling” (EPA, 2002), que aporta con la fórmula general de obtención de emisiones, y en segundo lugar, en el capítulo 1.A.4 Non Road Mobile Machinery (EMEP/EEA, 2016b), que aporta con factores de emisión y parámetros más actualizados que los indicados por la EPA. El algoritmo de esta metodología está dado por la Ecuación 2.

Ecuación 2 Ecuación cálculo factor de emisión maquinaria fuera de ruta

$$E_{i,j} = h \times P_i \times (1 + FD_i) \times FC_i \times TAF_i \times FE_{Base\ i,j}$$

Donde:

- $E_{i,j}$: Emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en (g/año).
- h_i : Horas de utilización de la maquinaria i, en (h/año).
- P_i : Potencia del tipo de maquinaria i, en (kW).
- FD_i : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.

⁵ Como valor de abatimiento se considerará un valor de 75% por humectación del material a extraer (Referencia: Guidance for Application for Dust Control Permit)

⁶ Los valores de densidad de los materiales fueron entregados por el Titular.

- FC_i : Factor de carga de la maquinaria i , adimensional.
- TAF_i : Factor de ajuste transiente de la maquinaria i , adimensional.
- FE_{Base} : Factor de emisión del contaminante j , de la maquinaria i , en [g/kWh]

A su vez, el Factor de Deterioro (FD), está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Ecuación de deterioro

$$FD = \frac{K}{VU} \times FD_{vu}$$

Donde:

- K : Edad de la maquinaria (entre 0 y la vida útil), en años.
- VU : Vida útil de la maquinaria, en años.
- $FDVU$: Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.

Cabe señalar que cuando la edad de la maquinaria supera el de la vida útil, se debe usar un FD equivalente a $FDVU$. De esta forma, los parámetros a utilizar están se muestran a continuación:

FDVU:

A continuación, en la siguiente Tabla, se presentan los factores de deterioro relativos a la vida útil, para distintos contaminantes y tipos de tecnología.

Tabla 26 Deterioro relativo a la vida útil de maquinaria.⁷

<i>Tecnología</i>	<i>MP⁸</i>	<i>NOx</i>	<i>CO</i>	<i>COV</i>
<i>Previo a Stage I</i>	0,473	0,024	0,185	0,047
<i>Stage I</i>	0,473	0,024	0,101	0,036
<i>Stage II</i>	0,473	0,009	0,101	0,034
<i>Stage IIA, IIB, IV y V</i>	0,473	0,008	0,151	0,0027

⁷ (EMEP/EEA, 2016b), Tabla 3-11.

⁸ Aplicar este factor tanto para MP10 como para MP2,5.

VU:

Por otro lado, los valores estándar de la vida útil de distintas maquinarias pueden observarse en la Tabla siguiente:

Tabla 27 Vida útil de maquinaria.

Maquinaria ⁹	Vida Útil (años)
Excavadora	10

FC:

Para el factor de carga, en base a lo señalado en (Caterpillar, 2017), y considerando un escenario conservador, se debe utilizar un valor de 0,8 para todas las maquinarias fuera de ruta.

TAF:

Para el factor de ajuste transiente, contamos con los valores presentados en la siguiente Tabla. Estos, dependen del FC y de la tecnología de la maquinaria.

Tabla 28 Factor de ajuste transiente.¹⁰

Nivel Tecnológico	Factor de Carga	PTS	NOx	CC	CO	COV
Stage II y Previos	FC > 0,45	1,23	0,95	1,01	1,53	1,05
Stage IIIA		1,47	1,04	1,01	1,53	1,05
Stage IIIB-V		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

FEBase:

Los factores de emisión base, según potencia, tecnología y contaminante, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 29 Factores de emisión para maquinaria fuera de ruta.¹¹

Potencia (kW)	Tecnología	MP10 (g/kWh)	M2,5 (g/kWh)	NOx (g/kWh)	CC (g/kWh)	SOx12 (g/kWh)	NH3 (g/kWh)	CO (g/kWh)	COV (g/kWh)
75 ≤ P ≤ 130	1991 - Stage I	0,400	0,400	13,30	255	0,0077	0,002	3,500	1,200
	Stage I	0,200	0,200	8,100	255	0,0077	0,002	1,500	0,400

9 (EMEP/EEA, 2016b), Tabla C1.

10 (EEA, 2016b), Tabla 3-14.

11 (EMEP/EEA, 2016b), Tabla 3-6.

12 Se utiliza la Ec. 7, considerando que el diésel tiene un contenido de azufre de 15 ppm.

Potencia (kW)	Tecnología	MP10 (g/kWh)	M2,5 (g/kWh)	NOx (g/kWh)	CC (g/kWh)	SOx12 (g/kWh)	NH3 (g/kWh)	CO (g/kWh)	COV (g/kWh)
	Stage II	0,200	0,200	5,200	255	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,240	255	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	2,970	255	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	255	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	0,400	255	0,0077	0,002	1,500	0,130

7.2.1. Nivel de actividad - Combustión maquinaria fuera de ruta

El nivel de actividad corresponde a las horas anuales de utilización de cada maquinaria. Estas horas deben estar justificadas en base al rendimiento de las maquinarias, y al material tratado, y en caso de no ser factible esa justificación, se deben indicar las horas diarias y los días al año de utilización.

La excavadora realizará labores de excavación durante 9 horas diarias, considerando que el año tiene 264 días se obtuvo como valor total de 2.376 horas de funcionamiento al año.

Cabe señalar que, para efectos de los cálculos, se consideró la equivalencia entre los estándares de emisiones europeos y estadounidenses mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 30 Equivalencia en Estándares de Emisiones

Estándar Europeo	Estándar EPA
Stage I	Tier 1
Stage II	Tier 2
Stage IIIA	Tier 3
Stage IIIB	Tier 4 Interim
Stage IV	Tier 4 Final
Stage V	Tier V

En la Tabla 31 se muestra los valores de factor de emisión y nivel de actividad de la maquinaria fuera de ruta, en este caso, del cargador.



Tabla 31. Nivel de actividad y factor de emisión - Combustión maquinaria fuera de ruta

Actividad: Combustión Maquinaria Fuera de Ruta	Cantidad	Año	Horas de uso (horas)	K Edad Maquinaria (año)	VU - Vida útil (años)	Tecnología Combustión	FDVU				FD*				Factor de Carga	TAF					Fe Base									
							MP	NOx	CO	COV	MP	NOx	CO	COV		PT	N	CC	C	CO	MP10	MP2,5	NOx	CC	SOx	NH3	CO	COV		
															S	Ox		O	V	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)
Excavadora	1	2013	2.376	11	10	TIER 3	0,473	0,008	0,151	0,027	0,473	0,008	0,151	0,027	0,8	1	1	1	1	1	0,2	0,2	3,24	255	0,0077	0,002	1,5	0,3		

7.2.1.Emisiones

A continuación, se presentan las emisiones de la actividad de carguío de material extraído.

Tabla 32 Resumen de emisiones

Actividad en Operación	EMP10 (n/año)	EMP2,5 (t/año)	EMP (t/año)	NOx (t/año)	CC (t/año)	SOx (t/año)	NH3 (t/año)	CO (t/año)	COV (t/año)
Carguío de Material	0,0146	0,0022	0,0309						
Combustión Maquinaria Fuera de Ruta	0,0655	0,0655	0,3275	0,7263	56,7103	0,0017	0,0004	0,3839	0,0685
Total	0,0801	0,0677	0,3585	0,7263	56,7103	0,0017	0,0004	0,3839	0,0685

Dado que a futuro los movimientos de material se mantendrán sin mayores variaciones, se considera que la producción será igual que en los años venideros, por lo que se considera que el valor de emisiones por parte de carguío de material y de combustión maquinaria fuera de ruta, también se mantendrán sin variaciones. De todas maneras, y en vista de realizar la identificación de aportes bajo un escenario conservador, se han realizado supuestos que incrementan las emisiones: El promedio diario de carguío es de 20 camiones al día, con un máximo histórico de 45, lo que resulta en un promedio de 33 camiones. Sin embargo, se ha optado por tomar como condición basal una cantidad de 20 camiones, una condición máxima de 45 camiones, y se ha optado por el 75% de esa capacidad, lo que resulta es una cantidad fija de 39 camiones al día, estos 39 camiones al día se han considerado para todos los días del año.

Por otro lado, para la actividad de carga, el viento es una variable que influye en la cantidad de emisión del material cargado, la estación más cercana arrojó un valor promedio del viento de 3,4 m/s para 2023 (o 4,1 m/s si consideramos os escenarios más desfavorables que corresponden a 2021 o 2022), y en línea con utilizar los valores que arrojaran los resultados más desfavorables, se utilizó el valor por defecto de la Guía, el cual es 5 m/s.

8. Receptores discretos definidos

Respecto a los receptores definidos, se consideraron 13 receptores discretos, tal como lo muestra la Figura 24. La ubicación y el detalle de los receptores definidos se presenta en la Tabla 33.

Figura 24 Receptores discretos definidos

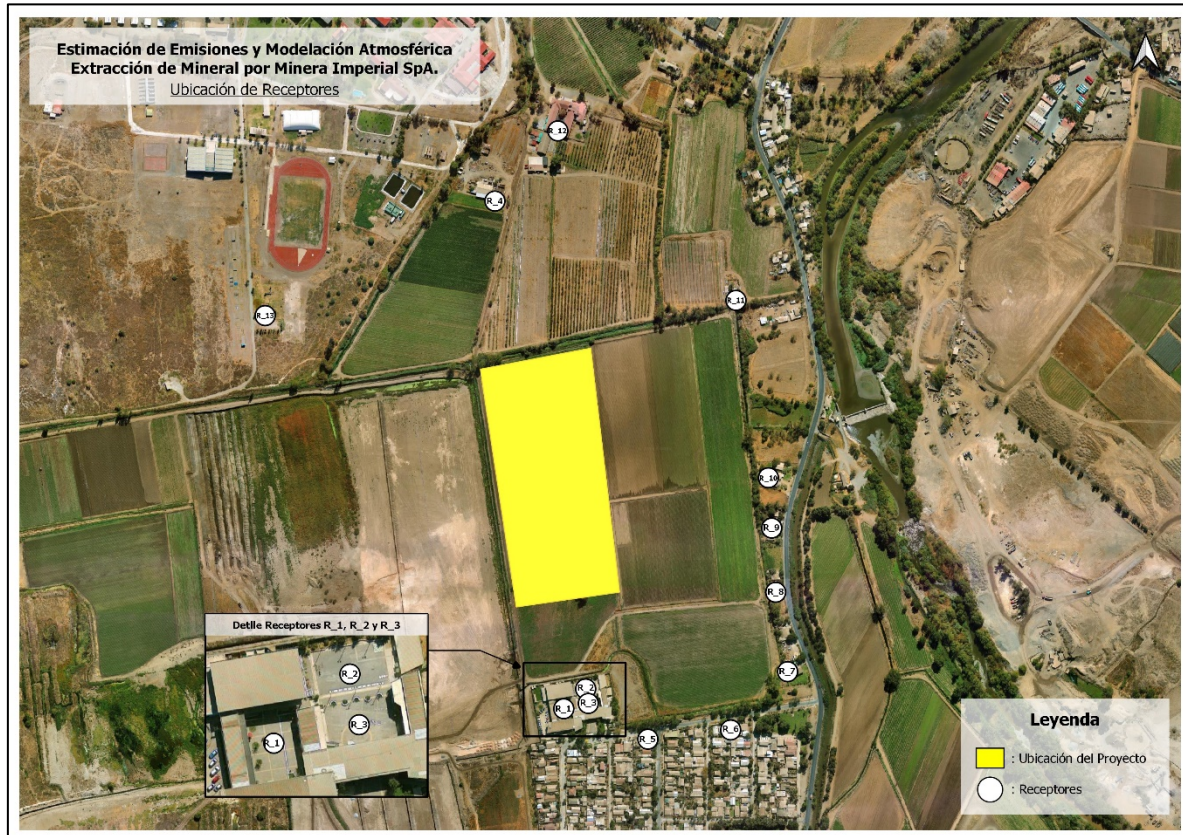


Tabla 33 Coordenadas de receptores discretos definidos

Receptor	Coordenada UTM 19S WGS-84		Tipo de receptor	Distancia a las actividades* (m)	Referencia
	Este	Norte			
R_1	330.217	6.290.824	LICEO 1	122	Receptor Entregado
R_2	330.250	6.290.854	LICEO 2	118	Receptor Entregado
R_3	330.254	6.290.832	LICEO 3	118	Receptor Entregado
R_4	330.114	6.291.592	GALPÓN SIEMBRA	246	Receptor Entregado
R_5	330.344	6.290.778	Vivienda	223	Receptor Propuesto
R_6	330.469	6.290.792	Vivienda	267	Receptor Propuesto
R_7	330.555	6.290.880	Vivienda	279	Receptor Propuesto
R_8	330.537	6.291.000	Vivienda	235	Receptor Propuesto
R_9	330.531	6.291.097	Vivienda	237	Receptor Propuesto
R_10	330.526	6.291.173	Vivienda / Galpón	241	Receptor Propuesto
R_11	330.477	6.291.441	Vivienda / Galpón	230	Receptor Propuesto
R_12	330.208	6.291.697	Hacienda Universidad de Chile	333	Receptor Propuesto
R_13	329.766	6.291.418	Vivienda / Galpón	329	Receptor Propuesto

*Distancia desde el receptor hasta los límites de la actividad.

Para la determinación de los receptores, se tomó en cuenta la presencia de casas, viviendas y servicios cercanos a las actividades, ya que principalmente en estas se concentra la población susceptible de ser afectada por potenciales emisiones (su salud y sistema de vida).

9. Resultados de la modelación

9.1. Isolíneas de concentraciones.

A continuación, se presentan las isolíneas de concentración de los distintos contaminantes Normados. Para ello, la base del análisis se ha realizado en función de los estándares normativos vigentes a 2024 y que se detallan en la Tabla 34.

Tabla 34. Normas Primarias de Calidad del Aire.

Variable	Cuerpo legal	Métrica	Valor
MP10	D.S. N°59/1998 del MINSEGPRES, modificada por D.S. N°45/2001 del MINSEGPRES	Promedio aritmético de tres años calendario consecutivos.	50 µg/m ³ N
	D.S N°12/2022 del MMMA, deroga el D.S N°59/1998 del MINSEGPRES	Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual.	130 µg/m ³ N
MP2.5	D.S. N°12/2011 del MMA	Promedio trianual de las concentraciones anuales	20 µg/m ³ N
		Percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año.	50 µg/m ³ N
SO2	D.S. N°104/2019 del MMA	Promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de las concentraciones de 1 hora registradas durante un año calendario.	350 µg/m ³ N
		Promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario.	150 µg/m ³ N
		Promedio aritmético de los valores de concentración anual tres años calendario sucesivos.	60 µg/m ³ N
NO2	D.S. N°114/2002 del MINSEGPRES	Promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario.	400 µg/m ³ N
		Promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos	100 µg/m ³ N
CO	D.S. N°115/2002 del MINSEGPRES	Promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario	30000 µg/m ³ N
		Promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 horas (promedio móvil) registrados durante un año calendario.	10000 µg/m ³ N



Figura 25 MP10: Percentil 98 de 24 horas

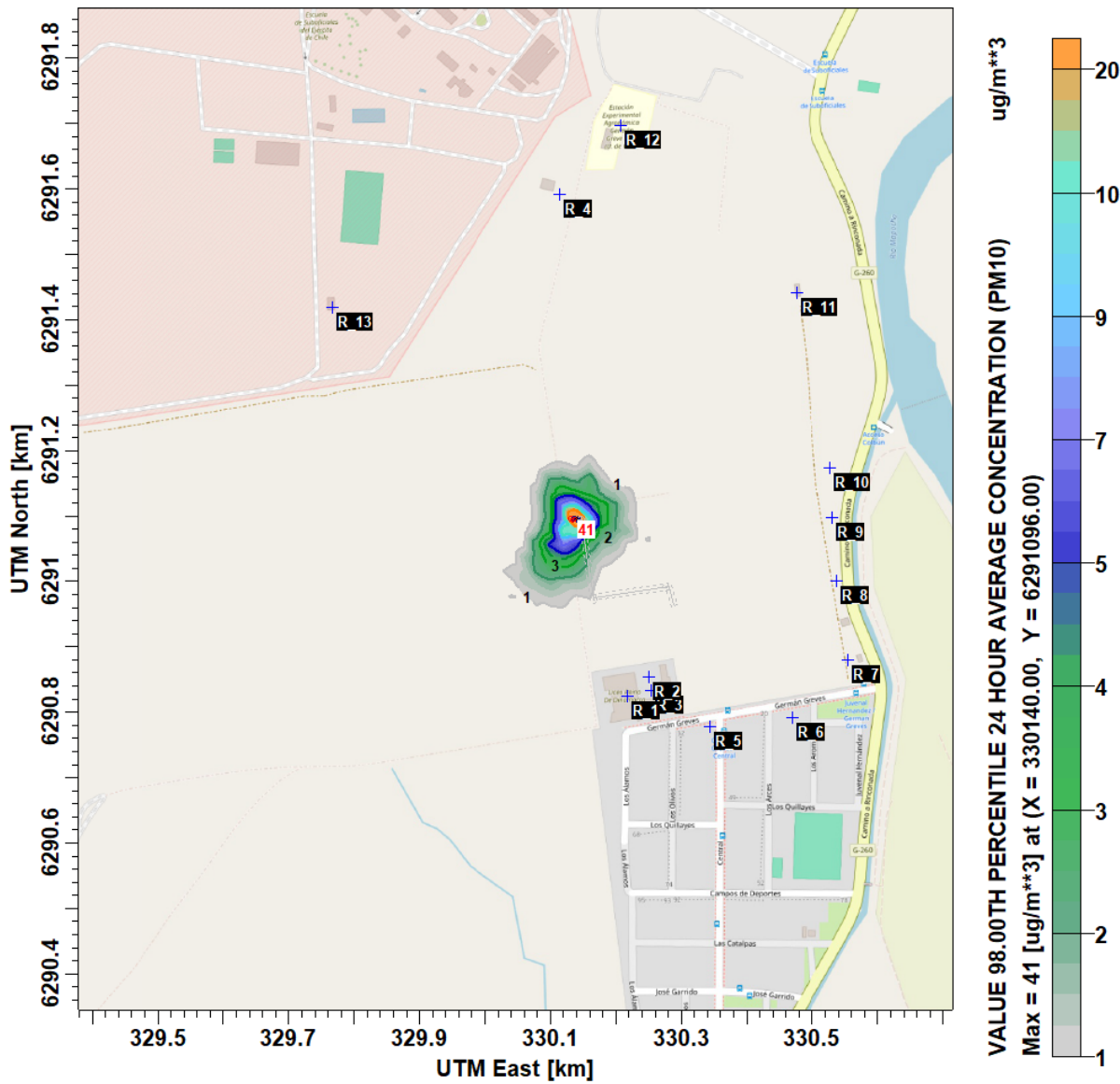




Figura 26 MP10: Media anual

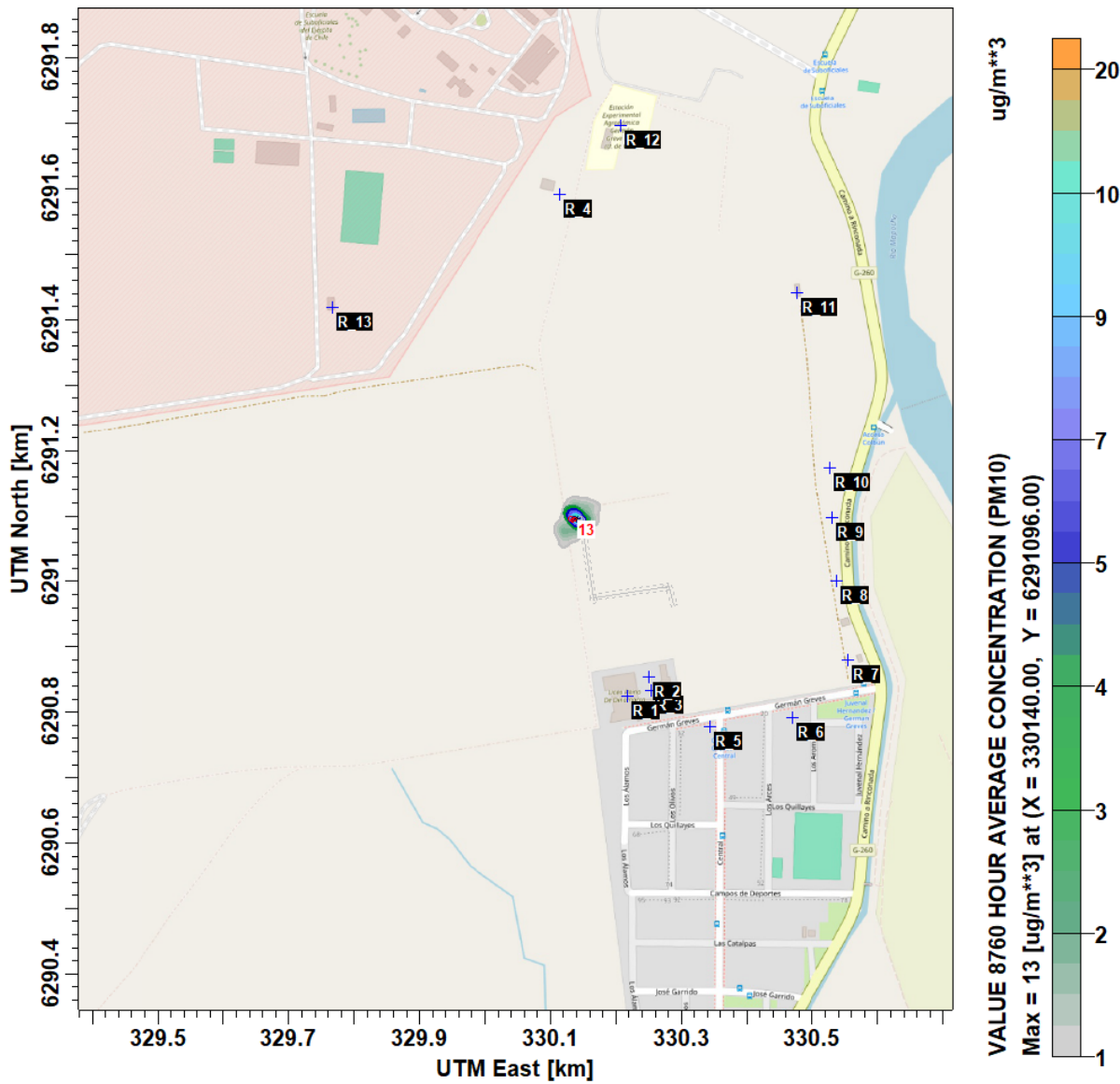


Figura 27 MP2.5: Percentil 98 de 24 horas

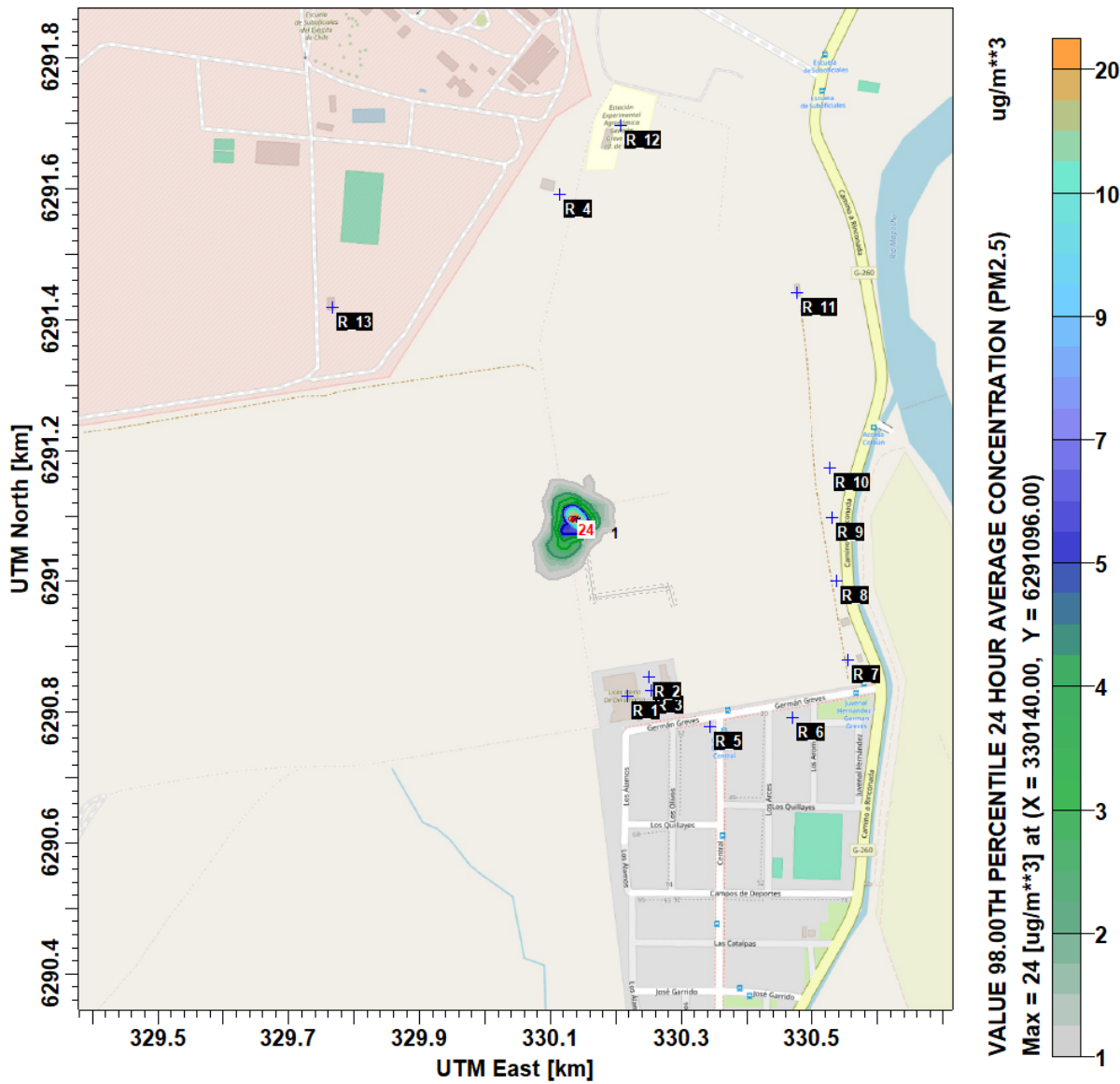


Figura 28 MP2.5: Media anual

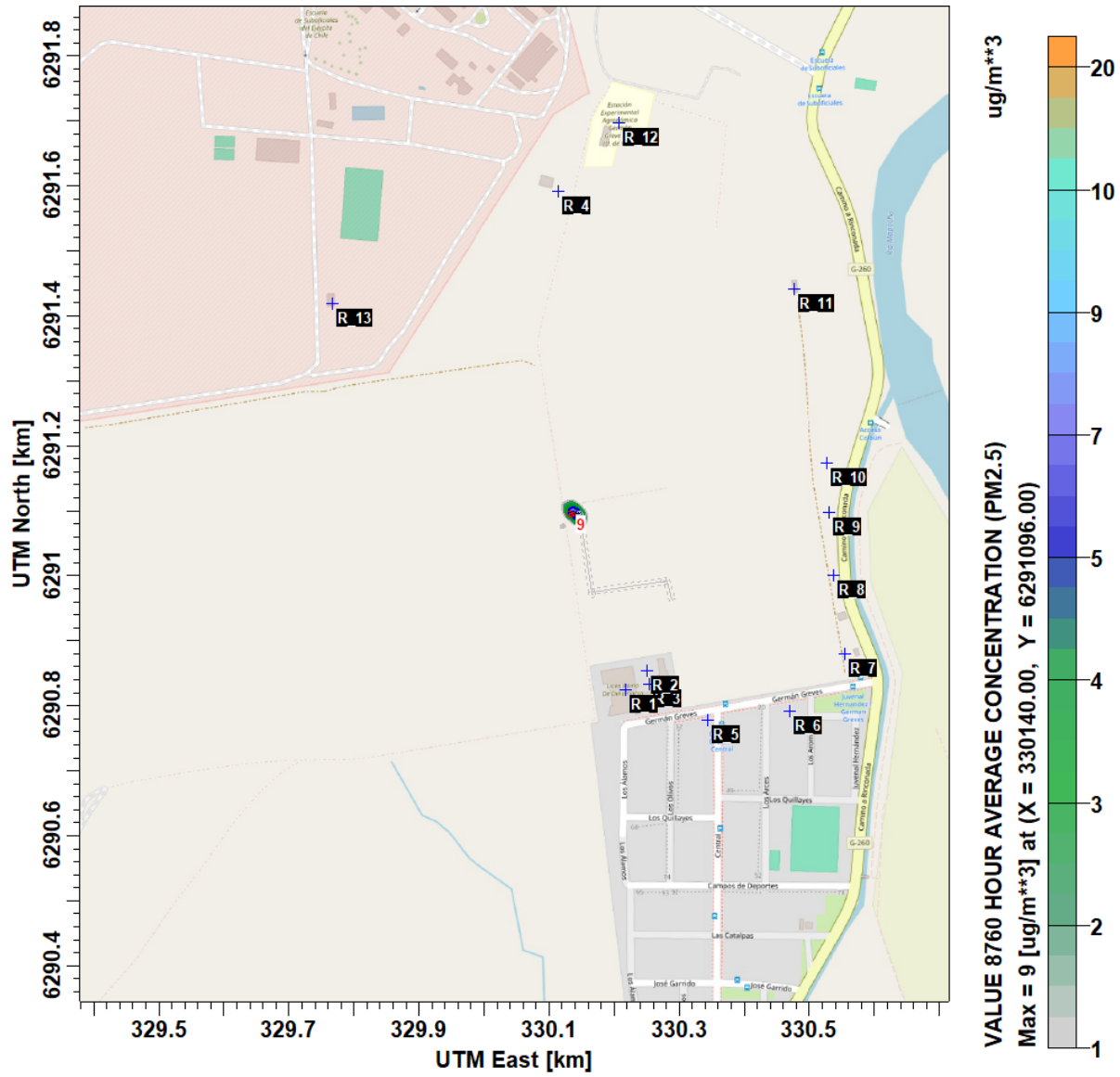


Figura 29 SO2: Percentil 99 de 1 hora

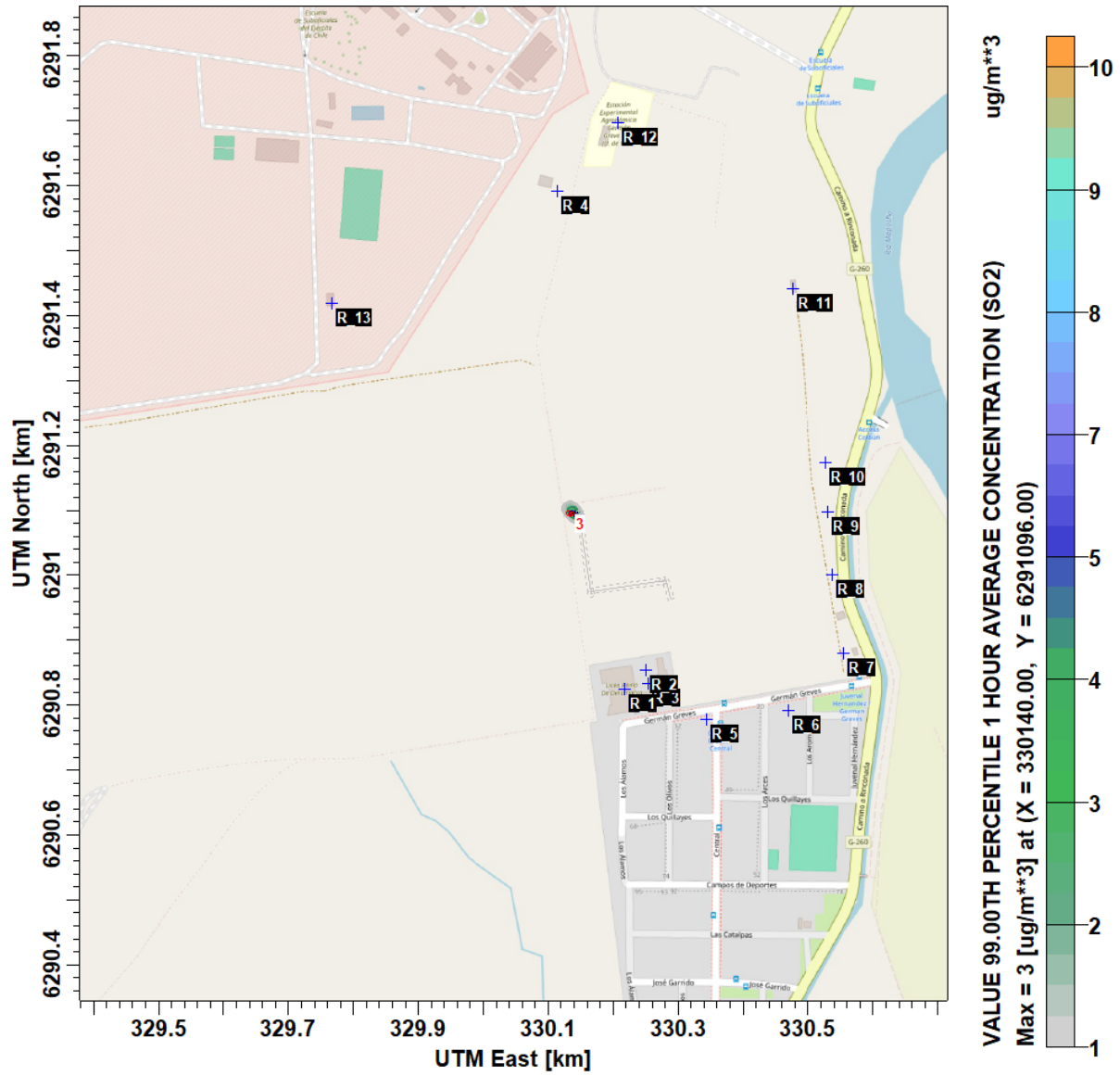




Figura 30 SO2: Percentil 99 de 24 horas

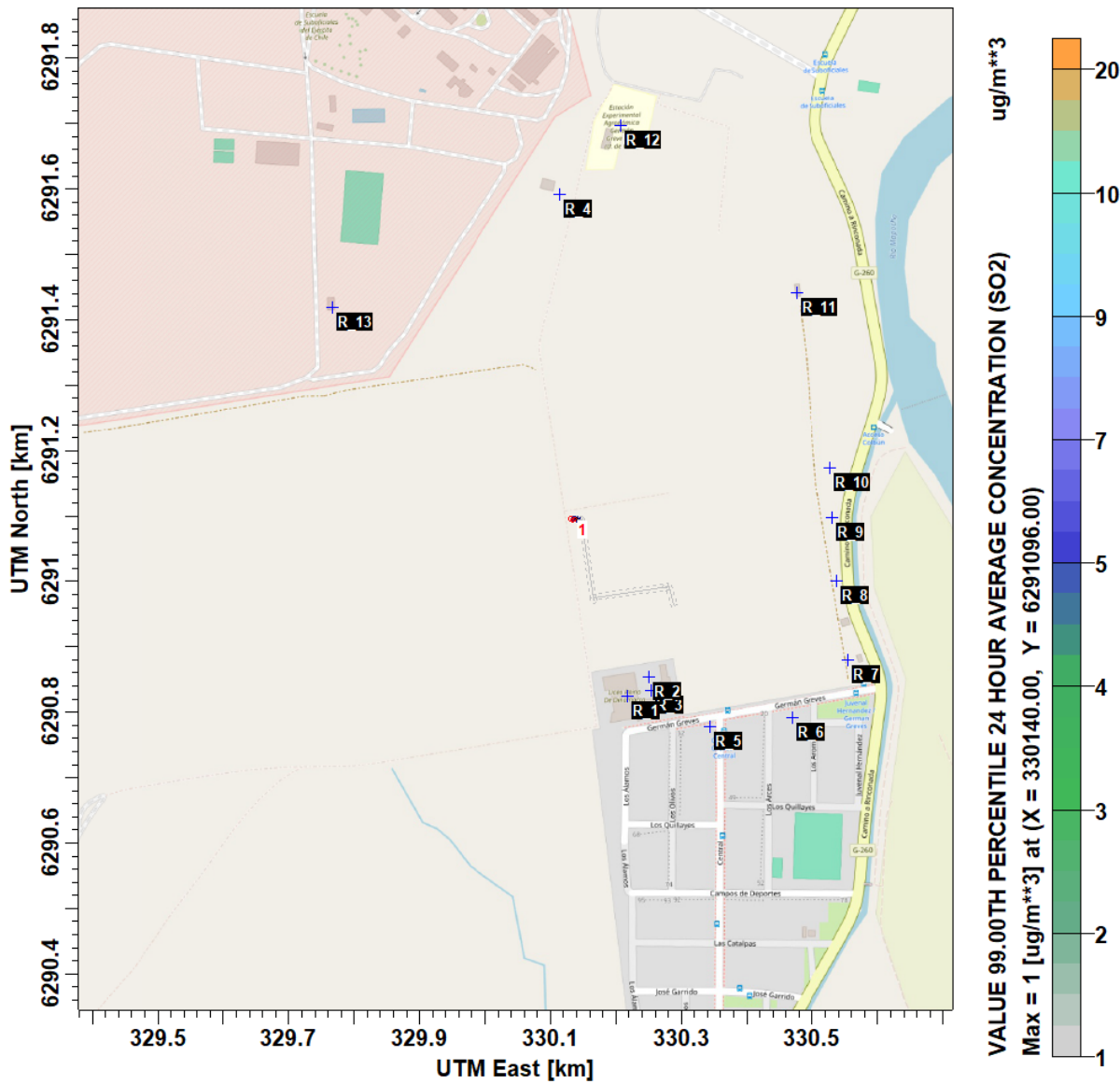


Figura 31 SO2: Media anual

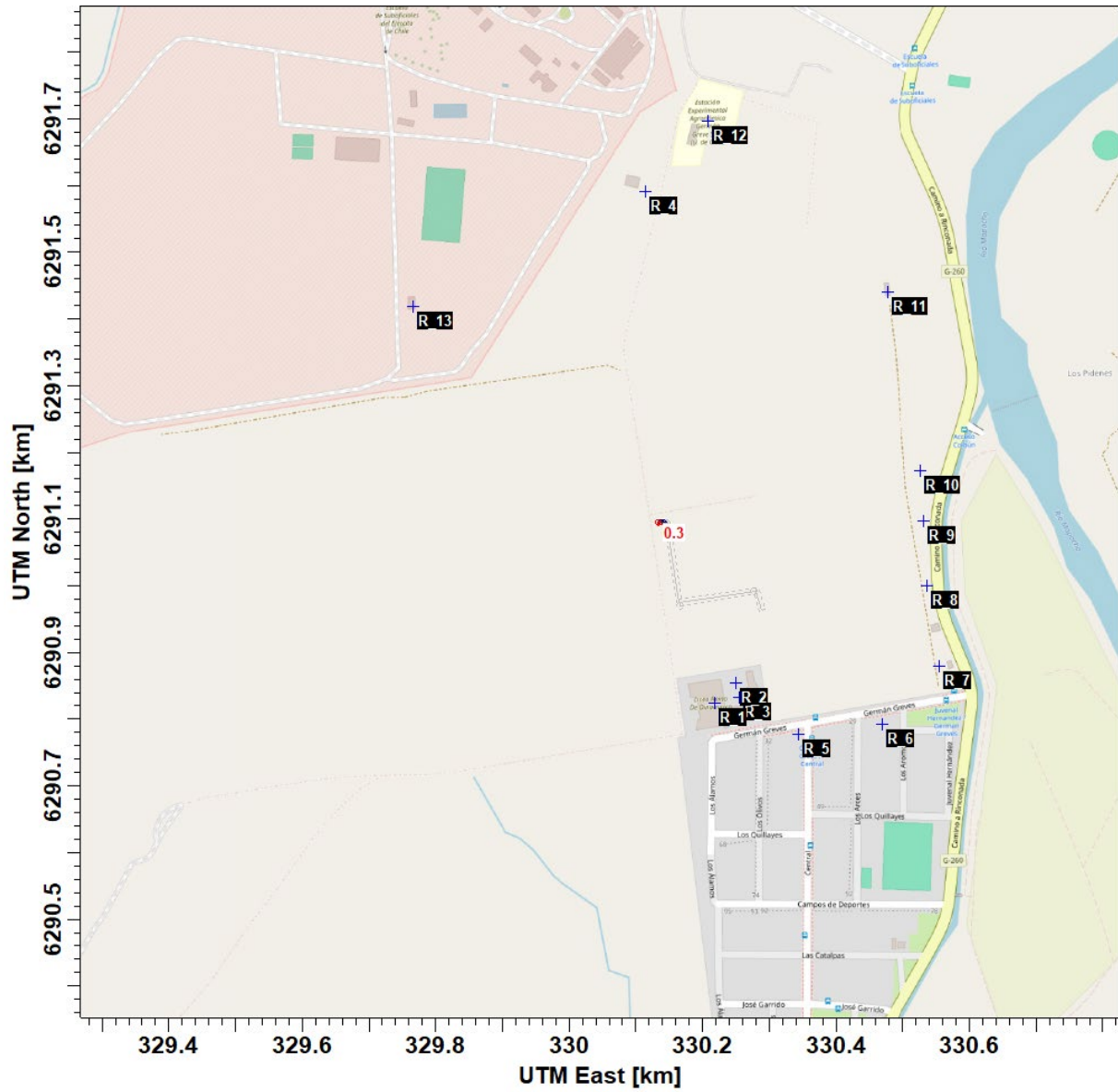


Figura 32 NO2: Percentil 99 de 1 hora

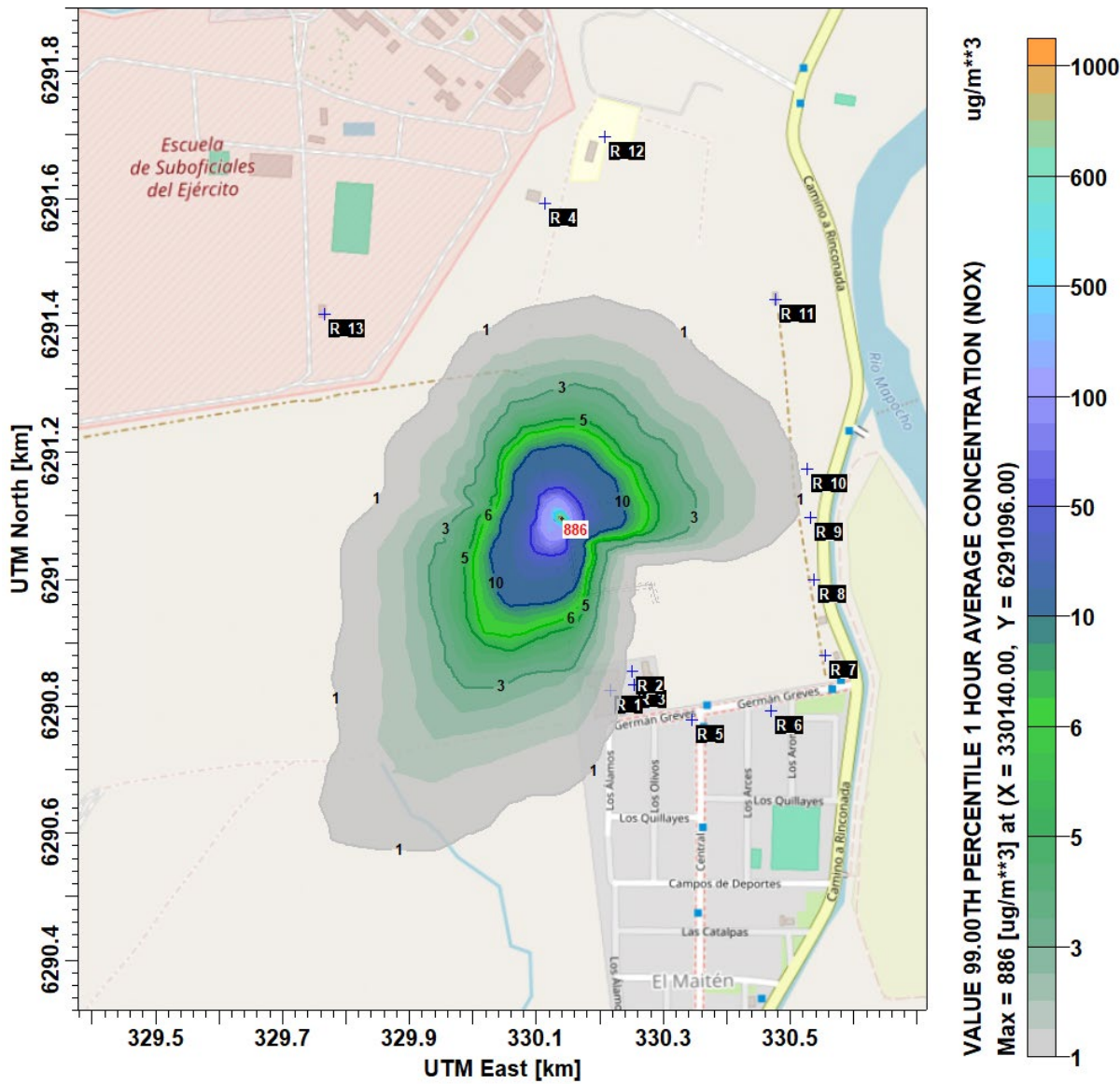


Figura 33 NO₂: Medial anual

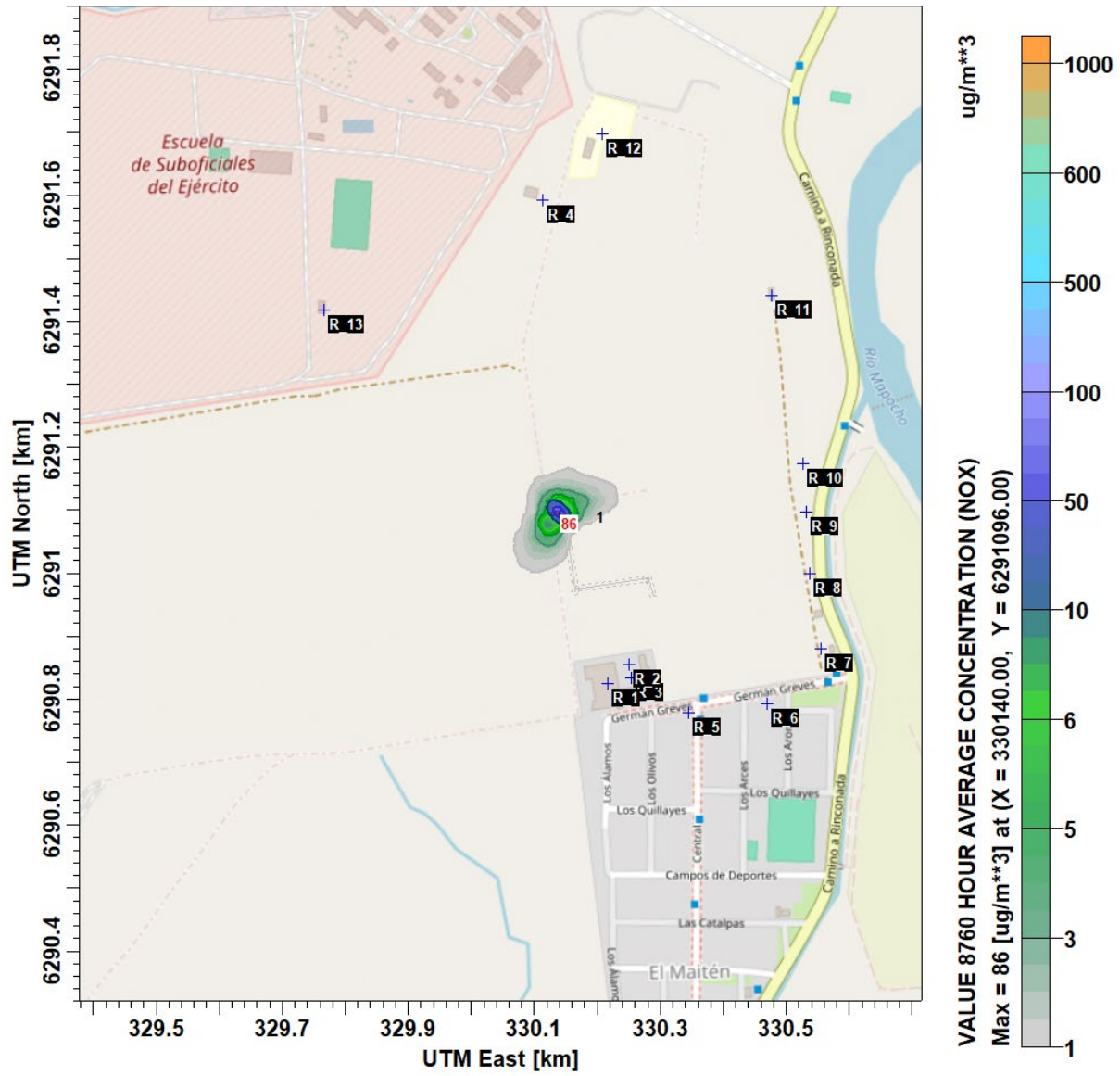




Figura 34 CO: Percentil 99 de 1 hora

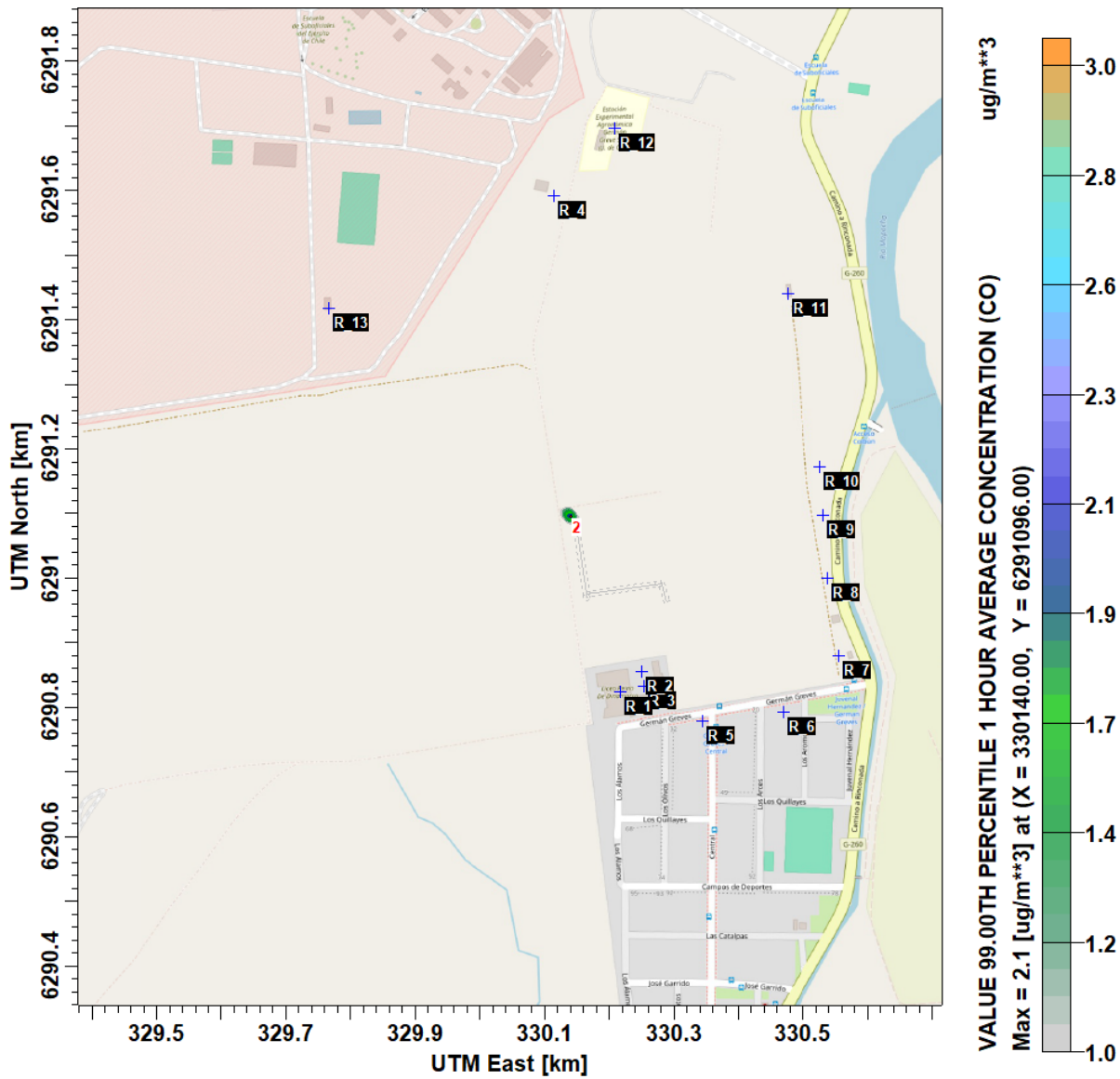
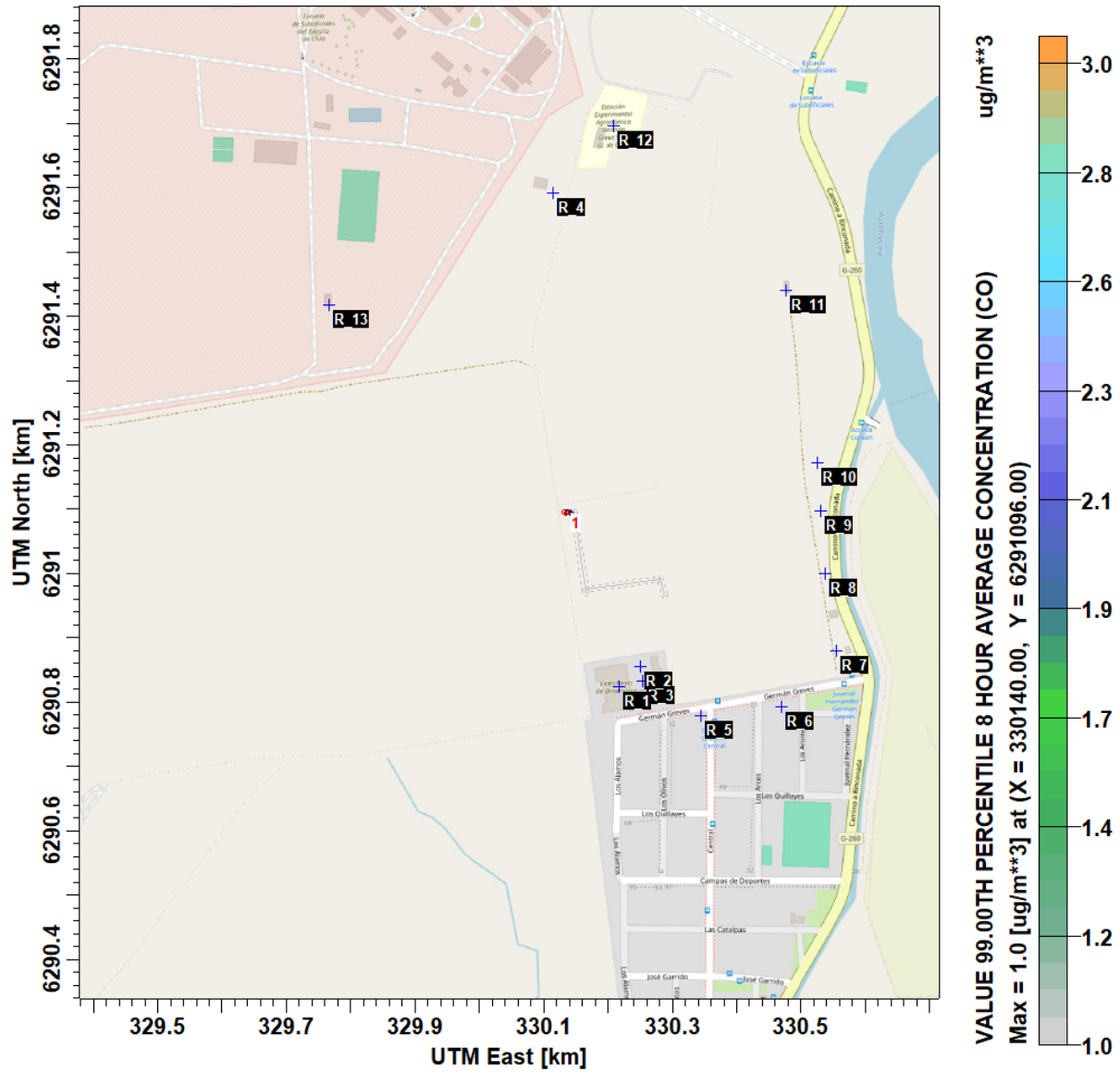


Figura 35 CO: Percentil 99 de 8 horas



10. Tablas de aportes

A continuación, en la Tabla 35 y Tabla 36, se presentan los aportes de cada uno de los contaminantes sobre los puntos receptores definidos, representativos para la identificación de una potencial afectación a la población.

Partículas

Tabla 35 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas

Receptor	UTME	UTMN	MP10 P98 24Hr	MP10 Año	MP2,5 P98 24Hr	MP2,5 Año
R_1	330.217	6.290.824	0,179	0,016	0,083	0,007
R_2	330.250	6.290.854	0,130	0,010	0,062	0,005
R_3	330.254	6.290.833	0,100	0,009	0,044	0,004
R_4	330.113	6.291.592	0,020	0,003	0,009	0,002
R_5	330.344	6.290.778	0,075	0,006	0,035	0,003
R_6	330.469	6.290.792	0,042	0,004	0,020	0,002
R_7	330.555	6.290.880	0,046	0,003	0,022	0,002
R_8	330.537	6.291.000	0,130	0,009	0,065	0,004
R_9	330.531	6.291.097	0,044	0,011	0,021	0,005
R_10	330.526	6.291.173	0,064	0,020	0,030	0,009
R_11	330.477	6.291.441	0,031	0,008	0,015	0,004
R_12	330.208	6.291.697	0,019	0,003	0,009	0,001
R_13	329.766	6.291.418	0,027	0,003	0,012	0,001

Gases

Tabla 36 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), gases

Receptor	UTME	UTMN	SO ₂ P99 1Hr	SO ₂ P99 24Hr	SO ₂ Año	NO ₂ P99 1Hr	NO ₂ Año	CO P99 1Hr	CO P99 8Hr
R_1	330.217	6.290.824	0,004	0,004	0,000	1,229	0,059	0,003	0,004
R_2	330.250	6.290.854	0,003	0,002	0,000	0,767	0,040	0,002	0,002
R_3	330.254	6.290.833	0,003	0,002	0,000	0,741	0,035	0,002	0,002
R_4	330.113	6.291.592	0,001	0,000	0,000	0,417	0,013	0,001	0,000
R_5	330.344	6.290.778	0,001	0,002	0,000	0,301	0,022	0,001	0,001
R_6	330.469	6.290.792	0,001	0,001	0,000	0,162	0,014	0,000	0,001
R_7	330.555	6.290.880	0,000	0,001	0,000	0,107	0,013	0,000	0,001
R_8	330.537	6.291.000	0,001	0,003	0,000	0,373	0,035	0,001	0,003
R_9	330.531	6.291.097	0,003	0,001	0,000	0,897	0,044	0,002	0,001
R_10	330.526	6.291.173	0,003	0,001	0,000	0,935	0,080	0,002	0,001
R_11	330.477	6.291.441	0,002	0,001	0,000	0,498	0,030	0,001	0,001
R_12	330.208	6.291.697	0,001	0,000	0,000	0,290	0,010	0,001	0,000
R_13	329.766	6.291.418	0,001	0,001	0,000	0,263	0,010	0,001	0,001

Tal como se puede ver, los valores anteriormente presentados se encuentran muy por debajo de los estándares normativos presentados en la Tabla 34. Sin embargo, dichos valores son Normas de Calidad del Aire y los valores anteriormente presentados sólo dan cuenta que no hay superaciones de las Normas a causa de las emisiones de las actividades consideradas.

De este modo, se hace necesario identificar si existe afectación a la salud de la población, considerando que la Región Metropolitana ya se encuentra considerada como Zona Saturada, es decir que, por las actividades antrópicas propias de zona, ésta ya se encuentra en su estado basal con sus estándares normativos superados para uno o más contaminantes.

Es así como, si bien las actividades consideradas y el presente documento, no se encuentran orientados al marco de un proceso de Evaluación Ambiental, existe en el marco de dicho proceso una serie de indicadores para identificar si existe afectación a la población por aportes a la Calidad del Aire en Zonas Saturadas. Estos indicadores se conocen como SIL (Significant Impact Levels), recomendados en un estudio llevado a cabo por DICTUC y conducido por el Servicio de Evaluación Ambiental, dependiente del Ministerio del Medio Ambiente, llamado “Evaluación Significancia del Impacto de las Emisiones de un Proyecto o Actividad en Zonas Saturadas en el Marco del SEIA”¹³, donde se realizó un levantamiento de información que considera indicadores, metodologías y referencias internacionales para identificar criterios que sean aplicables en el marco del SEIA, al momento de evaluar la significancia del impacto de emisiones atmosféricas (magnitud, duración y extensión) de contaminantes normados, generados por proyectos o actividades emplazados en zonas saturadas o en estado de saturación, sobre el riesgo para la salud de la población.

De dicho documento, los criterios propuestos han sido validados por la Autoridad mediante Resolución Exenta del 08/09/2023, donde fue publicado además el documento llamado “CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5”¹⁴, estos criterios se resumen en la Figura 36.

13 <https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2022/03/21/18fa27dd74-6bc2-4b96-9960-1ee4f178c967.pdf>

14 https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/09/08/DT_Zonas-Saturadas_MP_2023.pdf

Figura 36 Valores de significancia para el aumento de concentraciones de MP10 y M2,5 sobre receptores.

CONTAMINANTE	PERÍODO	INCREMENTO CONCENTRACIÓN (µg/m ³)
MP 10	24 horas	5,00
	Anual	1,00
MP 2,5	24 horas	1,71
	Anual	0,33

Fuente: CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5. Página 16, Tabla 1.

En el estudio técnico elaborado por DICTUC, también se abordan las concentraciones asociadas a los gases, los que se presentan en la Figura 37.

Figura 37 Criterios recomendados de incremento significativo en la concentración de contaminantes atmosféricos en zonas saturadas.

Contaminante	Periodo	SIL porcentual USEPA [%]	Incremento significativo en la concentración [µg/m ³]
MP _{2,5}	24 horas	3,4%	1,7
	Anual	1,7%	0,3
MP ₁₀	24 horas	3,3%	5,0
	Anual	2,0%	1,0
O ₃	8 horas	1,4%	1,7
NO ₂	1 hora	4,0%	16,0
	Anual	1,0%	1,0
CO	1 hora	5,0%	1500,0
	8 horas	4,9%	488,9
SO ₂	1 hora	4,0%	14,0
	24 horas	1,4%	2,0
	Anual	2,0%	1,2
Pb	Anual	Sin recomendación	Sin recomendación

Fuente: "Evaluación Significancia del Impacto de las Emisiones de un Proyecto o Actividad en Zonas Saturadas en el Marco del SEIA". Página 147, Tabla 7-5.

Para llevar a cabo una identificación de una potencial afectación, se ha tomado el valor máximo presentado por todos los receptores para cada uno de los contaminantes normados, a fin de evaluar el peor escenario. Los resultados se presentan en la Tabla 37.

Tabla 37 Verificación de Niveles de Impacto Significativo

Contaminante	Métrica	Aporte máximo modelado en receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nivel de Impacto Significativo (SIL) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Superación
MP2,5	24 horas	0,083	1,7	No
	Anual	0,009	0,3	No
MP10	24 horas	0,179	5	No
	Anual	0,020	1	No
NO2	1 hora	1,229	16	No
	Anual	0,080	1	No
CO	1 hora	0,003	1.500	No
	8 horas	0,004	488	No
	1 hora	0,004	14	No
SO2	14 horas	0,004	2	No
	Anual	0,000	1,2	No

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 37, no existe superación de ningún Nivel de Impacto Significativo para ninguno de los Receptores representativos, los que han sido definidos tomando en cuenta la presencia de casas, viviendas y servicios cercanos las actividades, donde se concentra la población susceptible de ser afectada por potenciales emisiones (su salud y sistema de vida).

Si bien, el escenario actual no da cuenta de una potencial afectación a la salud de la población, se ha solicitado evaluar la aplicación de una medida de abatimiento adicional, que consiste en un sistema de riego en el frente de carguío, equipado de un estanque de 1.000 litros de agua con un aspersor de 25 metros de diámetro, que incluye una bomba de agua de 48 bares (3.600 PSI), cabe precisar que esta medida sólo afecta a la emisión de partículas, cuyos aportes se presentan en la Tabla 38 y la comparación respecto a un escenario sin esta medida, y el escenario con esta medida, se presenta en la Tabla 39.

Partículas, con medida de abatimiento adicional

Tabla 38 Aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas con medida de abatimiento adicional.

Receptor	UTME	UTMN	MP10 P98 24Hr	MP10 Año	MP2,5 P98 24Hr	MP2,5 Año
R_1	330.217	6.290.824	0,094	0,008	0,070	0,006
R_2	330.250	6.290.854	0,070	0,005	0,053	0,004
R_3	330.254	6.290.833	0,050	0,005	0,037	0,004
R_4	330.113	6.291.592	0,011	0,002	0,008	0,001
R_5	330.344	6.290.778	0,039	0,003	0,029	0,002
R_6	330.469	6.290.792	0,022	0,002	0,017	0,001
R_7	330.555	6.290.880	0,025	0,002	0,019	0,001
R_8	330.537	6.291.000	0,072	0,005	0,056	0,004
R_9	330.531	6.291.097	0,023	0,006	0,018	0,004
R_10	330.526	6.291.173	0,034	0,011	0,025	0,008
R_11	330.477	6.291.441	0,017	0,004	0,013	0,003
R_12	330.208	6.291.697	0,010	0,001	0,008	0,001
R_13	329.766	6.291.418	0,014	0,002	0,011	0,001

Partículas, diferencia respecto a escenario sin medida adicional

Tabla 39 Diferencia de aportes por receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), partículas.

Receptor	UTME	UTMN	MP10 P98 24Hr	MP10 Año	MP2,5 P98 24Hr	MP2,5 Año
R_1	330.217	6.290.824	-0,085	-0,008	-0,013	-0,001
R_2	330.250	6.290.854	-0,061	-0,005	-0,009	-0,001
R_3	330.254	6.290.833	-0,050	-0,004	-0,007	-0,001
R_4	330.113	6.291.592	-0,009	-0,002	-0,001	0,000
R_5	330.344	6.290.778	-0,036	-0,003	-0,006	0,000
R_6	330.469	6.290.792	-0,020	-0,002	-0,003	0,000
R_7	330.555	6.290.880	-0,021	-0,002	-0,003	0,000
R_8	330.537	6.291.000	-0,058	-0,004	-0,009	-0,001
R_9	330.531	6.291.097	-0,021	-0,005	-0,003	-0,001
R_10	330.526	6.291.173	-0,030	-0,009	-0,004	-0,001
R_11	330.477	6.291.441	-0,014	-0,004	-0,002	-0,001
R_12	330.208	6.291.697	-0,009	-0,001	-0,001	0,000
R_13	329.766	6.291.418	-0,012	-0,001	-0,002	0,000

Tal como se puede ver en las tablas anteriores, los aportes ya son muy bajos en un escenario sin medidas adicionales, esto hace que bajo un escenario con medidas de abatimiento adicionales, las diferencias sean marginales y sin un efecto considerable.

Se identificó que el sistema de riego posee una escasa efectividad al abatir las emisiones de material particulado en el frente de carguío, además es importante mencionar que dicho equipo consta de un motor diésel, y de acuerdo con la cuantificación de emisiones y aportes de las actividades actuales, el mayor aporte se da en términos de NO₂ producto de la combustión. Agregando este tipo de equipos de abatimiento, se incrementa este contaminante, que en términos de reducir la exposición de la población de sustancias potencialmente perjudiciales, su implementación, presentaría resultados contraproducentes.

11. Resumen y conclusiones

La actividad, corresponde a una extracción de mineral no metálico llamado Pumicita, ubicada al Interior de la Estación experimental Agronómica Germán Greve Silva de la Universidad de Chile, en el sector de Rinconada Lo Vial, comuna de Maipú.

Las actividades se desarrollan en la Región Metropolitana de Santiago, donde se distingue el clima templado de tipo mediterráneo, con estación seca prolongada y frío de alturas. En cuanto a la meteorología, para el análisis de variables meteorológicas se utilizó la información de la estación Rinconada - U de Chile, ubicada aproximadamente a 2 kilómetros al noreste de las actividades, la que presentó un comportamiento esperable para una estación ubicada en la depresión intermedia de latitudes medias: Una marcada estación cálida con temperaturas máximas, ligero descenso de la humedad e incremento en las velocidades del viento, y una estación fría con temperaturas mínimas por debajo de los cero grados, con un ligero incremento en la humedad relativa y un descenso en las velocidades del viento, período del año apto para la reducción de las condiciones de ventilación, y con ello, el incremento de las concentraciones de contaminantes en el aire.

En cuanto a la dirección del viento, se observa un eje de transporte suroeste-noreste, donde la componente de vientos provenientes del suroeste presenta los vientos de menor velocidad y se desarrolla principalmente durante el período diurno de las estaciones frías del año. Por otro lado, la componente del noreste se manifiesta con vientos de mayor velocidad, durante el período nocturno de las estaciones cálidas del año. Por lo que fue esperable que la pluma de dispersión se prolongara un eje de transporte suroeste-noreste.

Para llevar a cabo la identificación se aportes a la Calidad del Aire, se utilizó como documento guía la “Guía para el uso de modelos de Calidad del Aire en el SEIA” (2023), con la finalidad de mantenerse apegado a los estándares y recomendaciones emanadas por la Autoridad ambiental. Para la modelación de variables meteorológicas, se utilizó el modelo meteorológico WRF, ampliamente difundido y utilizado tanto para pronóstico operacional, como para investigación e insumo para modelos de calidad del aire utilizado en evaluaciones de impacto ambiental. De acuerdo con el análisis de incertidumbre, el modelo logró representar de manera adecuada el comportamiento de las variables que inciden en el transporte y dispersión de contaminantes, encontrándose sus métricas de evaluación dentro de los rangos de error aceptables por la Autoridad.

Respecto a las emisiones generadas por las actividades de Extracción de Mineral por Minera Imperial SpA., las cuales fueron calculadas según las directrices de la Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana del año 2020, por la actividad de carguío de material y combustión de maquinaria fuera de ruta se concluye que:

- Al año, se generan como emisión de material particulado respirable (MP10) equivalente un valor de 0,08 tonelada/año.
- Con respecto al material particulado respirable fino (MP2,5) se emiten 0,07 tonelada/año.
- La cantidad de Material Particulado MP que se genera por las actividades, alcanza un valor de 0,40 tonelada/año.

Tabla 40. Resumen de emisiones

Contaminante	Emisiones (t/año)
MP	0,4
MP10	0,08
MP2,5	0,07
NOx	0,8
SOx	0,02

Para la modelación de dispersión, se utilizó el modelo CALPUFF, modelo utilizado en la identificación de aportes a la calidad del aire en estudios de impacto ambiental. Para ello, se realizó una modelación para un área de 30x30 kilómetros con un nivel de detalles de 100x100 metros, con las actividades emisoras al centro de dicha área. Con la finalidad de identificar aportes específicos sobre sitios de interés, se configuraron 13 receptores discretos en zonas habitadas y de servicios, donde se desarrollan las actividades humadas, susceptibles de ser potencialmente afectadas por las emisiones de las actividades.

Finalmente, los resultados de los aportes a la calidad del aire resultantes de las actividades generadoras de emisiones dan cuenta de aportes muy por debajo de los Niveles de Impacto Significativo establecidos por la Autoridad, los que se resumen en la Tabla 41, donde se presenta el aporte modelado máximo para los 13 receptores, comparándolos con dichos niveles.

Tabla 41 Verificación de Niveles de Impacto Significativo

Contaminante	Métrica	Aporte máximo modelado en receptores ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nivel de Impacto Significativo (SIL) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Superación
MP2,5	24 horas	0,083	1,7	No
	Anual	0,009	0,3	No
MP10	24 horas	0,179	5	No
	Anual	0,020	1	No
NO2	1 hora	1,229	16	No
	Anual	0,080	1	No
CO	1 hora	0,003	1.500	No
	8 horas	0,004	488	No
	1 hora	0,004	14	No
SO2	14 horas	0,004	2	No
	Anual	0,000	1,2	No

Se evaluó además una medida adicional para abatir la emisión de material particulado producto de las actividades pero, se identificó que el sistema de riego posee una escasa efectividad al abatir las emisiones de material particulado en el frente de carguío, además es importante mencionar que dicho equipo consta de un motor diésel, y de acuerdo con la cuantificación de emisiones y aportes de las actividades actuales, el mayor aporte se da en términos de NO2 producto de la combustión. Agregando este tipo de equipos a diésel como medida de abatimiento, se incrementa este contaminante, que en términos de reducir la exposición de la población de sustancias potencialmente perjudiciales, su implementación, presentaría resultados contraproducentes.