



INFORME FINAL

“DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LAS COMUNAS DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS”

LICITACIÓN PÚBLICA ID: 610181-4-LE19

Informe presentado para:
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DE LOS LAGOS
GOBIERNO DE CHILE
Temuco, diciembre de 2019

Estudio Delimitación de Zona Saturada y Caracterización del Consumo Residencial de Leña para el Área Metropolitana de las Comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.

Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos.

© **SICAM Ingeniería**

Estudios Técnicos en Medio Ambiente

Casa matriz: Prieto Sur 965, Temuco. Chile.

Teléfono (045) 2 668119

Página web: www.sicam.cl

Noviembre, 2019.

Elaboración de Informe:

Jasmine Bastidas M.

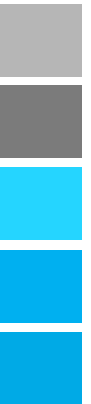
Ingeniero Ambiental
Elaboración de Informe

Cristian Varela B.

Ingeniero Ambiental
MSc. de la Ingeniería
Elaboración de Informe

Sergio Dávila R.

Ingeniero Ambiental
Revisión y aprobación de informe



RESUMEN

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio que expone los resultados obtenidos para la delimitación de zona saturada para el área metropolitana de Puerto Montt y Puerto Varas, considerando una caracterización pormenorizada del consumo residencial de leña de ambas comunas.

El estudio consideró en primera instancia el procesamiento y análisis de la información de calidad del aire y meteorológica disponible en el área de estudio, el análisis de modelación meteorológica, de trayectorias y dispersión. Se consideró, además, el análisis del inventario de emisiones y una actualización del consumo de leña residencial con base a la aplicación de una encuesta en terreno en el área urbana de Puerto Montt y Puerto Varas, obteniendo resultados a nivel de distrito censal.

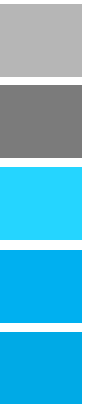
Los resultados de la caracterización del consumo de leña y parque de artefactos para la zona en estudio, dan cuenta de un consumo estimado de 3,2 millones de varas al año (equivalente a 700 mil m³/año) para Puerto Montt y 500 mil varas (equivalente a 110 mil m³) para Puerto Varas, con un consumo promedio por vivienda de 50 varas/año (11 m³/año) para Puerto Montt y 68 varas/año (15 m³/año) para Puerto Varas, lo que se traduce en aproximadamente 6.400 ton/año de MP2,5, según el inventario de emisiones nacional, con una participación de la Fuente de Combustión Residencial de Leña de un 94% respecto del total de emisiones de la zona.

El monitoreo de calidad del aire permite evaluar el estado de la zona según lo señalado en el D.S. N° 12/11 del MMA que establece la Norma Primaria de Calidad del Aire para Material Particulado Fino Respirable MP2,5 mediante el análisis de la información de las estaciones con representatividad poblacional Mirasol y Alerce ubicadas en Puerto Montt. El monitoreo permite evaluar el cumplimiento de norma diaria, pero no se cuenta con el periodo necesario para evaluar norma anual. De esta manera, según los resultados obtenidos del monitoreo de calidad del aire, el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante los años 2017, 2018 y 2019 superan el límite de 50 µg/m³ en ambas estaciones, con valores de 165, 107 y 156 µg/m³ respectivamente para los 3 años de estudio.

El análisis de la modelación meteorológica permite establecer patrones comunes para toda la zona metropolitana de Puerto Montt y Puerto Varas además de las comunas aledañas, pero presenta condiciones diferentes respecto a la zona cordillerana y la rivera norte del Lago Llanquihue.

La modelación de trayectorias de masas de aire permitió integrar el análisis definiendo interacciones entre los centros poblados que permite establecer la importancia de ampliar el polígono de saturación, más allá de Puerto Montt y Puerto Varas, considerando también los centros poblados de las comunas de Llanquihue y Frutillar.

De acuerdo con estos antecedentes evaluados, la zona saturada integra el sistema urbano intercomunal que considera, las zonas urbanas de Frutillar, Llanquihue y las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas con límite al oeste en el sistema urbano intercomunal. De este modo se circunscriben las principales fuentes emisoras de la zona, correspondiente a fuentes de combustión residencial de leña y fuentes puntuales asociadas a calderas y procesos industriales.



ABREVIATURAS

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

PBL: Planetary Boundary Layer

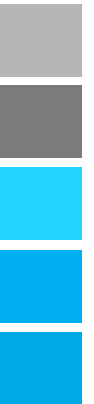
P98: Percentil 98

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

SMA: Superintendencia de Medio Ambiente

SINCA: Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire

DMC: Dirección Meteorológica de Chile



ÍNDICE

1	ALCANCES DEL INFORME.....	11
2	OBJETIVOS Y ACTIVIDADES SEGÚN BASES DE LA LICITACIÓN	12
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3	ANTECEDENES PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y/O LATENTE	13
3.1	DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
3.2	ESTACIONES DE MONITOREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	16
3.3	ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
3.3.1	Resumen de la información de monitoreo de calidad del aire	21
3.3.2	Análisis del cumplimiento de norma	22
3.3.3	Episodios de contaminación	24
3.3.4	Series de tiempo anuales.....	25
3.3.5	Ciclos diarios.....	27
3.3.6	Variación estacional y horaria.....	29
3.4	ANÁLISIS METEOROLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
3.4.1	Series de tiempo periodo 2017-2019.....	30
3.4.2	Promedios mensuales periodo 2017 – 2019.....	32
3.4.3	Ciclos diarios.....	35
3.4.4	Ciclos estacionales.....	37
3.4.5	Ciclos estacionales de datos en altura	39
3.4.6	Rosa de los vientos	41
3.5	CORRELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CALIDAD DEL AIRE	45
3.6	ANÁLISIS DE MODELACIÓN	47
3.6.1	Análisis de Modelación Meteorológica.....	47
3.6.1.1	Descripción perfil horario de episodios de contaminación seleccionados	48
3.6.1.2	Análisis de Perfiles de Temperatura	49
3.6.1.3	Análisis de Perfiles de Viento	53
3.6.1.4	Análisis de Velocidad de Ventilación	57
3.6.2	Análisis de Modelación de Trayectorias	60
3.6.3	Análisis de Modelación de Dispersión	65

3.7	ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	69
3.7.1	Fuentes de Combustión Residencial de Leña.....	71
3.7.2	Fuentes Puntuales.....	73
3.7.3	Fuentes de Área, Móviles y Fugitivas.....	74
3.8	CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA Y PARQUE DE ARTEFACTOS.....	74
3.8.1	DISEÑO Y APLICACIÓN DE ENCUESTA.....	75
3.8.2	PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ENCUESTA.....	79
3.8.3	CARACTERIZACIÓN DE LA LEÑA SEGÚN HUMEDAD.....	84
4	PROPUESTA PARA DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA.....	88
5	ANEXOS DIGITALES.....	95
5.1	ANEXO 1. RESOLUCIONES PARA EMRP PARA ESTACIONES DE MONITOREO.....	95
5.2	ANEXO 2. ENCUESTA DE CONSUMO DE LEÑA Y CARACTERIZACIÓN DE ARTEFACTOS.....	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio Sistema Urbano Puerto Montt – Puerto Varas	15
Figura 2. Modelo digital de terreno con alturas, comunas de Puerto Montt y Puerto Varas	16
Figura 3. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire	18
Figura 4. P98 de las concentraciones de 24 horas según estación años 2017-2019	23
Figura 5. Concentración promedio anual según estación años 2017-2019	24
Figura 6. Ocurrencia de episodios de contaminación según estación años 2017-2019.....	25
Figura 7. Serie de tiempo de anual de concentración promedio 24 h de MP2,5 según estación	25
Figura 8. Serie de tiempo estacional de concentración promedio 24 h de MP2,5 según estación	26
Figura 9. Ciclo diario según estación año 2018-2019.....	27
Figura 10. Perfil horario estacional estación Mirasol – año 2019.....	28
Figura 11. Variación estacional y horaria de las concentraciones de MP2,5 según estación año 2019	29
Figura 12. Series de tiempo horaria de variables meteorológicas años 2017-2019.....	31
Figura 13. Serie de tiempo de precipitación acumulada 24 horas años 2017-2019	32
Figura 14. Temperatura media mínima y máxima mensual - años 2017-2019	33
Figura 15. Precipitación acumulada mensual (mm) - años 2017-2019.....	33
Figura 16. Velocidad del viento promedio mensual (m/s) - años 2017-2019.....	34
Figura 17. Humedad relativa promedio mensual (%) - años 2017-2019.....	34
Figura 18. Ciclos diarios de variables meteorológicas (A: Temperatura; B: Velocidad Viento, C: Humedad Relativa; D: Dirección Viento) - años 2017-2019.....	36
Figura 19. Variación estacional del ciclo diario de variables meteorológicas (A: Temperatura;	38
Figura 20. Variación estacional del perfil vertical de temperatura	39
Figura 21. Variación estacional del perfil vertical de presión atmosférica	40
Figura 22. Variación estacional del perfil vertical de velocidad del viento.....	41
Figura 23. Rosas de los vientos estacionales (A: Verano – B: Otoño).....	42
Figura 24. Rosas de los vientos estacionales (C: Invierno – D: Primavera)	43
Figura 25. Rosas de los vientos ciclos diarios (E: 08:00-19:00 – F: 20:00-07:00).....	44
Figura 26. Correlación de variables meteorológicas y de calidad del aire	46
Figura 27. Perfil horario según episodio	48
Figura 28. Perfiles de temperatura Episodio 1	50
Figura 29. Perfiles de temperatura Episodio 2.....	51
Figura 30. Perfiles de temperatura Episodio 3.....	52
Figura 31. Perfiles de viento Episodio 1	54
Figura 32. Perfiles de viento Episodio 2	55
Figura 33. Perfiles de Viento Episodio 3.....	56
Figura 34. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 1.....	58
Figura 35. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 2.....	59
Figura 36. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 3.....	60
Figura 37. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 1	62
Figura 38. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 2	63
Figura 39. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 3	64
Figura 40. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 1.....	66
Figura 41. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 2.....	67
Figura 42. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 3.....	68
Figura 43. Distribución porcentual de emisiones atmosféricas según comuna	70



Figura 44. Jornada de capacitación de encuestadores, en sala reuniones SEREMI de Medio Ambiente de Los Lagos. 25/09/2019.....	77
Figura 45. Aplicación de encuestas de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión. Comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, 2019.....	79
Figura 46. Distribución del Parque de Artefactos según comuna	82
Figura 47. Distribución del uso del tiraje según distrito comuna de P. Montt	84
Figura 48. Distribución del uso del tiraje según distrito comuna de P. Varas.....	84
Figura 49. Medición de humedad de leña en viviendas de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.....	85
Figura 50. Calidad de la leña según campaña de medición en terreno	87
Figura 51. Delimitación del área saturada del área metropolitana Puerto Montt – Lago Llanquihue	90
Figura 52. Unidades geomorfológicas en el área del estudio y zona saturada.....	91
Figura 53. Fuentes Puntuales de Emisión en el área de estudio y zona saturada	92
Figura 54. Fuentes de combustión residencial de leña en el área de estudio y zona saturada.....	93
Figura 55. Zona Saturada y zonas pobladas.....	94



ÍNDICE DE TABLAS

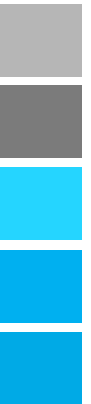
Tabla 1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorológicas	17
Tabla 2. Resumen del cumplimiento normativo de material particulado.....	20
Tabla 3. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2,5 – Estación Mirasol Puerto Montt.....	21
Tabla 4. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2,5 – Estación Alerce Puerto Montt	21
Tabla 5. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2.5 – Estación Puerto Varas.....	22
Tabla 6. Episodios de contaminación según estación años 2017 - 2019.....	24
Tabla 7. Descripción de episodios de contaminación para modelación	47
Tabla 8. Inventario de emisiones Puerto Montt año base 2017 (Ton/año).....	69
Tabla 9. Inventario de emisiones Puerto Varas año base 2017 (Ton/año).	70
Tabla 10. Relevancia de la fuente combustión residencial de leña (CRL) en las emisiones de MP2.5 en zonas saturadas del centro y sur de Chile.	71
Tabla 11. Consumo promedio de leña (m3/año), según comuna, año 2017.	72
Tabla 12. Distribución porcentual del stock de artefactos a leña en la zona de estudio, año 2017. ...	72
Tabla 13. Estimación de emisiones de MP10, MP2,5 y gases de combustión (Ton/año) para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, 2017.....	73
Tabla 14. Emisiones de Fuentes Puntuales – Comuna de Puerto Montt.....	73
Tabla 15. Emisiones de Fuentes Puntuales – Comuna de Puerto Varas.....	73
Tabla 16. Distribución de encuestas según distrito censal comuna de Puerto Montt.	76
Tabla 17. Distribución de encuestas según distrito censal comuna de Puerto Varas.....	77
Tabla 18. Aplicación de encuestas según distrito.....	79
Tabla 19. Principal tipo de combustible utilizado por comuna (1° opción) para calefacción y cocina.	80
Tabla 20. Penetración y consumo promedio de leña en viviendas de Puerto Montt y Puerto Varas, según distrito censal.	80
Tabla 21. Distribución del Parque de Artefactos a leña o pellet según comuna (%).	81
Tabla 22. Distribución del parque de artefactos a leña y pellet en Puerto Montt y Puerto Varas, según distrito censal.	82
Tabla 23. Uso del Tiraje según distrito para la comuna de Puerto Montt y Puerto Varas.	83
Tabla 24. Medición de humedad de leña en viviendas de Puerto Montt y Puerto Varas.	85
Tabla 25. Número muestra a seleccionar por lote de inspección en Vivienda.....	85
Tabla 26. Calidad de la leña según campaña de medición en terreno.....	86
Tabla 27. Humedad de las muestras de leña según NCh 2907.Of2005	86



1 ALCANCES DEL INFORME

El presente documento corresponde al Informe Final de la consultoría denominada “DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LAS COMUNAS DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS”, el cual considera, según bases técnicas que rigen el desarrollo del estudio, los contenidos que se especifican a continuación:

- Propuesta de delimitación de zona a declarar como saturada.
- Caracterización del consumo de leña y parque de artefactos.
- Análisis estadístico de la información recopilada en las encuestas.
- Resumen global del cumplimiento de todos los objetivos específicos de la consultoría.
- Presentación de los informes.



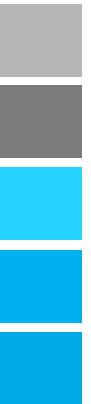
2 OBJETIVOS Y ACTIVIDADES SEGÚN BASES DE LA LICITACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contar con antecedentes que permitan identificar y caracterizar la zona a declarar como saturada en el Área Metropolitana de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entregar una propuesta para la delimitación de la zona a declarar como saturada y/o latente por MP2,5, en el área metropolitana de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.
- Caracterizar el consumo de leña y el parque de artefactos utilizados para calefacción y cocción de alimentos a nivel residencial, en el área metropolitana de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.
- Presentar los resultados del estudio.



3 ANTECEDENES PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y/O LATENTE

3.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio considera el territorio del sistema urbano P. Montt-P. Varas, el cual presenta tres áreas urbanizadas mayores, correspondientes a las comunas de Puerto Montt, Puerto Varas y la localidad de Alerce. Junto a éstas se encuentran asentamientos urbanos menores en zonas de expansión urbana ¹. La Figura 1 presenta la ubicación geográfica de esta área.

La comuna de Puerto Montt, que contiene a la localidad de Alerce se ubica en la zona sur de Chile y es la ciudad capital de la Provincia de Llanquihue y de la Región de Los Lagos. Posee una superficie comunal de 1.673 km², de los cuales 55,9 corresponden a área urbana². Se ubica a 1.032 km al sur de la capital del país, Santiago; a 213 km al sur de Valdivia capital de la Región de Los Ríos y a 676 km al norte de Coyhaique capital de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Puerto Montt posee una población de 245.902 habitantes según el censo 2017³, concentrándose el 90% en zona urbana. Se registra un total de 93.382 viviendas, de las cuales 81.575 se emplazan en área urbana, representando un 87% del total.

La comuna de Puerto Varas se ubica en la zona sur de Chile y es la segunda ciudad más poblada de la provincia de Llanquihue en la Región de Los Lagos, después de Puerto Montt. Posee una superficie comunal de 4.065 km², de los cuales 9,53⁴ corresponden a área urbana. Se ubica a 1.016 km al sur de la capital del país, Santiago; a 197 km al sur de Valdivia capital de la Región de Los Ríos y a 19 km al norte de Puerto Montt capital de la Región de Los Lagos. Puerto Varas posee una población de 44.578 habitantes según el censo 2017³, concentrándose el 72% en zona urbana. La comuna cuenta con un total de 17.643 viviendas, de las cuales 11.936 se emplazan en el área urbana, representando un 68% del total.

En relación a su ubicación, desde un punto de vista amplio, la comuna de Puerto Montt se ubica en el punto de contacto entre el océano Pacífico y el extremo sur del valle longitudinal de Chile. En esta zona el valle longitudinal, con presencia continua de casi 1.000 km, se presenta como una planicie ancha que va descendiendo en altura hasta sumergirse en el golfo de Reloncaví ⁵. Se destaca el crecimiento urbano de la ciudad de Puerto Montt sobre un sistema de cuatro terrazas claramente definidas¹ (ver Figura 2).

¹ Diagnósticos Estratégicos de Ciudades Chilenas. Sistema Urbano Puerto Montt y Puerto Varas. MINVU 2011.

² Memoria Plan Regulador Comunal de Puerto Montt. Municipalidad de Puerto Montt, año 2008.

³ Censo de Población y Vivienda 2017, Población total por sexo y área urbana-rural, según provincia y comuna.

⁴ Memoria Explicativa Plan Regulador Comunal Puerto Varas. Municipalidad de Puerto Varas, año 2019.

⁵ Plan de Inversiones de Obras Públicas para Puerto Montt, Ministerio de Obras Públicas, año 2005.

Puerto Varas, en tanto, se ubica en torno al Lago Llanquihue en una localización geográfica con grandes atributos paisajísticos. El área urbana de la ciudad se encuentra ubicada a partir de la ribera del lago hasta la depresión intermedia mediante una suave pendiente con una continuidad casi ininterrumpida hasta el límite con la Ruta 5⁶.

Respecto a las características climáticas, en toda el área de estudio predomina un clima de tipo templado lluvioso sin estación seca ⁷⁻⁸ con influencia marítima, según la clasificación de Köppen. Para la comuna de Puerto Montt se presenta una temperatura media anual de tan solo 9,7°C alcanzando mínimas y máximas de -3,8 y 28,3°C, en invierno y verano respectivamente. Se registra una precipitación media anual de 1.479 mm⁹. No se cuenta con data estadística de este tipo para la comuna de Puerto Varas, pero dada la cercanía y el tipo de clima, se deben observar condiciones similares en ambas comunas.

En relación al sistema económico, la comuna de Puerto Montt presenta un desarrollo económico asociado a actividades de comercio, servicios, comunicaciones y pesca extractiva e industria manufacturera, principalmente⁷. En tanto, la comuna de Puerto Varas es reconocida como un centro de importancia turística nacional, ya que presenta la puerta de entrada a la Patagonia chilena y es una ruta obligada del circuito de los grandes lagos del sur de Chile y Argentina, a través del paso Internacional Vicente Pérez Rosales⁸.

⁶ Diagnósticos Estratégicos de Ciudades Chilenas. Sistema Urbano Puerto Montt y Puerto Varas. MINVU 2011.

⁷ Memoria Plan Regulador Comunal de Puerto Montt. Municipalidad de Puerto Montt, año 2008.

⁸ Memoria Explicativa Plan Regulador Comunal Puerto Varas. Municipalidad de Puerto Varas, año 2019.

⁹ Datos meteorológicos calculados como promedio anual de los últimos 10 años, según registros de los Anuarios Climatológicos de la Dirección Meteorológica de Chile (años 2009 a 2018) para la Estación El Tepual.

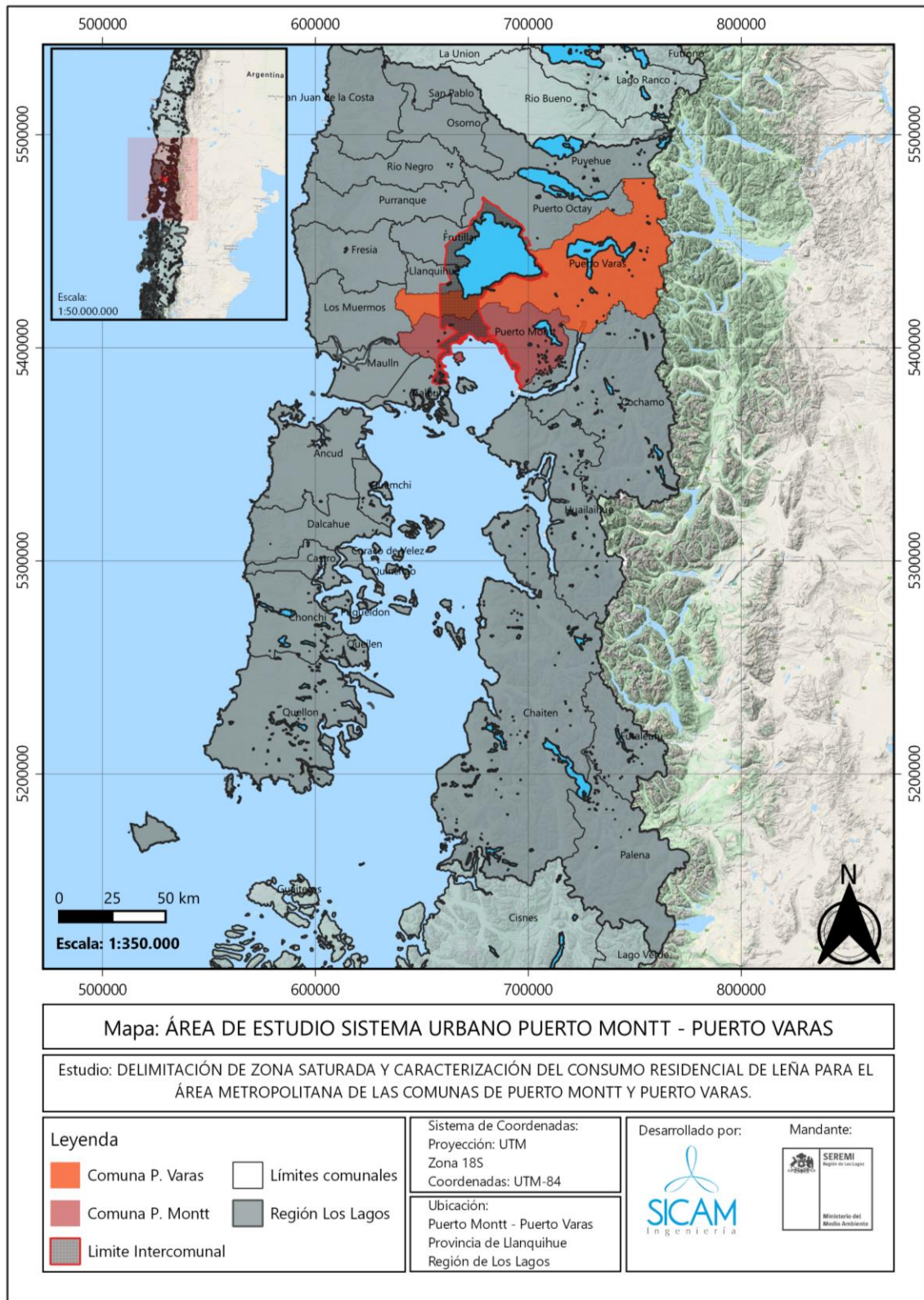


Figura 1. Área de estudio Sistema Urbano Puerto Montt – Puerto Varas

Fuente: Elaboración propia

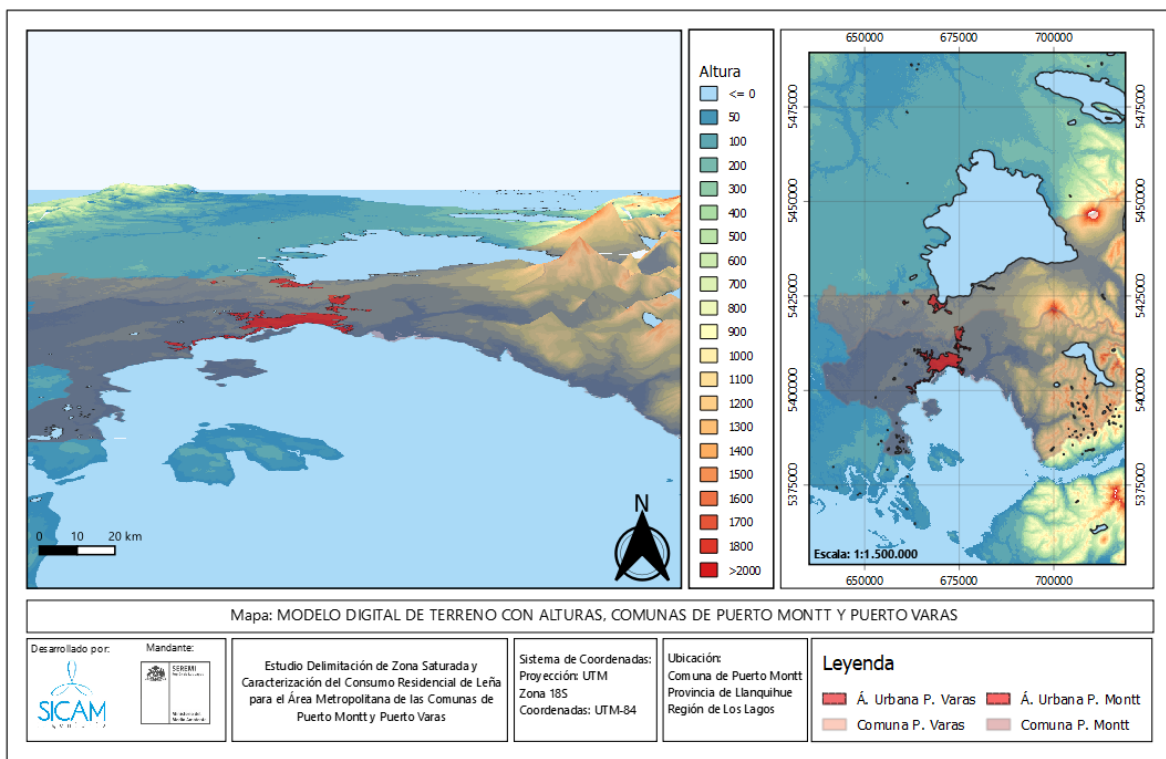


Figura 2. Modelo digital de terreno con alturas, comunas de Puerto Montt y Puerto Varas

Fuente: Elaboración propia

3.2 ESTACIONES DE MONITOREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio se encuentran 4 estaciones de monitoreo, 3 ubicadas en Puerto Montt y 1 en Puerto Varas.

Las estaciones que operan en Puerto Montt corresponden a Mirasol y Alerce, ambas monitorean parámetros de calidad del aire y variables meteorológicas (tipo CA – MET) y cuentan con la calificación de representatividad poblacional para material particulado fino respirable MP2,5, declarada mediante Resolución Exenta N°170/2018, que valida la información de monitoreo a partir del 22 de febrero de 2017 y Resolución Exenta N°09/2018 de la SMA, que valida los datos a partir del 27 de agosto de 2017, respectivamente (se adjuntan como Anexo). Ambas estaciones cuentan con información en línea disponible en la plataforma web de SINCA.

La estación El Tepual, de propiedad de la DMC registra parámetros meteorológicos en superficie y también en altura, mediante radiosondeo.

La comuna de Puerto Varas cuenta con la estación del mismo nombre que solo monitorea calidad del aire a través de la medición de material particulado MP10 y MP2,5. Esta estación cuenta con la calificación de representatividad poblacional, mediante Resolución Exenta

N°378/2019 de la SMA para MP10 a partir del 01 de enero de 2019 y la Resolución Exenta N° 377/2019 de la SMA para MP2,5, a partir de la misma fecha. En esta comuna no se cuenta específicamente con una estación de monitoreo de variables meteorológicas, por lo tanto, se considera que todas las variables meteorológicas medidas en Puerto Montt serán representativas del área de estudio considerando ambas comunas.

La Tabla 1 presenta la información de cada estación y en la Figura 3 se puede observar su ubicación en el área de estudio.

Tabla 1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorológicas

Estación	Comuna	Propietario	Tipo	Coordenadas	Contaminante		Variable meteorológica							Periodo de medición
					MP10	MP2.5	RG	PA	HR	TA	DV	VV	PP	
Mirasol	P. Montt	MMA	CA - MET	E: 669585 S: 5406017	(1)	✓	✓	✓	✓	(2)	✓	✓		22/02/2017 a la fecha (3)
Alerce	P. Montt	MMA	CA - MET	E: 675585 S: 5414803		✓			✓	✓	✓	✓		27/08/2017 a la fecha (3)
El Tepual	P. Montt	DMC	MET	E: 659059 S: 5409814				✓	✓	✓	✓	✓	✓	1964 a la fecha
P. Varas	P. Varas	MMA	CA	E: 669794 S: 5422631	✓	✓								27/07/2018 a 24/10/2019

(1): Monitoreo de MP10 entre los años 2013 y 2015

(2): Monitoreo de TA entre junio de 2013 y marzo de 2018

(3): considera la fecha a partir de la cual se valida la información con representatividad poblacional.

RG: radiación global (W/m²)

PA: presión atmosférica (hPa)

HR: humedad relativa del aire (%)

TA: temperatura ambiente a 10 m (°C)

DV: dirección del viento (°)

VV: velocidad del viento (m/s)

PP: precipitaciones (mm)

Fuente: Elaboración propia a partir de información de SINCA y DMC

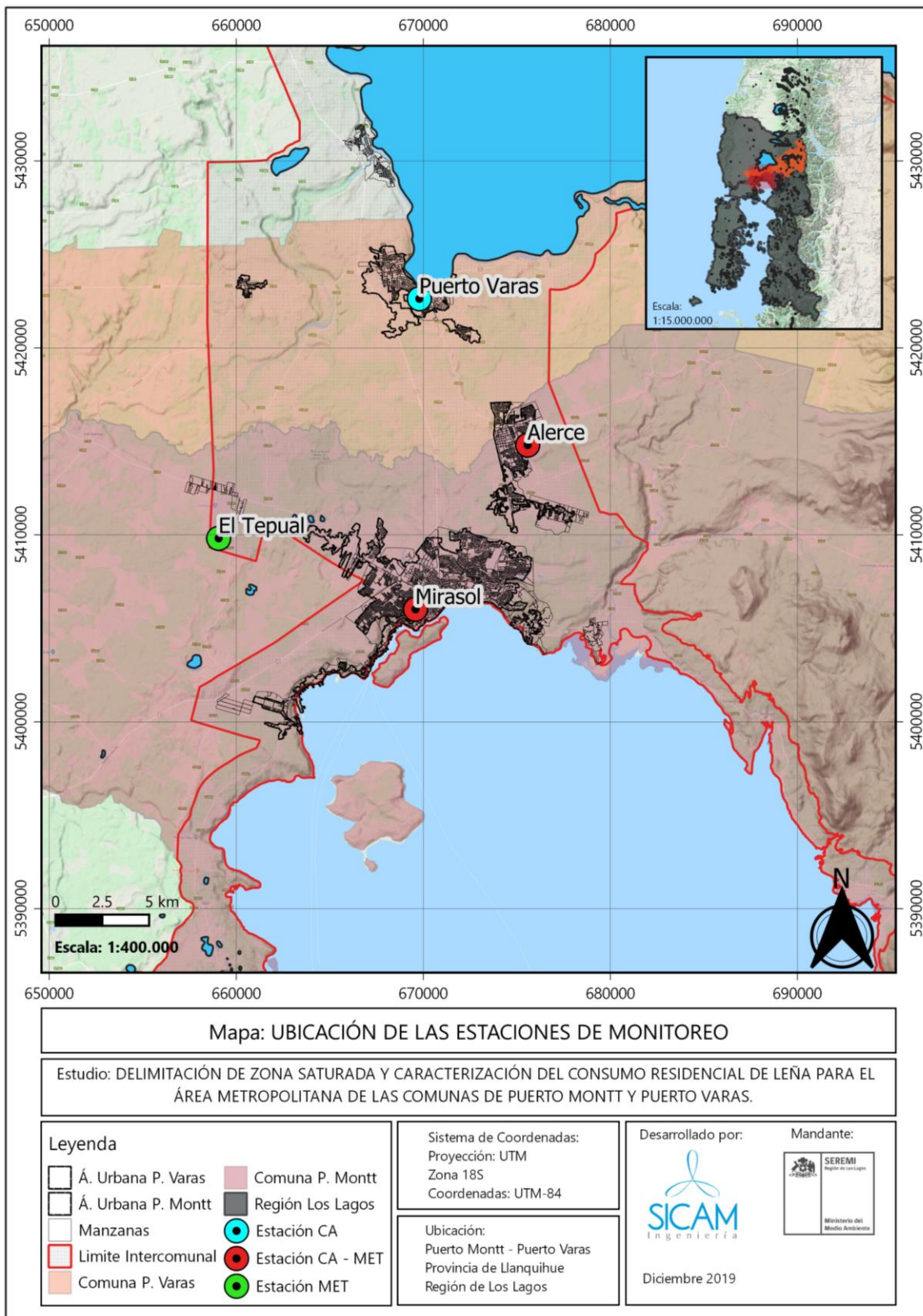


Figura 3. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire

Fuente: Elaboración propia

3.3 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para la caracterización de la calidad del aire se consideró la información entregada por las estaciones de monitoreo Alerce y Mirasol para el contaminante MP_{2,5} en la comuna de Puerto Montt, y la estación Puerto Varas para el contaminante MP_{2,5} y MP₁₀ en la comuna del mismo nombre.

Material particulado fino respirable MP_{2,5}

El D.S. N°12/11, establece que la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Fino MP_{2,5}, es 50 µg/m³ como concentración de 24 horas, considerándose sobrepasada cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea calificada EMRP, sea mayor a 50 µg/m³.

Asimismo, la norma establece el límite de 20 µg/m³, como concentración anual, considerándose sobrepasada cuando el promedio tri-anual¹⁰ de las concentraciones anuales sea mayor a 20 µg/m³, en cualquier estación monitorea calificada como EMRP.

Para evaluar lo anterior, la norma define la concentración de 24 horas como el promedio de los valores efectivamente medidos en 24 horas consecutivas. Haciendo referencia al D.S. N°61/08 del MINSAL¹¹, en donde se indica que el promedio diario deberá calcularse con al menos 18 horas continuas de medición.

Además, la norma establece que la concentración anual corresponde al promedio de los valores mensuales, entendiéndose éstos como el promedio de los valores efectivamente medidos de concentración de 24 horas en un mes calendario, siendo efectivo el promedio con más del 75% de las mediciones programadas para el mes. Se indica también que se considerará válida la concentración anual si es determinada a partir de promedios mensuales de a lo menos 11 meses del año calendario. En caso de disponer de mediciones para más de 8 meses y menos de 11 meses, para completar el periodo mínimo señalado, se considerará como valor mensual de cada mes faltante, la concentración mensual más alta medida en los 12 meses anteriores a cada mes faltante. Si se dispone de valores solo para 8 meses o menos, no se podrá calcular un valor de concentración anual para la estación de monitoreo correspondiente. Estas definiciones se consideraron en el análisis de los datos de monitoreo para la comuna de Puerto Montt.

¹⁰ Promedio tri-anual corresponde al promedio aritmético de tres años calendario consecutivos de la concentración anual, en cualquier estación monitorea.

¹¹ D.S. N°61/08 del MINSAL. APRUEBA REGLAMENTO DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Como se mencionó anteriormente, la estación Alerce, cuenta con representatividad poblacional desde el 27 de agosto de 2017 y la estación Mirasol desde el 22 de febrero de 2017 por lo que el análisis normativo para el periodo trianual será solo referencial.

Material particulado respirable MP10

Por otra parte, el D.S. N°59/98, establece que la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como concentración de 24 horas, considerándose sobrepasada cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea calificada EMRP, sea mayor a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, y/o si antes que concluyese el primer periodo anual de mediciones se registra un número de días con mediciones sobre el valor de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ mayor que 7. Mientras que, para la norma anual se establece un límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual, considerándose sobrepasada cuando el promedio tri-anual¹² de las concentraciones anuales sea mayor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, en cualquier estación monitorea calificada como EMRP. En este caso, la estación Puerto Varas, entregará solo un análisis referencial, dado que no cuenta con la calificación de EMRP.

Respecto al número de datos válidos para ser considerados como promedio 24 horas, mensual y anual, se señalan las mismas consideraciones indicadas antes para el material particulado MP2,5.

Este contaminante solo es monitoreado en la Estación Puerto Varas, que cuenta con representatividad poblacional, sin embargo, el análisis será solo referencial por cuanto la estación no cuenta con la cantidad de datos suficientes para evaluación normativa.

La Tabla 2 presenta el resumen del cumplimiento normativo para los contaminantes que fueron descritos.

Tabla 2. Resumen del cumplimiento normativo de material particulado

Contaminante	Norma	Valor	Período Evaluación	Forma de Verificación	Referencia normativa
Material Particulado Fino Respirable (MP2.5)	Diaria	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Período aritmético de 24 horas	Percentil 98 de concentraciones de 24 horas durante un año	D.S. N° 12/11 MMA
	Anual	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Período aritmético anual	Promedio aritmético de 3 años consecutivos	
Material Particulado Respirable (MP10)	Diaria	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Período aritmético de 24 horas	Percentil 98 de concentraciones de 24 horas durante un año o más de 7 días de superación en un año.	D.S. N° 59/98 MINSEGPRES
	Anual	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	Período aritmético anual	Promedio aritmético de 3 años consecutivos	

Fuente: Elaboración propia

¹² Promedio tri-anual corresponde al promedio aritmético de tres años calendario consecutivos de la concentración anual, en cualquier estación monitorea.

3.3.1 Resumen de la información de monitoreo de calidad del aire

A continuación, en la Tabla 3 y Tabla 4 se presenta el resumen de la información obtenida de las estaciones Mirasol y Alerce para el contaminante MP2,5 para los años 2017 a 2019. Se consideró la información obtenida a partir de la fecha de calificación de representatividad poblacional de cada estación.

Para el caso de la norma anual no se cuenta con suficiente información para el año 2017, por lo que el análisis será solo referencial, considerando los promedios para el año 2018 y 2019.

Tabla 3. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2,5 – Estación Mirasol Puerto Montt

Parámetro	2017	2018	2019
Norma anual			
Nº datos 24 hr validados	312	360	350
% datos validados	85%	99%	96%
Meses en el año con promedio mensual válido	10	12	12
Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ N)	s/p	23	29
Promedio Trianual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ N) 2017-2019	s/p		
Norma	20		
% norma (2018-2019) ⁽¹⁾	130%		
Norma diaria			
Percentil 98	165	107	156
Norma	50		
% norma	329%	214%	312%

s/p: sin promedio por falta de datos señalados en la norma.

(1): Cálculo solo referencial considerando promedio año 2018 y año 2019

Tabla 4. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2,5 – Estación Alerce Puerto Montt

Parámetro	2017	2018	2019
Norma anual			
Nº datos 24 hr validados	108	339	356
% datos validados	30%	93%	98%
Meses en el año con promedio mensual válido	4	11	12
Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ N)	s/p	27	27
Promedio Trianual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ N) 2017-2019	s/p		
Norma	20		
% norma (2018-2019) ⁽¹⁾	135%		
Norma diaria			
Percentil 98	165	143	117
Norma	50		
% norma	329%	285%	234%

s/p: sin promedio por falta de datos señalados en la norma.

(1): Cálculo solo referencial considerando promedio año 2018 y año 2019

Para la estación Puerto Varas, se realizó el análisis de la información para MP2,5 y MP10 que cuenta con monitoreo en el periodo de julio de 2018 y octubre de 2019. Este análisis tiene el carácter de referencial dado que no se cuenta con la cantidad de datos mínima requerida para evaluación normativa. La forma de presentar los resultados será según los promedios mensuales del periodo que presenta la mayor cantidad de información, correspondiente al periodo de agosto de 2018 a septiembre de 2019.

Tabla 5. Parámetros de cumplimiento normativo para MP2.5 – Estación Puerto Varas

Mes de medición	MP2,5		MP10	
	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° datos	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$	N° datos
Julio 2018	82	5	82	5
Agosto 2018	58	31	59	31
Septiembre 2018	42	27	45	27
Octubre 2018	23	25	27	25
Noviembre 2018	15	12	24	12
Diciembre 2018	-	-	-	-
Enero 2019	8	12	18	12
Febrero 2019	7	6	21	6
Marzo 2019	16	9	24	9
Abril 2019	32	11	42	11
Mayo 2019	53	13	57	13
Junio 2019	59	11	59	11
Julio 2019	55	19	57	19
Agosto 2019	56	25	58	25
Septiembre 2019	38	23	41	23
Octubre	22	14	32	14
Concentración promedio Periodo ⁽¹⁾	38		43	

⁽¹⁾ Información referencial ya que existen meses que no cuentan con la cantidad suficiente de datos

3.3.2 Análisis del cumplimiento de norma

El análisis solo se realizará para las estaciones Mirasol y Alerce ya que son las que cuentan con información validada en el área de estudio.

Evaluación norma diaria:

Según la información sistematizada de los datos del monitoreo de calidad del aire provenientes de las estaciones Mirasol y Alerce, es posible evaluar el cumplimiento de la norma diaria de MP2,5 según los niveles establecidos en la norma. El gráfico del P98 de los valores de concentración de 24 horas para cada año en evaluación se presenta a continuación en la Figura 4.

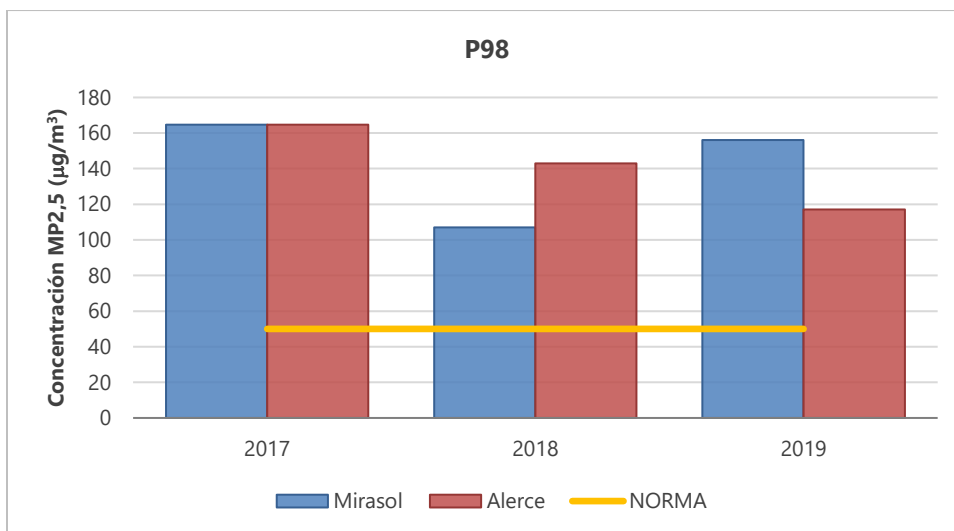


Figura 4. P98 de las concentraciones de 24 horas según estación años 2017-2019
Fuente: Elaboración propia

Según lo señalado en el D.S. N° 12/11 del MMA se considerar sobrepasa la Norma Primaria de Calidad del Aire para Material Particulado Fino Respirable MP2,5 para su límite diario, dado que, según los resultados obtenidos del monitoreo de calidad del aire, el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante los años 2017, 2018 y 2019 superan el límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambas estaciones.

Evaluación norma anual

Según la información sistematizada de los datos del monitoreo de calidad del aire provenientes de las estaciones Mirasol y Alerce, no es posible evaluar el cumplimiento de la norma anual de MP2,5 dado que no se cuenta con un periodo de 3 años consecutivos de monitoreo con representatividad poblacional. Por lo tanto, se analiza la información de manera referencial, para fines de evaluar el estado actual de cumplimiento de esta norma. Durante el mes de febrero de 2020 y agosto de 2020 para las estaciones de Mirasol y Alerce, ya se podrá contar con el periodo mínimo exigido para realizar evaluación de promedio anual por contar con 3 periodos consecutivos de 12 meses de monitoreo.

El año 2017 para la estación Mirasol, si bien se cuenta con 10 meses de monitoreo, no es posible calcular el promedio anual dado que la norma señala que para completar los meses faltantes se debe emplear el valor máximo de concentración de los últimos 12 meses anteriores al mes sin información. En este caso no se cuenta con monitoreo para el periodo anterior al mes de febrero de 2017.

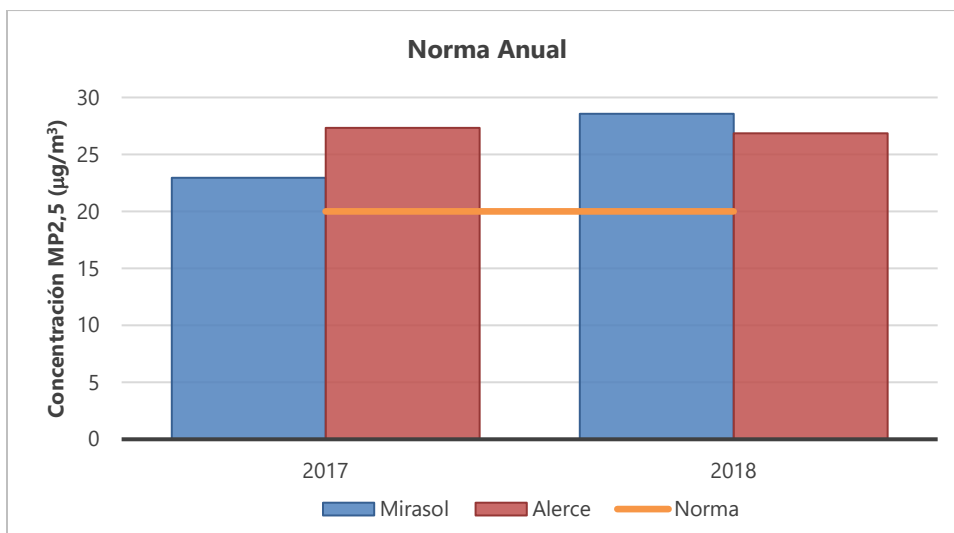


Figura 5. Concentración promedio anual según estación años 2017-2019
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los datos da cuenta de que existe una superación del promedio anual respecto a la norma de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambas estaciones para los años 2018 y 2019.

3.3.3 Episodios de contaminación

Respecto a los episodios de contaminación, la norma establece los niveles y concentraciones de MP2,5 sobre las cuales se originan situaciones de emergencia, preemergencia y alerta ambiental como concentración de 24 horas, según se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Episodios de contaminación según estación años 2017 - 2019

EPISODIO	Concentración 24 horas de MP2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2017		2018		2019	
		MIRASOL	ALERCE	MIRASOL	ALERCE	MIRASOL	ALERCE
SUPERACIÓN	> 50	51	7	40	37	44	45
ALERTA	80 – 109	11	-	5	6	4	8
PREEMERGENCIA	110 – 169	7	-	4	8	9	9
EMERGENCIA	170 o superior	4	-	3	3	6	2

Fuente: Elaboración propia según Norma MP2,5

Como se puede observar en la Figura 6, la mayor cantidad de emergencias se registran el año 2019 con 6 ocurrencias, según concentraciones de MP2,5 monitoreadas en la estación Mirasol. Así mismo, para este año se registra la mayor ocurrencia de preemergencias en detectándose 9 en ambas estaciones. Los episodios de alerta se registraron con mayor frecuencia durante el año 2017 alcanzando 11 en la estación Mirasol.

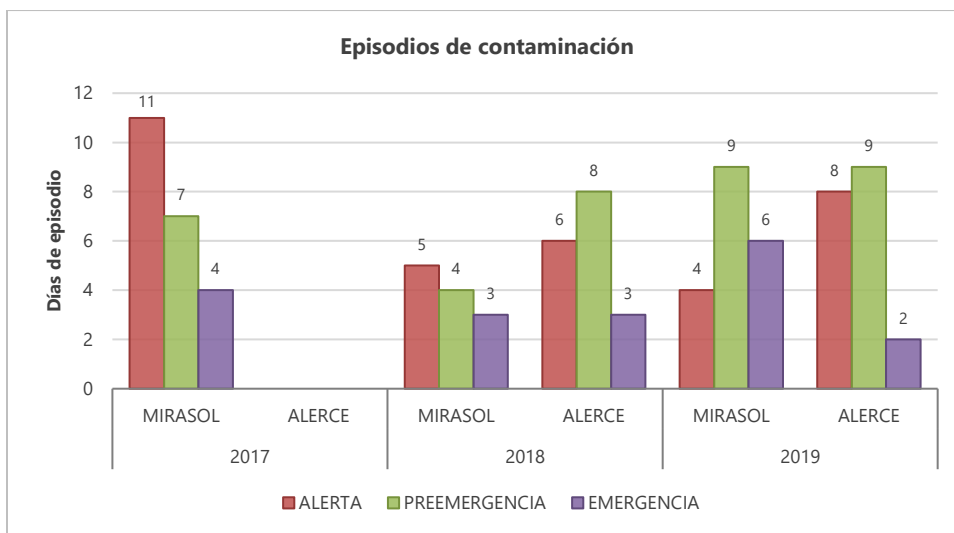


Figura 6. Ocurrencia de episodios de contaminación según estación años 2017-2019
Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Series de tiempo anuales

Los índices de contaminación tienen una clara estacionalidad, observándose que las mayores concentraciones de material particulado MP2,5 ocurren en la temporada fría del año, entre los meses de abril y septiembre en cada periodo evaluado, según se presenta en la Figura 7, que grafica las concentraciones promedio de 24 horas para el periodo 2017-2019.

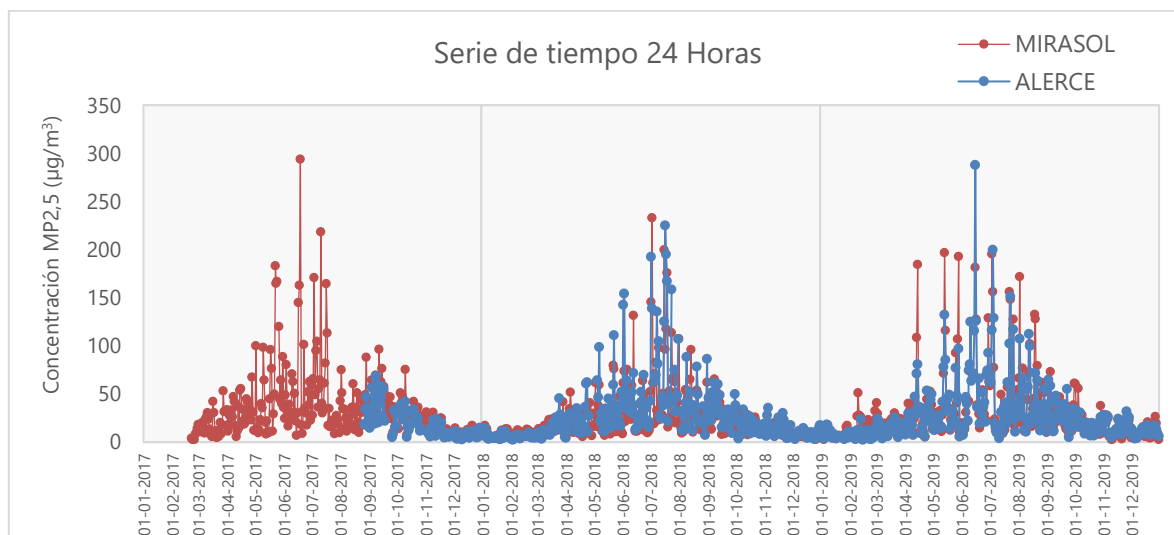


Figura 7. Serie de tiempo de anual de concentración promedio 24 h de MP2,5 según estación
Fuente: Elaboración propia

Es posible desagregar la información para una mejor comprensión del fenómeno estacional. De esta manera, se consideró de manera referencial la información del año 2019 en ambas

estaciones y se graficó el promedio de 24 horas para los meses fríos (abril a septiembre) y para los meses cálidos (octubre a marzo). Según se observa en la Figura 8, durante los meses fríos se alcanzan concentraciones promedio diarias de hasta 287 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el día 16 de junio en la estación Alerce, con un promedio estacional (abril-septiembre) de 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambas estaciones. Luego, durante los meses cálidos, en donde la combustión residencial de leña deja de utilizarse de manera masiva para fines de calefacción y/o cocción de alimentos, las concentraciones que se registran en general están bajo los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio estacional (octubre-marzo) de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Mirasol y Alerce respectivamente. Este análisis da cuenta de que el problema de la condición de saturación de la zona en estudio se atribuye a la combustión residencial de leña principalmente. Si se asume un perfil de funcionamiento constante de las demás fuentes emisoras podría atribuirse a éstas solo un aporte menor a las concentraciones medidas en las estaciones de monitoreo.

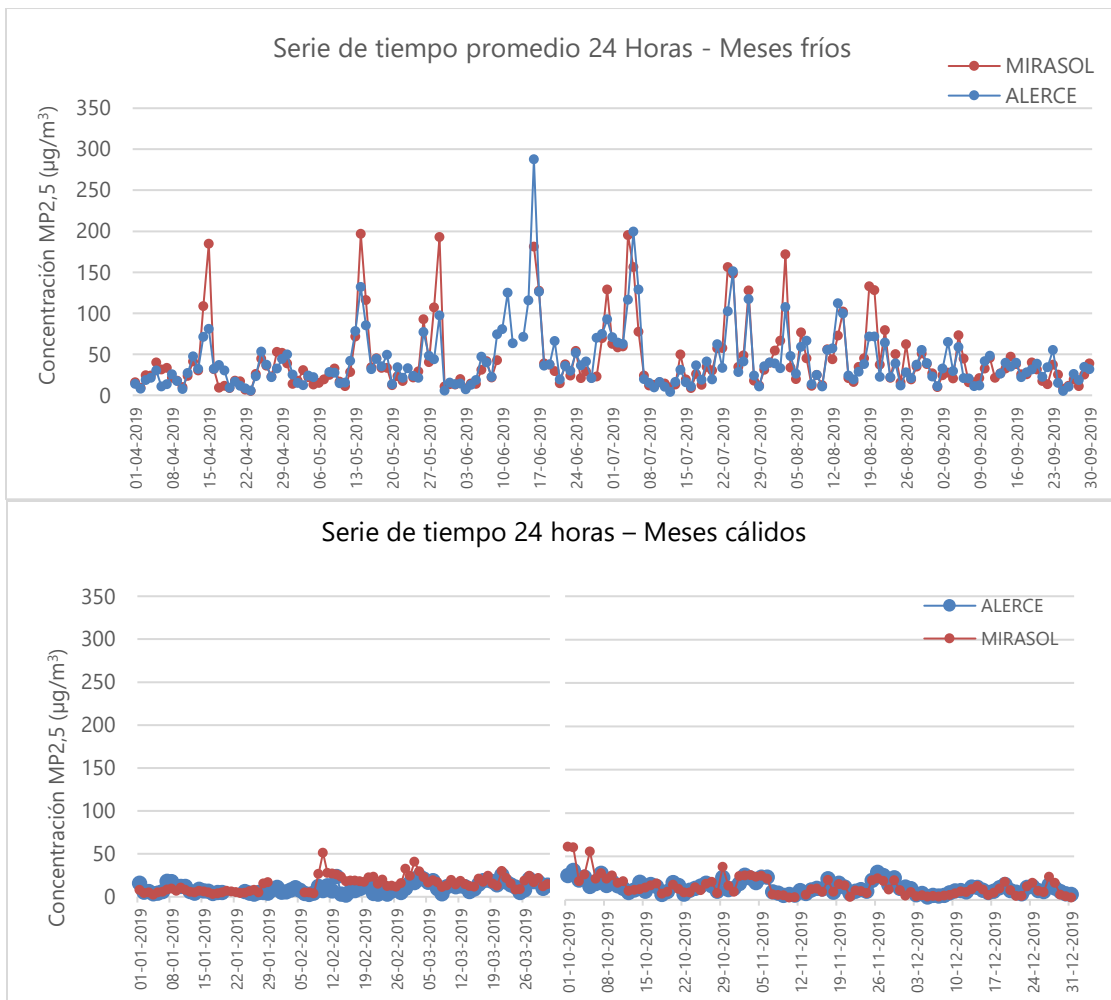


Figura 8. Serie de tiempo estacional de concentración promedio 24 h de MP2,5 según estación

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Ciclos diarios

Al promediar los valores de concentración a cada hora específica del día, es posible conocer el perfil horario de los contaminantes. Al analizar este perfil obtenido a partir de la información de la estación Mirasol para los años 2018 y 2019 se puede observar que durante el día las concentraciones comienzan a incrementarse a partir de las 6:00 horas, llegando a un primer máximo a las 8:00, luego las concentraciones decaen hasta comenzar a aumentar a partir de las 15:00 horas para llegar a un máximo nocturno a las 22:00 horas. A partir de esta hora las concentraciones disminuyen progresivamente hasta las 05:00 horas.

Para la información registrada en la estación Alerce, la tendencia horaria es similar, pero se alcanzan promedios máximos menores que los registrados en la estación Mirasol.

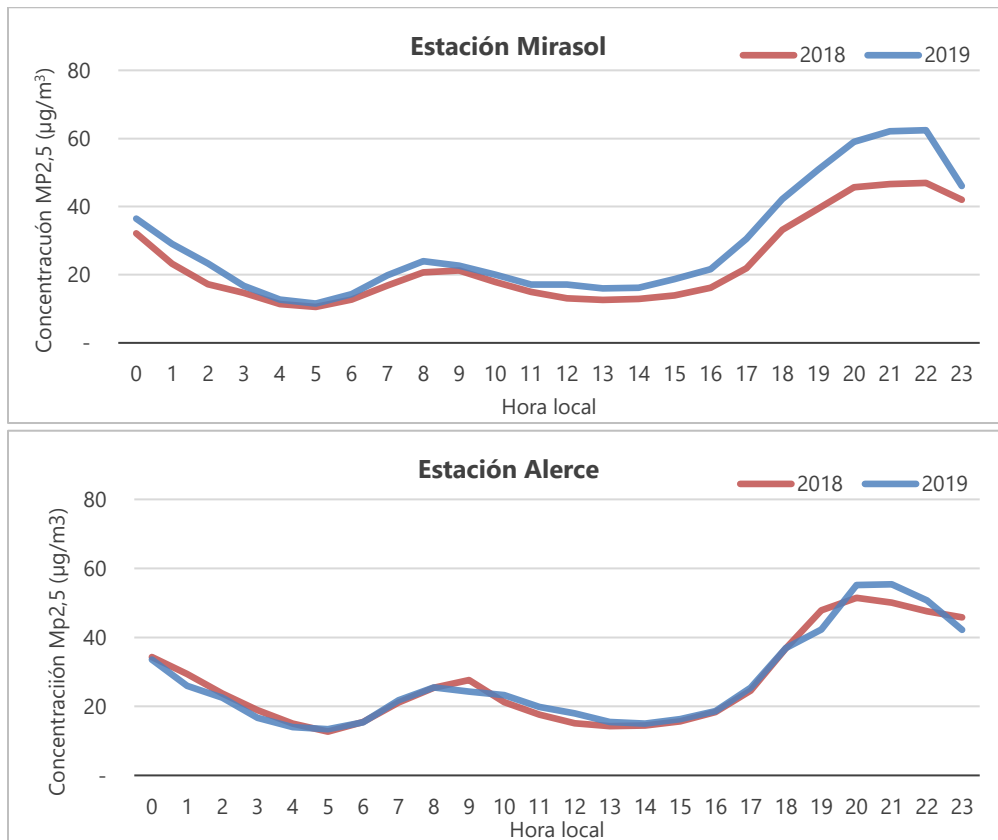


Figura 9. Ciclo diario según estación año 2018-2019

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la estacionalidad asociada a las concentraciones horarias, se tomó como referencia los datos registrados en la estación Mirasol para el año 2019 en donde se elaboró el perfil horario para los meses fríos (abril a septiembre) y para los meses cálidos (octubre a marzo), tal como se presenta en la Figura 10. Como ya se mencionó anteriormente, las mayores concentraciones horarias se obtienen durante las horas de la noche entre las 20:00 y las 22:00 horas, sobre todo para los meses de junio, julio y agosto. Para los meses cálidos, las concentraciones permanecen con baja variación durante el día, apreciándose un pequeño incremento entre las 06:00 y 08:00 horas y luego entre las 19:00 y las 22:00.

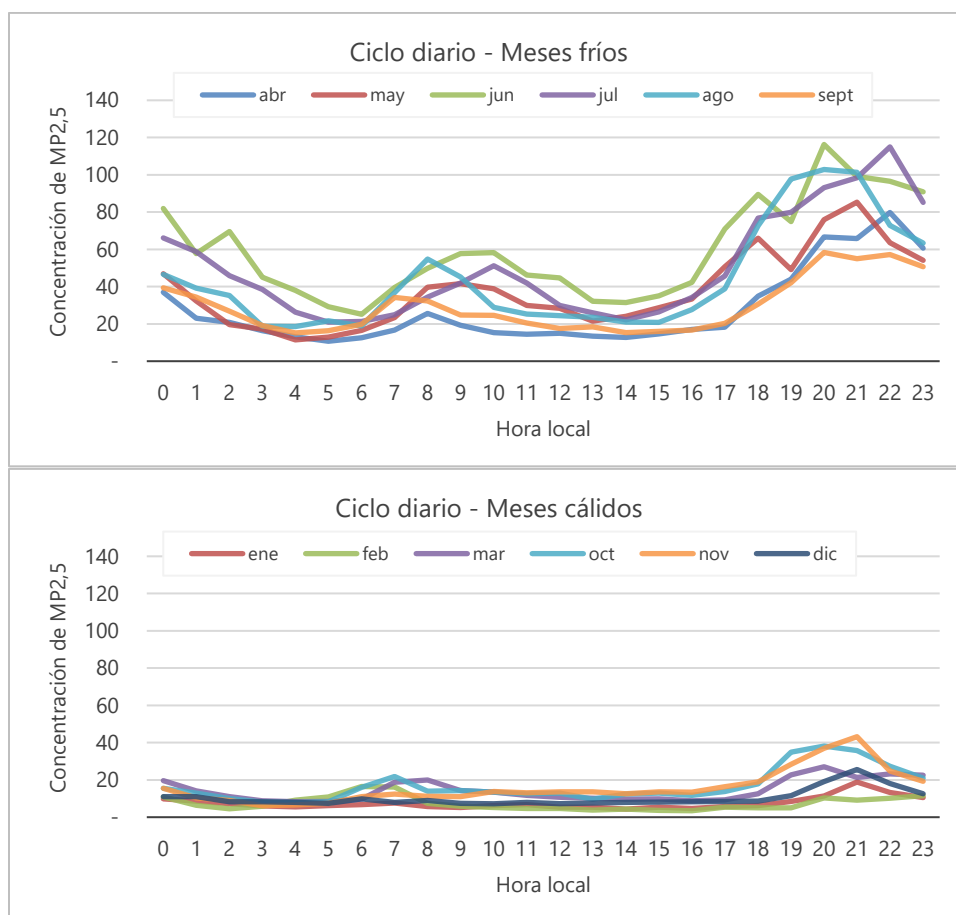


Figura 10. Perfil horario estacional estación Mirasol – año 2019

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Variación estacional y horaria

Las gráficas presentadas en la Figura 11, muestran la variación estacional y horaria de las concentraciones de MP2.5 para las estaciones Mirasol y Alerce para el año 2019. Para el caso de los datos registrados en la estación Mirasol, es posible observar que las concentraciones se mantienen bajo los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los meses entre octubre y marzo y no presenta variación significativa durante las horas del día. Sin embargo, durante los meses fríos entre abril y septiembre, se observa un incremento importante en las concentraciones sobre todo a partir de las 17:00 horas, alcanzando niveles máximos a las 22:00 horas durante el mes de julio.

Para el caso de la estación Alerce, la tendencia es similar, pero con concentraciones máximas menores que en el caso de la estación Mirasol.

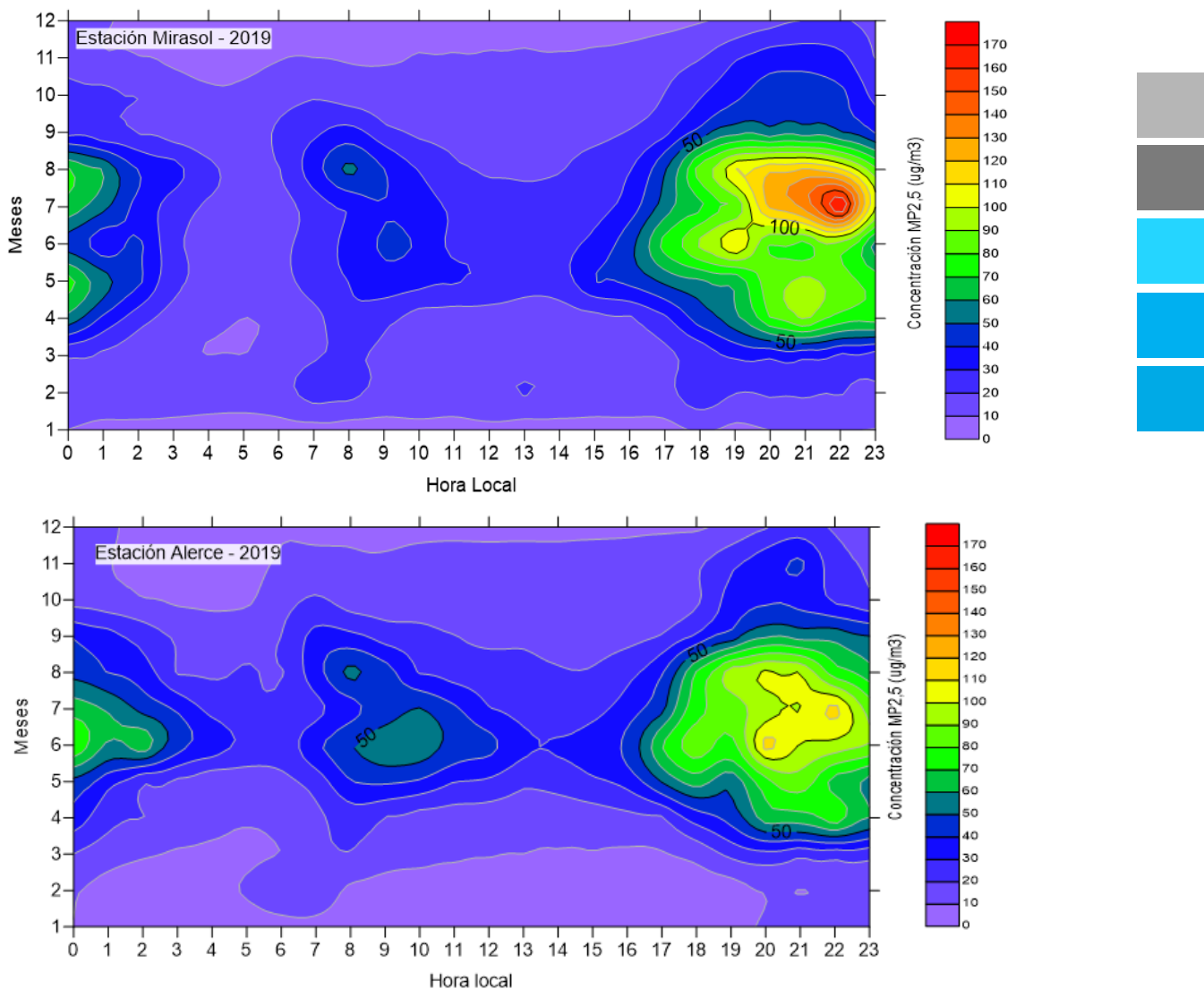


Figura 11. Variación estacional y horaria de las concentraciones de MP2,5 según estación año 2019

Fuente: Elaboración propia

3.4 ANÁLISIS METEOROLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

La caracterización meteorológica del área de estudio se realizó en base a la información registrada en la estación El Tepual que cuenta con información horaria continua para las variables de estudio para los años 2017 a 2019. En base a la información de las estaciones de monitoreo en superficie más la información de radiosondeo se analizaron los parámetros: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y precipitaciones acumuladas.

3.4.1 Series de tiempo periodo 2017-2019

A continuación, se presentan los gráficos de series de tiempo de las variables meteorológicas temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y presión atmosférica en términos de valores horarios, para el periodo comprendido entre los años 2017 a 2019. Además, se analiza la variable precipitación acumulada en términos de registros de 24 horas entre el mismo periodo.

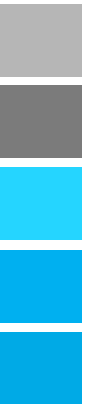
De la serie de tiempo de temperatura, se observa una marcada estacionalidad, apreciándose los valores mínimos entre los meses de abril a septiembre de cada año en estudio, encontrándose que los valores horarios fluctúan entre -5 y 15 °C en este periodo. Se observa baja variación interanual para esta variable.

Par la variable velocidad del viento, se puede apreciar que para el año 2017 se encuentran los mayores valores máximos horarios llegando a registrarse valores tan altos como 15,9 m/s. En general, los valores observados dan cuenta de que los vientos en el área de estudio presentan alta variación a lo largo de todas las estaciones, siendo posible encontrar vientos altos, sobre los 5 m/s durante todo el año, con un valor promedio anual de 3,2 m/s.

En relación a la humedad relativa es posible observar una marcada estacionalidad, presentándose los mayores valores durante los meses fríos del año.

En el caso de la presión atmosférica se observa que los valores fluctúan entre 980 y 1020 hPa. Los datos indican que las mayores fluctuaciones ocurren entre los meses de junio y octubre de cada año.

En general, en análisis de las variables meteorológicas que caracterizan el área de estudio indica una marcada estacionalidad, apreciándose diferencias a través de los meses, lo que es característico de zonas ubicadas en el sur del país.



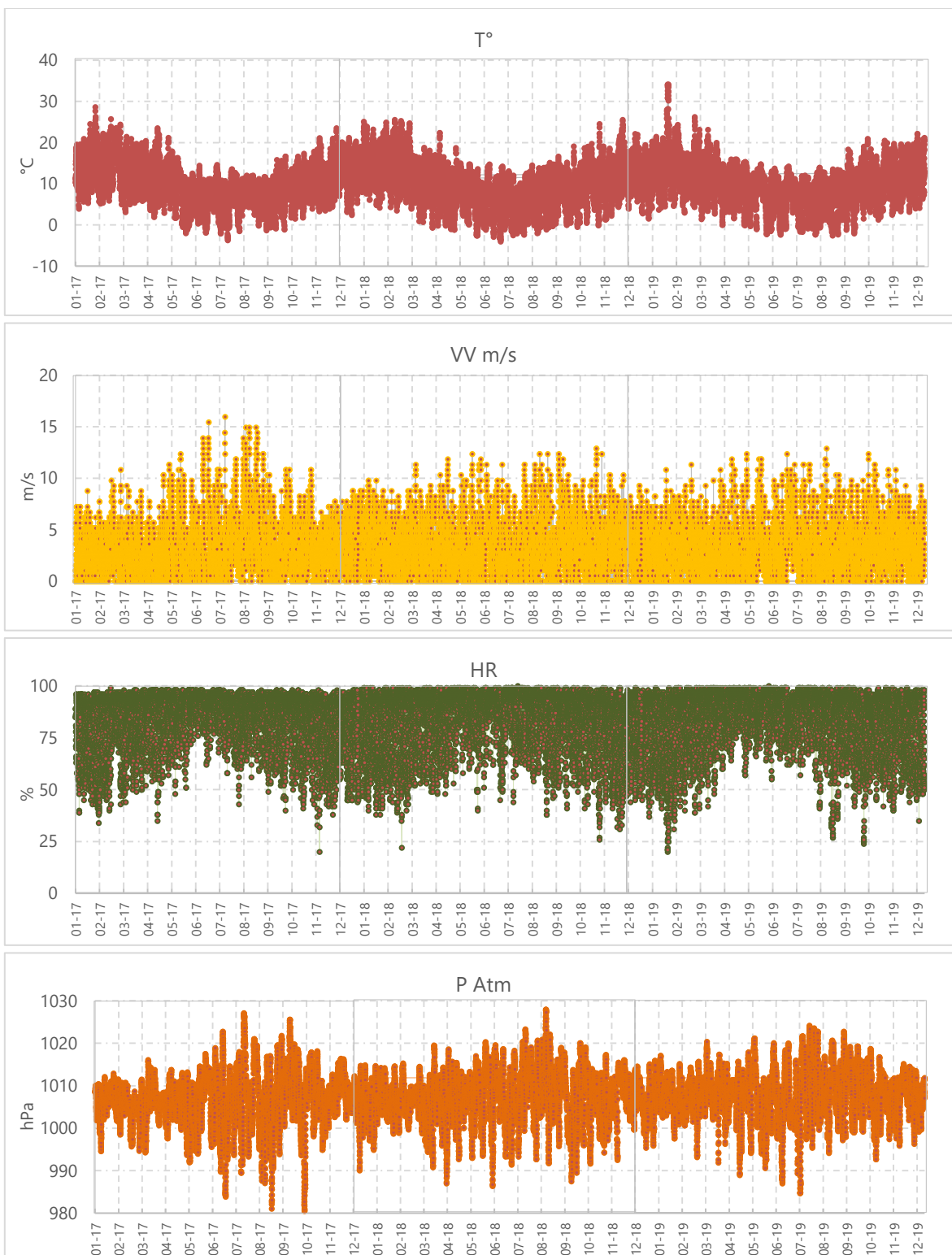


Figura 12. Series de tiempo horaria de variables meteorológicas años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

La Figura 13 presenta el registro de precipitaciones acumuladas en 24 horas para los años 2017 a 2019. Se observa que es posible encontrar precipitaciones durante todo el año, registrándose los mayores valores en torno a los 48,4 mm de agua caída en 24 horas, durante el día 01 de mayo de 2019. Entre los años 2017 y 2019 se registra un total anual de precipitaciones de 1.784, 1.443 y 1.127 mm respectivamente, apreciándose una disminución progresiva en el periodo evaluado.

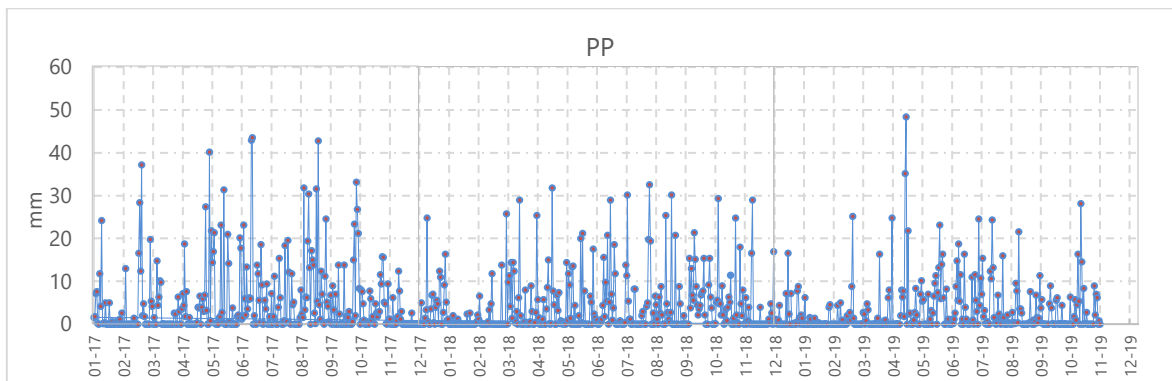


Figura 13. Serie de tiempo de precipitación acumulada 24 horas años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.4.2 Promedios mensuales periodo 2017 – 2019

La Figura 14 presenta el análisis mensual de las temperaturas para los años 2017 a 2019. Se estimó la temperatura media mensual (línea azul), la temperatura mínima registrada en el mes (línea roja) y la temperatura máxima registrada en el mes (línea verde). El análisis mensual de la variable temperatura, da cuenta que una baja variación interanual respecto a las temperaturas medias. En relación a las máximas, en el último año se registra una temperatura de 34,1 °C durante el día 03 y 04 de febrero a las 15:00 horas, siendo la mayor registrada en todo el periodo de evaluación. De manera opuesta la mínima registrada corresponde a -4,0 el día 03 de julio de 2018 a las 07:00 horas. En general se observa la clara estacionalidad de las temperaturas, encontrándose que las mínimas mensuales se presentan en el mes de julio para los años 2017 y 2018 con valores de 6,5 y 5,4 °C respectivamente y para el mes de agosto del año 2019 con un valor de 6,9 °C.

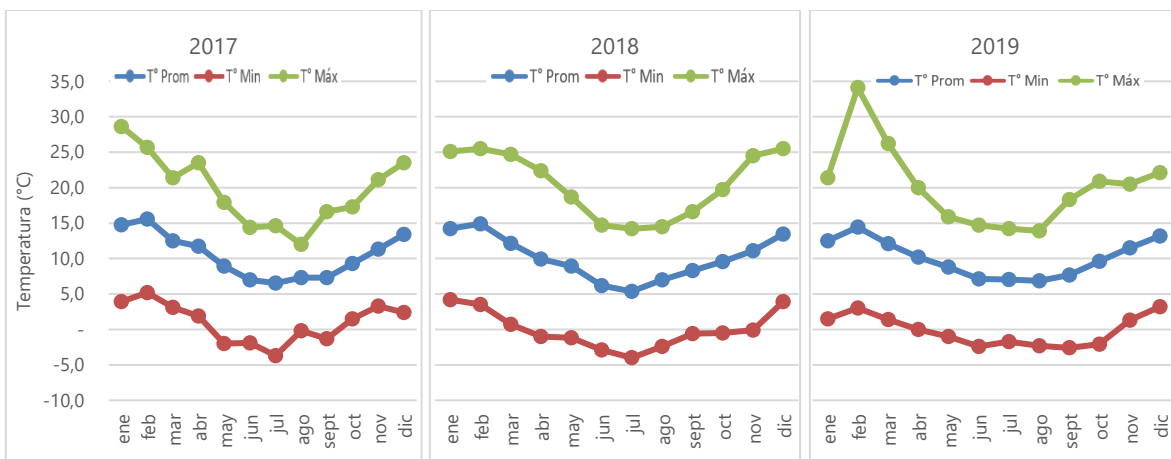


Figura 14. Temperatura media mínima y máxima mensual - años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

Respecto a las precipitaciones se observa una variación interanual importante, registrándose los mayores valores de precipitación acumulada para el año 2017. En este año se aprecia que el mayor registro de agua caída se da durante los meses de junio, agosto y octubre con valores de 276, 314 y 203 mm de agua respectivamente. Para el año 2018 se observa que la ocurrencia de precipitaciones fue más homogénea durante el año obteniéndose precipitaciones máximas mensuales durante el mes de marzo, junio y agosto. Mientras que para el año 2019 se observa que a partir de mes de marzo hubo un incremento sostenido hasta el mes de julio a partir de donde comienza a disminuirse considerablemente el registro de precipitaciones en la zona.

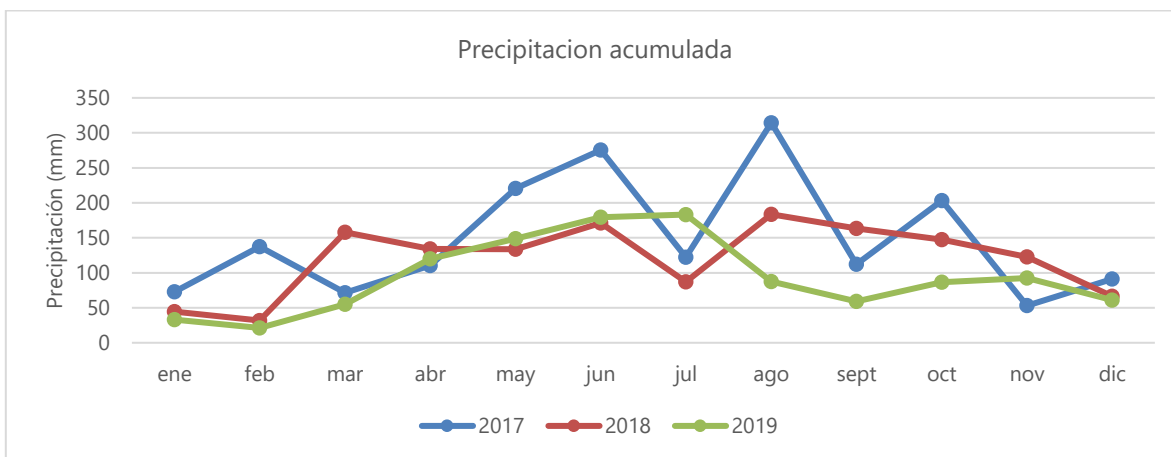


Figura 15. Precipitación acumulada mensual (mm) - años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

Respecto a la variable velocidad del viento, se registran los promedios mensuales para cada año evaluado. Los valores fluctúan entre 2,1 y 4,7 m/s, observándose alta variación entre los años. Para el año 2017 y 2019 los valores máximos de velocidad se encuentran para los meses de agosto y julio respectivamente, mientras que para el año 2018, el máximo se registra durante el mes de enero y agosto con 3,9 m/s para ambos meses.

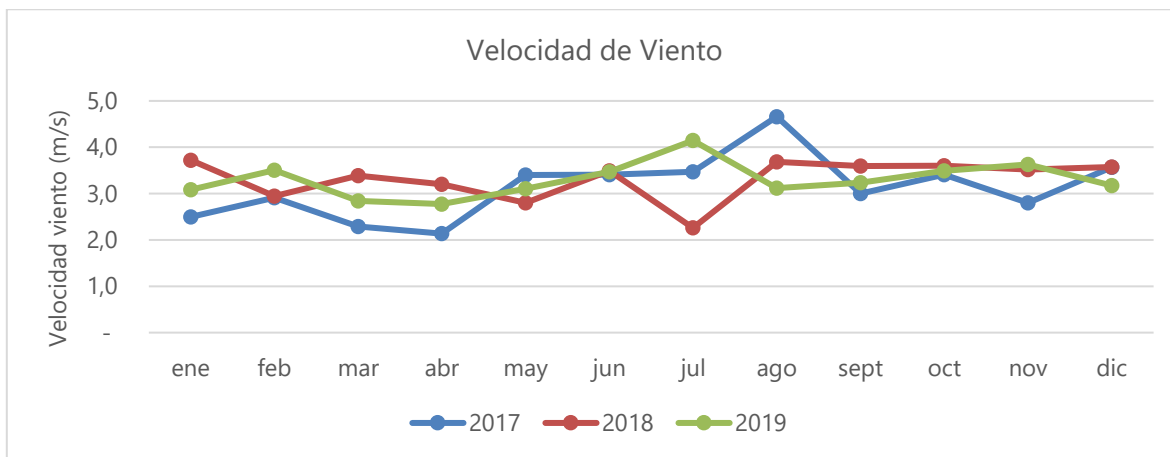


Figura 16. Velocidad del viento promedio mensual (m/s) - años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

En relación a la humedad relativa, se aprecia una escasa variación interanual, observándose una clara tendencia a valores mayores entre los meses de abril a septiembre, con valores máximos mensuales registrados en junio de cada año.

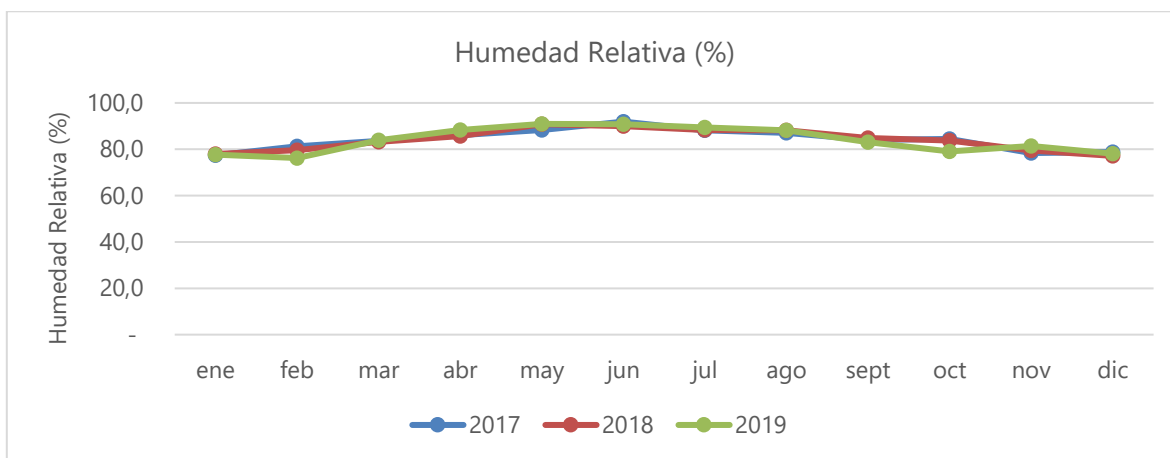


Figura 17. Humedad relativa promedio mensual (%) - años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.4.3 Ciclos diarios

A continuación, en la Figura 18 se presentan los perfiles horarios para las variables meteorológicas temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, representando el promedio horario de los datos de la estación para los años 2017 a 2019. Para el caso de la variable dirección del viento se indica el porcentaje de la dirección observada. En este caso se usan intervalos de 20° para calcular los porcentajes. Dada la baja variabilidad interanual, el análisis se realiza solo para el año 2019 que servirá de referencia para observar la tendencia.

Del análisis de perfil horario, se puede apreciar que existe una escasa variación interanual para las variables en estudio. En el caso de la temperatura se observa que los valores promedio horario fluctúan entre un mínimo de 6,9°C y un máximo 13,8 °C para las 06:00 y 16:00 horas respectivamente. El perfil da cuenta de que luego del mínimo registrado a las 06:00 horas, la temperatura se incrementa gradualmente hasta alcanzar valores máximos a las 16:00 horas, a partir de donde comienza a reducirse hasta alcanzar el mínimo en horas de madrugada.

Respecto a la variable velocidad del viento se observa un comportamiento similar entre los 3 años evaluados. En general, se observa que la velocidad mínima como promedio horario anual se registra entre las 01:00 y 07:00 horas con un valor de 2,3 m/s. A partir de este horario la velocidad aumenta de manera gradual hasta valores máximos en torno a las 14:00 y 16:00 horas según año de evaluación, con valores entre 4,7 y 4,8 m/s. Luego de este horario descienden los valores de velocidad de viento, registrándose promedios bajo los 3,0 m/s a partir de las 21:00 horas.

Del análisis de la variable humedad relativa se observa un comportamiento con escasa variación entre los 3 años de estudio. Como promedios horarios se observa que los mínimos valores se dan a las 15:00 horas, a partir de este horario el promedio de humedad relativa comienza a aumentar hasta las 00:00 horas en donde alcanza un valor de 90%, durante la madrugada entre las 01:00 y 07:00 horas se observan valores que fluctúan entre 92% y 94%.

Respecto a la dirección del viento, se observa en el periodo entre las 01:00 y 12:00 horas predomina la procedencia del viento desde la componente nor noreste principalmente (0° - 20°). Entre las 13:00 y 19:00 horas se observa variabilidad de la procedencia del viento. En horario nocturno, entre las 20:00 y 00:00 horas predominan vientos desde la dirección 20° y 240° correspondientes a componentes nornoreste y oeste suroeste.

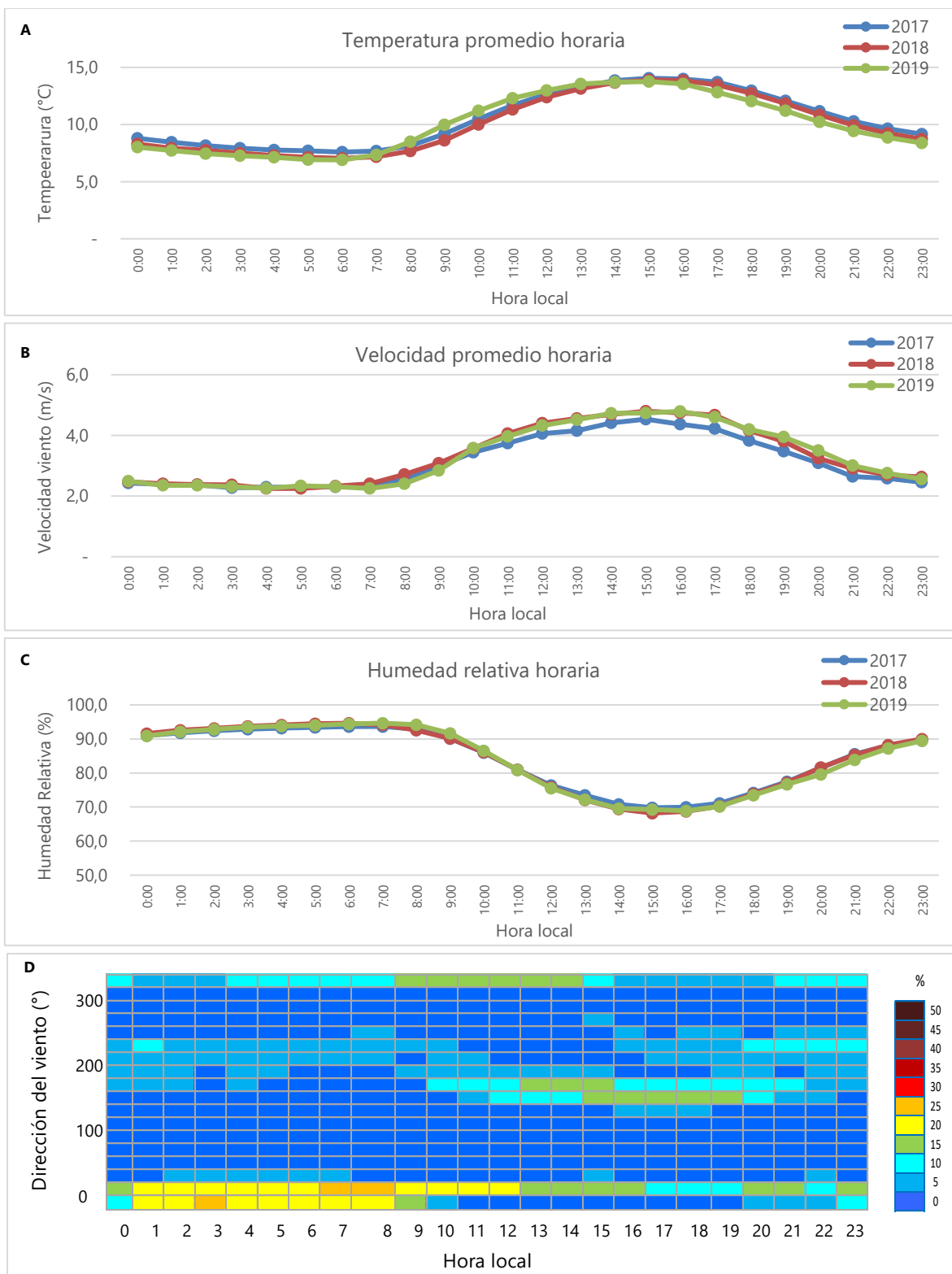


Figura 18. Ciclos diarios de variables meteorológicas (A: Temperatura; B: Velocidad Viento, C: Humedad Relativa; D: Dirección Viento) - años 2017-2019

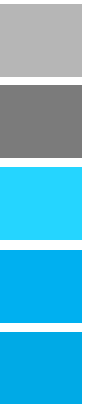
Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.4.4 Ciclos estacionales

A continuación, se presenta la variación estacional de los ciclos diarios de las variables meteorológicas temperatura, velocidad y dirección del viento y humedad relativa.

La variación estacional del ciclo diario de la temperatura muestra la variación mensual y horaria de esta variable. Encontrándose que las mayores temperaturas se registran entre los meses de noviembre a marzo, entre las 12:00 y las 18:00 horas. De manera opuesta, las menores temperaturas se registran para los meses entre abril y septiembre, entre las 19:00 y 08:00 horas. Situación similar se observa también con la variable humedad relativa, pero en relación inversa a la temperatura.

Respecto a la velocidad del viento, es posible establecer que existe mayor diferencia horaria que estacional en este variable, lo que indica que durante todos los meses del año se producen vientos fuertes en horario diurno (sobre 4 m/s). De esta manera, se observa que las mayores velocidades de viento ocurren entre las 16:00 y las 18:00 horas, para los meses de enero a marzo. Luego, en horario nocturno entre las 20:00 y 23:00 horas, para los meses entre mayo y agosto se observan velocidades promedio entre los 3 y 4 m/s, mientras que, en horario de madrugada, es decir entre las 00:00 y las 07:00 se pueda apreciar que las velocidades bajan a niveles inferiores a 2,2 m/s para los meses de agosto a octubre y entre diciembre a abril. En este horario se registran velocidades mayores para los meses de mayo a julio, pero siempre bajo los 4 m/s.



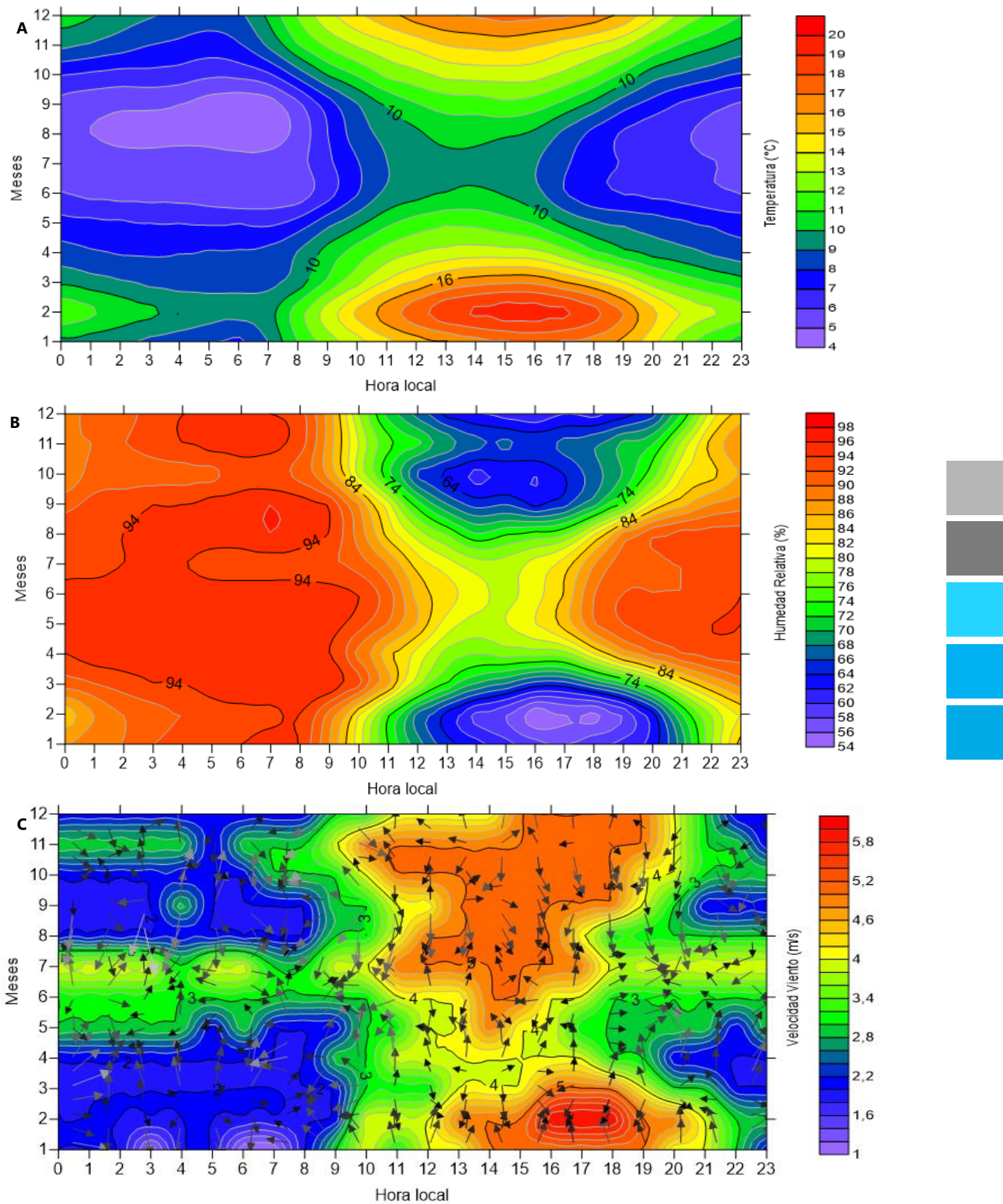


Figura 19. Variación estacional del ciclo diario de variables meteorológicas (A: Temperatura; B: Humedad Relativa; C: Velocidad y Dirección del Viento) - años 2017-2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.4.5 Ciclos estacionales de datos en altura

A continuación, se presenta el ciclo estacional del perfil vertical de las variables temperatura y velocidad del viento, obtenido a partir de los datos de la radiosonda de Puerto Montt. Este radiosondeo se realiza una vez al día a las 12:00 UTC (8:00 A.M. hora local), por lo tanto, su información es representativa únicamente para el periodo diurno.

La variación estacional de los datos de altura de la variable temperatura, presentada en la Figura 20, da cuenta de una tendencia homogénea, a lo largo de cada nivel de altura sobre los 3000 m, durante el año. Se observa que los 15°C se alcanzan hasta los 2.000 m de altura durante los meses de enero y febrero. Mientras que los 0° se alcanzan a la altura cercana a los 5000 m. Durante los meses de invierno (entre mayo y agosto) se evidencia una marcada inversión térmica entre los 100 y 500 metros de altura, lo que propiciará la generación de bajas temperaturas a nivel superficial y una baja dispersión producto de la masa de aire superior (entre 500 y 1000 m) de mayor temperatura generando un estancamiento en esa zona. También se observa este fenómeno en octubre, pero en menor escala.

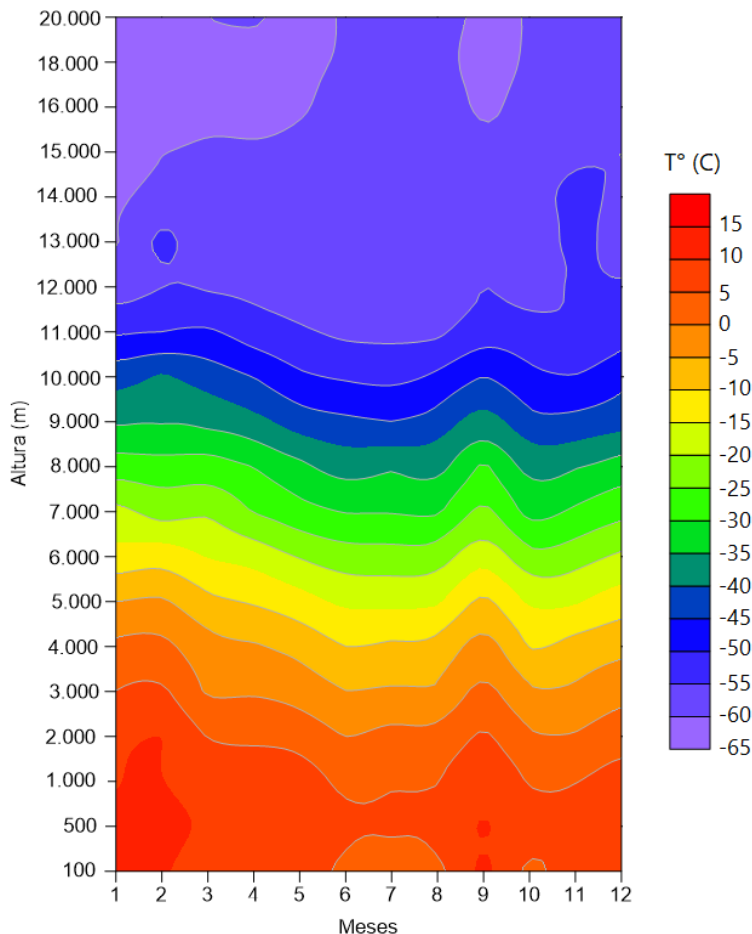


Figura 20. Variación estacional del perfil vertical de temperatura

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la radiosonda de Puerto Montt

La variación estacional de los datos de altura de la variable presión atmosférica se presenta en la Figura 21. Se observa que, durante los meses de junio y agosto se registran mayores niveles de presión atmosférica en superficie, bajo los 300 m. Esto sumado a la inversión térmica descrita en el gráfico anterior propicia las condiciones ideales para que exista baja dispersión y por lo tanto se generen episodios de contaminación.

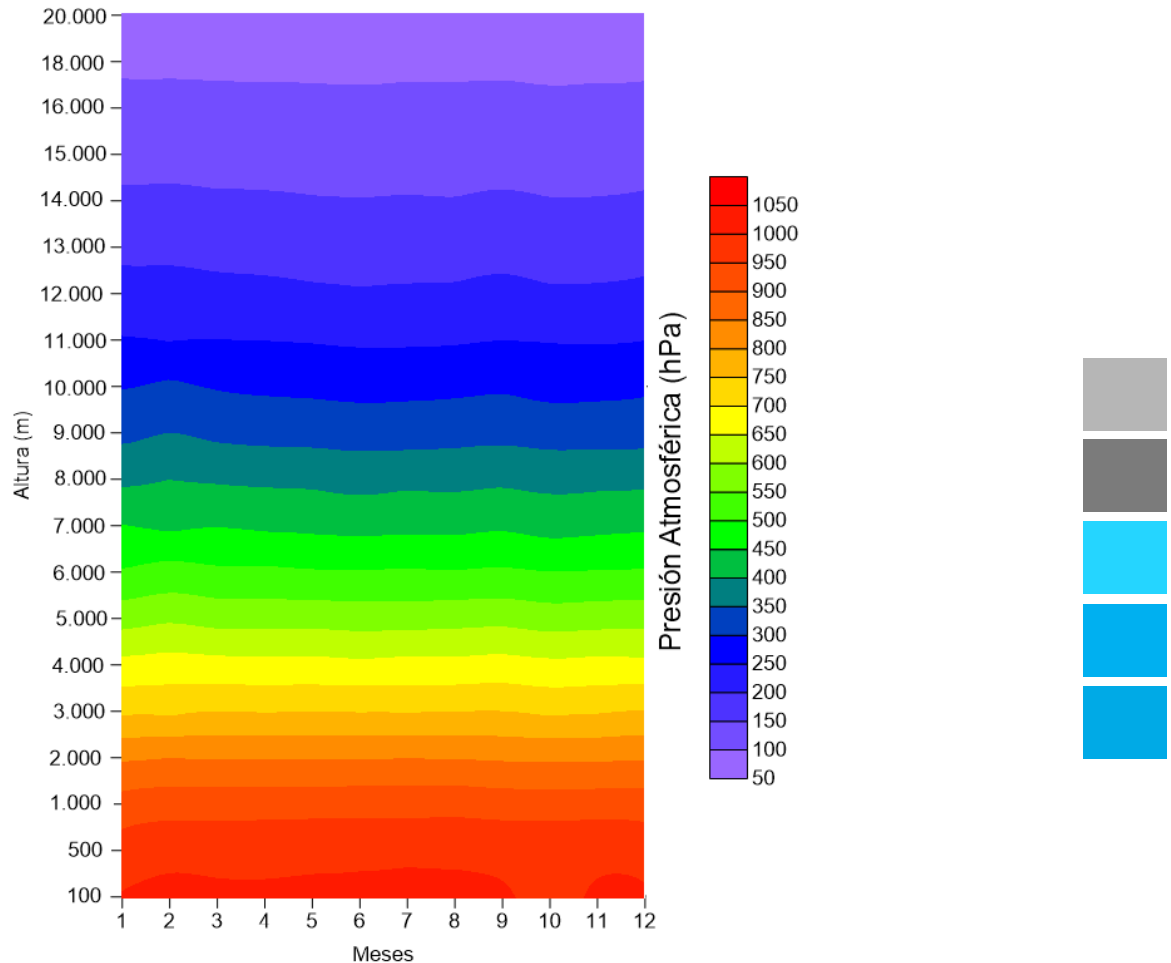


Figura 21. Variación estacional del perfil vertical de presión atmosférica

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la radiosonda de Puerto Montt

La variación de los datos de altura a lo largo de los meses, para la variable velocidad del viento, se presenta en la Figura 22. Se observa que se alcanzan velocidades de hasta 6 m/s hasta los 500 m de altura como promedio. Durante todos los meses del año es posible encontrar vientos de esta magnitud en el área de estudio.

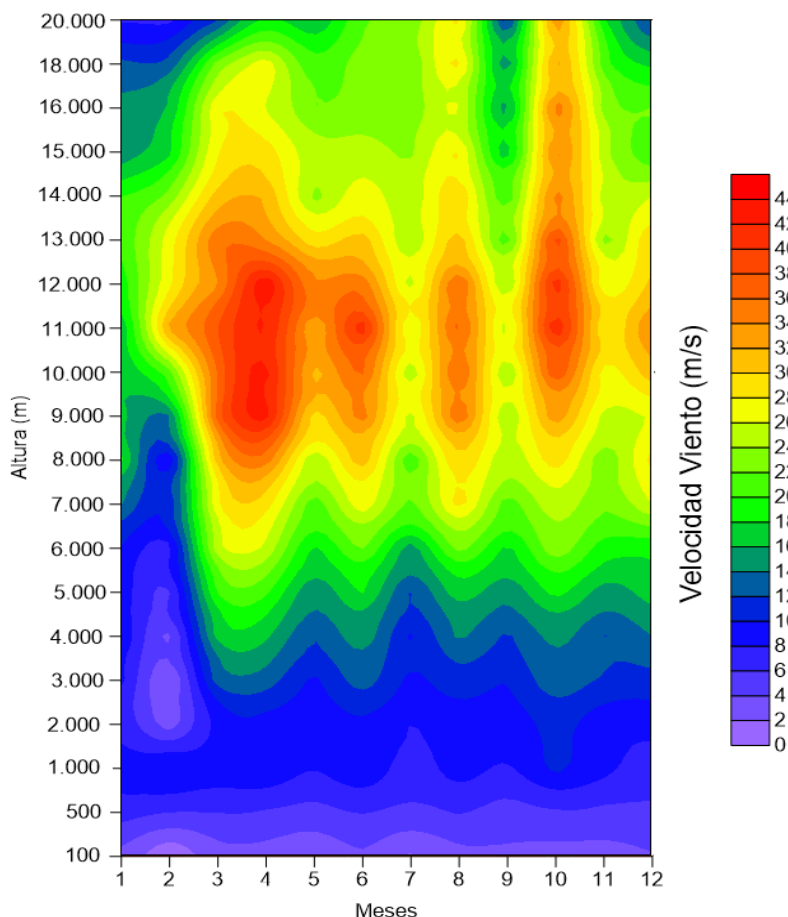


Figura 22. Variación estacional del perfil vertical de velocidad del viento
Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la radiosonda de Puerto Montt

3.4.6 Rosa de los vientos

En los gráficos siguientes (Figura 23 y Figura 24) se presenta la rosa de los vientos en un análisis estacional (verano, otoño, invierno y verano), y en la Figura 25, se observa un análisis en periodo diurno (08:00-19:00) y nocturno (20:00-07:00). Los datos analizados corresponden a los registrados por la estación El Tepual, para el año 2019, considerando la opción de "blowing from", es decir que el vector sopla desde el origen hacia la estación. Las gráficas indican el porcentaje de frecuencia en que el viento sopla en diferentes direcciones y la magnitud de la velocidad.

Los registros de las rosas de los vientos estacionales muestran que para la estación de verano la dirección de máxima frecuencia corresponde a vientos procedentes desde el sur, y sursureste explicando en conjunto el 30,7% del total, con velocidades que predominan entre los 3,6 y 5,7 m/s. El vector resultante presenta una componente suroeste como dirección promedio para la estación de verano y se estima una velocidad promedio de 3,5 m/s con un 9,4% de frecuencia de vientos en calma (< 0,5 m/s).

Para la estación de otoño, es posible observar vientos que provienen preferentemente desde el norte y nor noreste explicando un 31% de la frecuencia total, con velocidades principalmente entre 3,6 y 8,8 m/s. El vector resultante para la estación de otoño presenta una componente norte como dirección promedio y se estima una velocidad promedio de 3,4 m/s con un 13,5% de frecuencia de vientos en calma.

Luego, para la estación de invierno se observa una condición similar a la descrita para la estación otoñal, con una componente de viento predominante desde el norte y nor noreste, sumando en su conjunto un 43% del total de frecuencias. Las velocidades varían entre 3,6 y 8,8 m/s. La componente del vector resultante es norte, con una velocidad promedio de 3,9 m/s y con un porcentaje de vientos en calma de 9,7%.

Para la estación de primavera, se diversifica el origen de los vientos, predominando vientos desde la dirección norte (17% de frecuencia) y desde la dirección sur (14% de frecuencia) y otros en menor frecuencia desde el nor noreste (8%), con velocidades que van entre 3,6 y 8,8 m/s. Esta diversidad de orígenes expresa un vector con componente oeste, con una velocidad promedio de 3,87 m/s y un porcentaje de calmas de 5,3%.

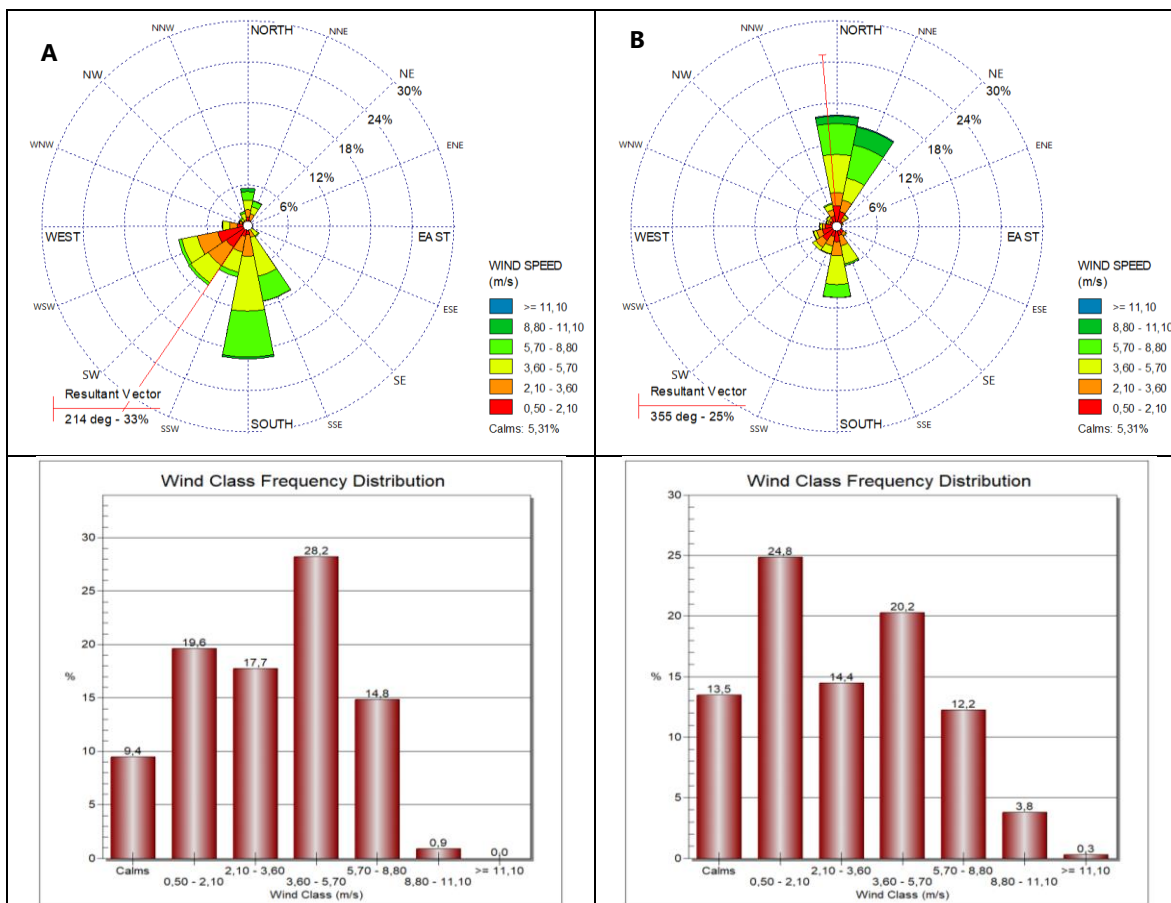


Figura 23. Rosas de los vientos estacionales (A: Verano – B: Otoño)
Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

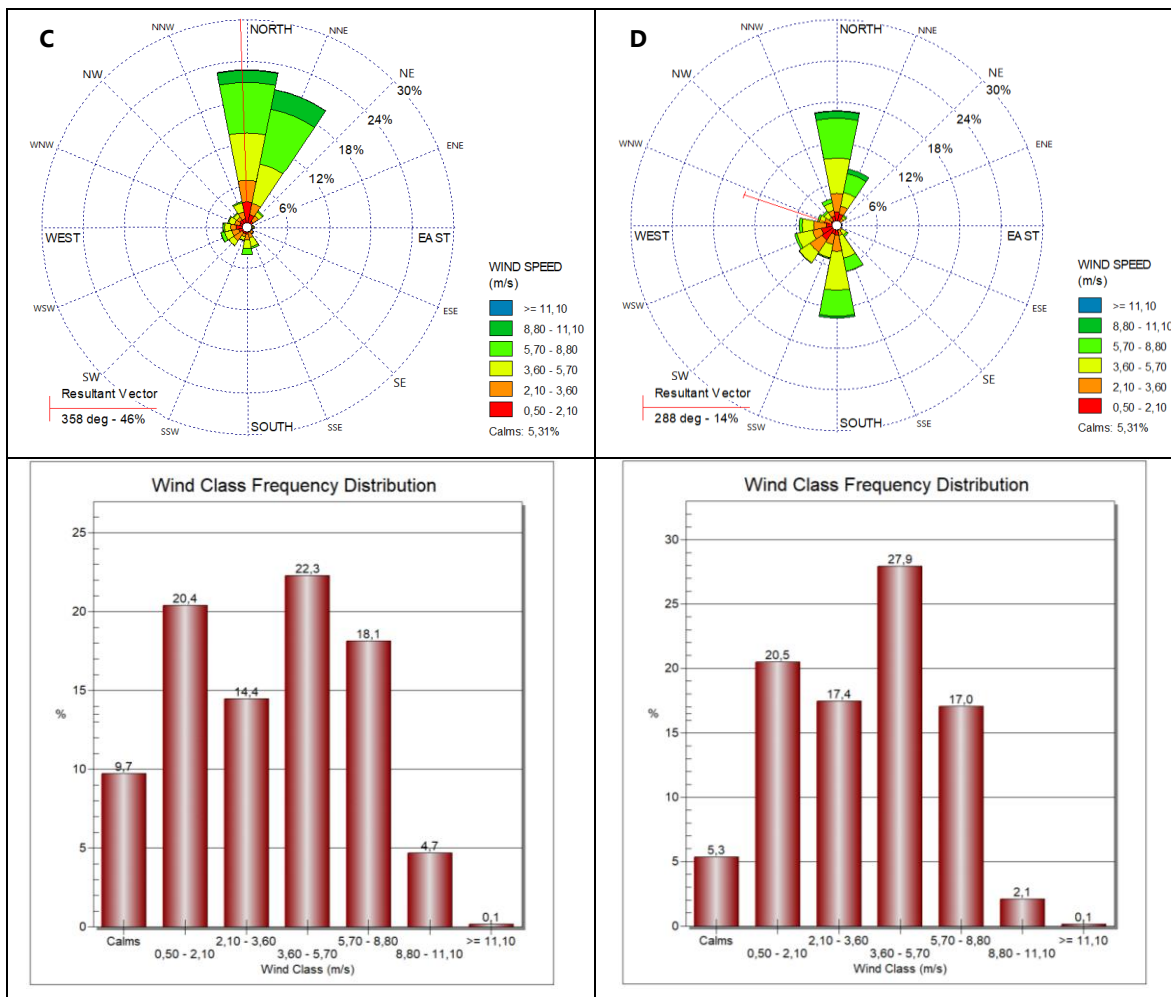


Figura 24. Rosas de los vientos estacionales (C: Invierno – D: Primavera)

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

Para la rosa de los vientos del periodo diurno (08:00 a 19:00 horas) se observa que los vientos provienen con mayor frecuencia desde el norte (17%) y desde el sur (15%), también desde el nor noreste y sur sureste (11% ambas direcciones), en su conjunto suman el 54% de la frecuencia total, con velocidades más frecuentes entre 3,6 y 8,8 m/s. El vector resultante sopla desde oeste noroeste con velocidad promedio de 4,4 m/s con solo un 3,9% de frecuencia de vientos en calma.

Para el periodo nocturno (20:00 a 07:00 horas) la dirección del viento cambia, prevaleciendo su procedencia desde el norte y nor noreste y en tercer lugar desde el sur, lo que en suma representan el 35% del total de las frecuencias. La componente del vector resultante para este horario posee dirección nor noroeste. La velocidad promedio registrada durante el periodo nocturno es menor que en horario diurno, alcanzando los 2,91 m/s y con un periodo de vientos en calma mucho mayor de 15,1%.

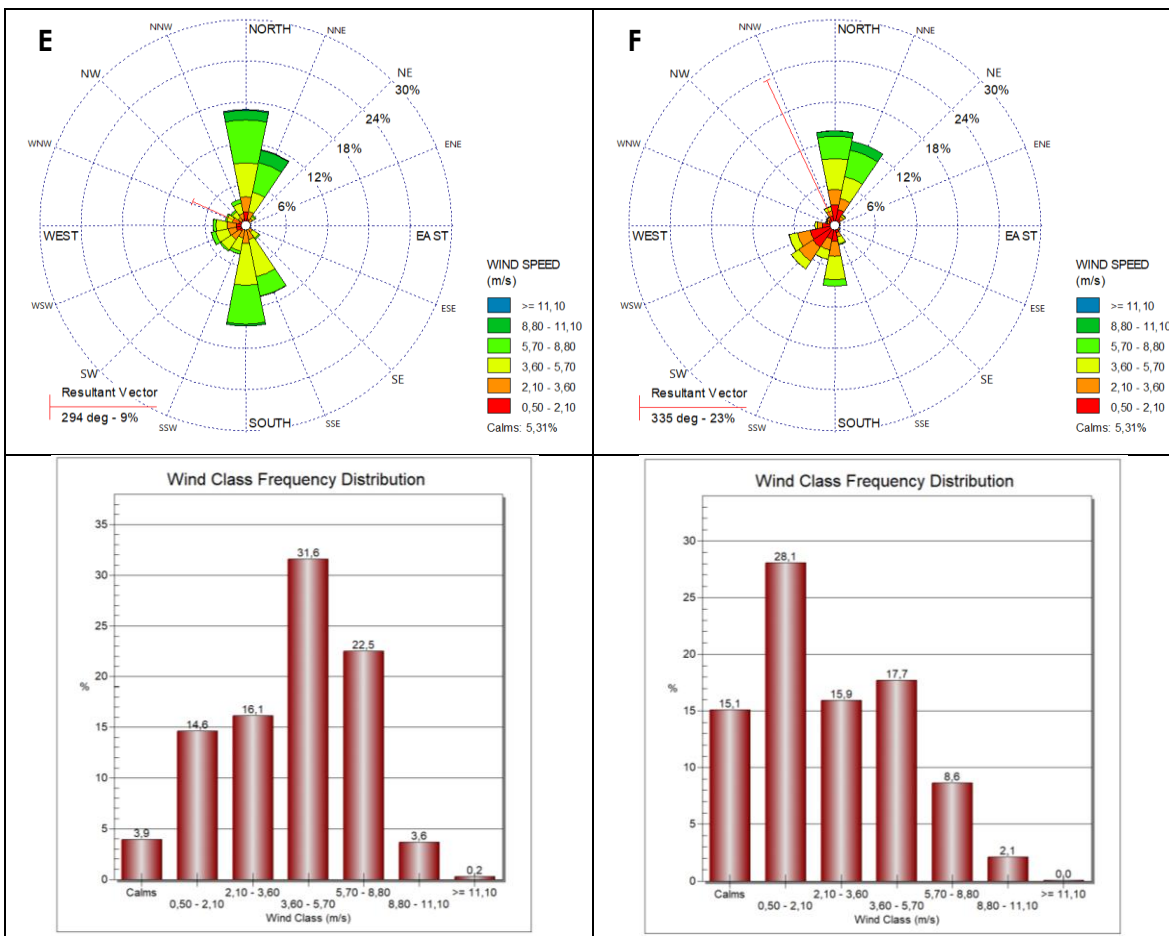


Figura 25. Rosas de los vientos ciclos diarios (E: 08:00-19:00 – F: 20:00-07:00)

Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.5 CORRELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CALIDAD DEL AIRE

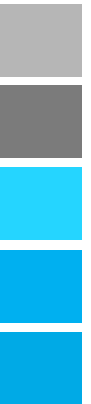
Las gráficas presentadas en la Figura 26 muestran algunas relaciones de las variables meteorológicas observadas en la estación El Tepual y las concentraciones de MP_{2,5} durante el año 2019, tomando como referencia la Estación Mirasol de Puerto Montt. El eje horizontal corresponde a una variable meteorológica, el eje vertical corresponde a la concentración promedio de 24 horas para MP_{2,5}.

El caso A presenta la relación entre el promedio de 24 horas de MP_{2,5} y la variable temperatura mínima diaria registrada. Se observa una relación inversa entre la concentración de MP_{2,5} y la temperatura mínima diaria, ocurriendo que a temperaturas bajo los 5 °C aumenta el número de días en que se supera los 50 µg/m³ de MP_{2,5}. Bajo los 0° C se incrementa aún más la cantidad de días con superación del límite de la norma diaria.

El gráfico presentado en la figura B muestra la relación entre el promedio de 24 horas de MP_{2,5} y la variable precipitación acumulada de 24 horas, observándose relación inversa entre ambas. Se aprecia que las mayores concentraciones se registraron en días sin precipitación, aunque también se obtienen días de superación de norma, pero en general con días bajo los 10 mm de agua caída.

El caso C muestra la relación entre el promedio de 24 horas de MP_{2,5} y la variable velocidad promedio del viento, con una relación inversa entre ellas. Con valores medios diarios de velocidad del viento superior a 5 m/s no se espera que ocurran episodios. De manera contraria, a velocidades del viento bajo los 2 m/s se aumentan considerablemente las concentraciones de MP_{2,5} registrándose la mayor cantidad de superaciones de norma.

La Figura D, presenta la relación entre el promedio de 24 horas de MP_{2,5} y la variable velocidad del viento, pero en términos del porcentaje de días con vientos bajos. Para esto se consideró el promedio de velocidad horaria y se determinó cuántas horas del día se registraron vientos bajo los 1,5 m/s, obteniéndose un porcentaje diario de vientos bajos. De esta manera, se observó una relación proporcional entre ambas variables, apreciándose que con días en que la mayor parte de los vientos se encuentran bajo los 1,5 m/s se registrarán mayores concentraciones de MP_{2,5}, sobre todo a partir de días con el 50% de vientos horarios bajos.



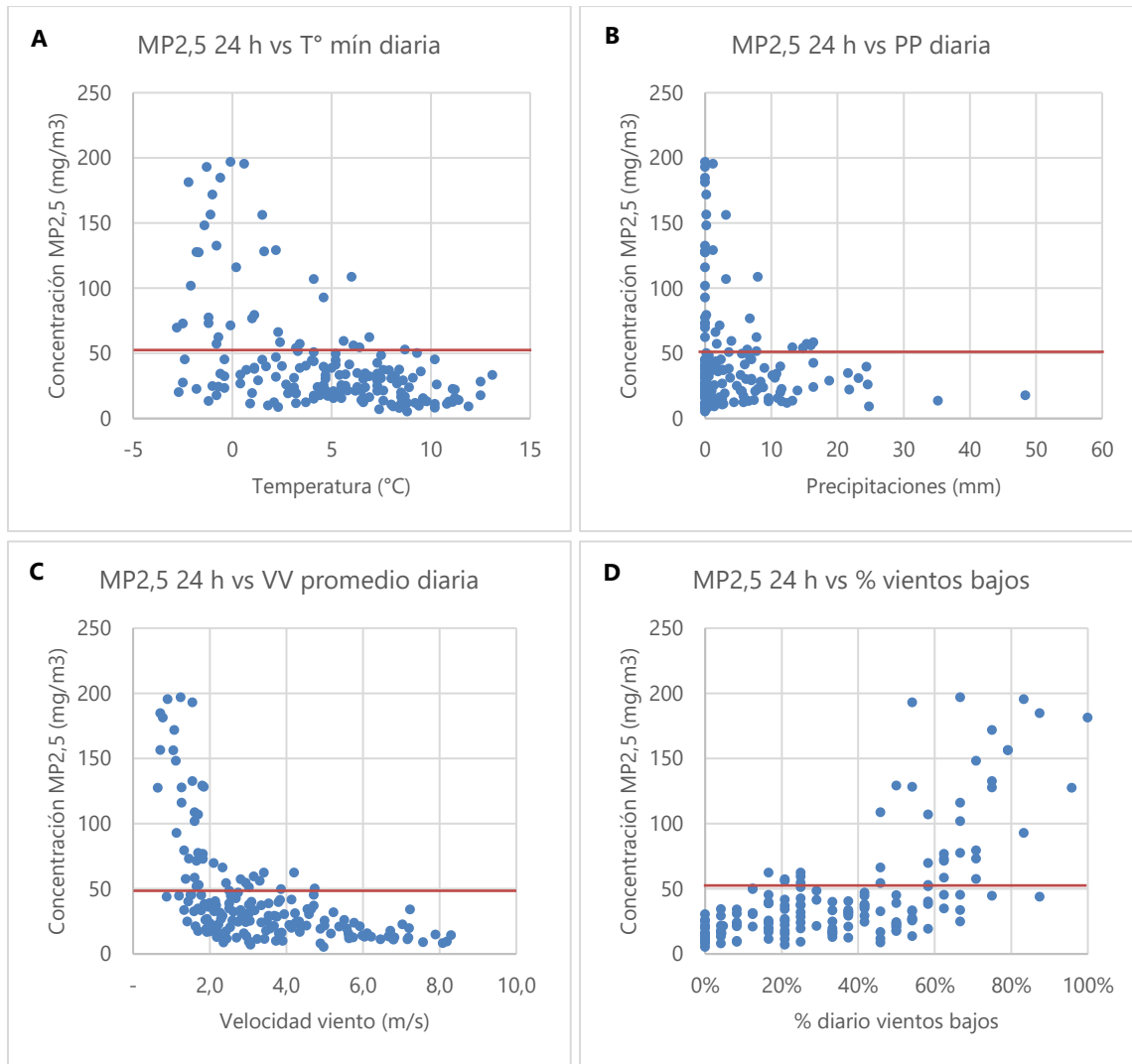


Figura 26. Correlación de variables meteorológicas y de calidad del aire
 Fuente: Elaboración propia a partir de la data de la estación El Tepual de Puerto Montt

3.6 ANÁLISIS DE MODELACIÓN

El análisis de modelación se ha dividido en tres partes, con el fin de establecer las variables que fundamentan la definición de un área susceptible de presentar condiciones de ventilación deficientes, en el contexto de las emisiones de material particulado de las comunas en estudio, permitiendo abarcar extensas porciones de territorio, complementando las mediciones continuas de las estaciones meteorológicas y de calidad del aire.

1. Análisis de las variables meteorológicas que describen un episodio de contaminación y su variación espacio-temporal.
2. Análisis de trayectorias de viento que describen las áreas contribuyentes a las concentraciones de MP2.5, en las estaciones de calidad del aire del área de estudio.
3. Análisis de dispersión de contaminantes, que permite definir el destino y transporte de la pluma contaminante originada en el área de estudio.

3.6.1 Análisis de Modelación Meteorológica

Para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la región, se utilizaron las salidas de modelación retrospectivas del modelo GFS (*Global Forecasting System*), con una resolución de grilla de 0,25° e integración cada 6 horas. La data específica utilizada correspondió a los archivos históricos del repositorio de NCAR (ds.084.1).

Debido a la envergadura de los archivos, se desarrolló una selección de algunos días con episodio de contaminación registrados en el año 2019, según datos medidos en la estación Alerce de Puerto Montt, por representar un punto intermedio entre ambas comunas en estudio. Se consideró una configuración previa, durante y posterior a la ocurrencia de los eventos de superación de norma. De esta manera fue posible caracterizar las condiciones que propician una condición de saturación y las áreas geográficas que se verán expuestas a malas condiciones de ventilación. De este modo el análisis incluye tres variables meteorológicas fundamentales: temperatura, velocidad y dirección del viento y factor de ventilación en la capa límite planetaria (PBL por sus siglas en inglés).

Tabla 7. Descripción de episodios de contaminación para modelación

Episodio	Fecha Inicio	Fecha término
1	15 de junio de 2019	17 junio de 2019
2	4 de julio de 2019	6 de julio de 2019
3	23 de julio de 2019	25 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.1 Descripción perfil horario de episodios de contaminación seleccionados

La Figura 27 muestra los ciclos horarios de los episodios de contaminación por MP2.5, fijando 3 días para favorecer la identificación de las fluctuaciones de ventilación en el área de estudio.

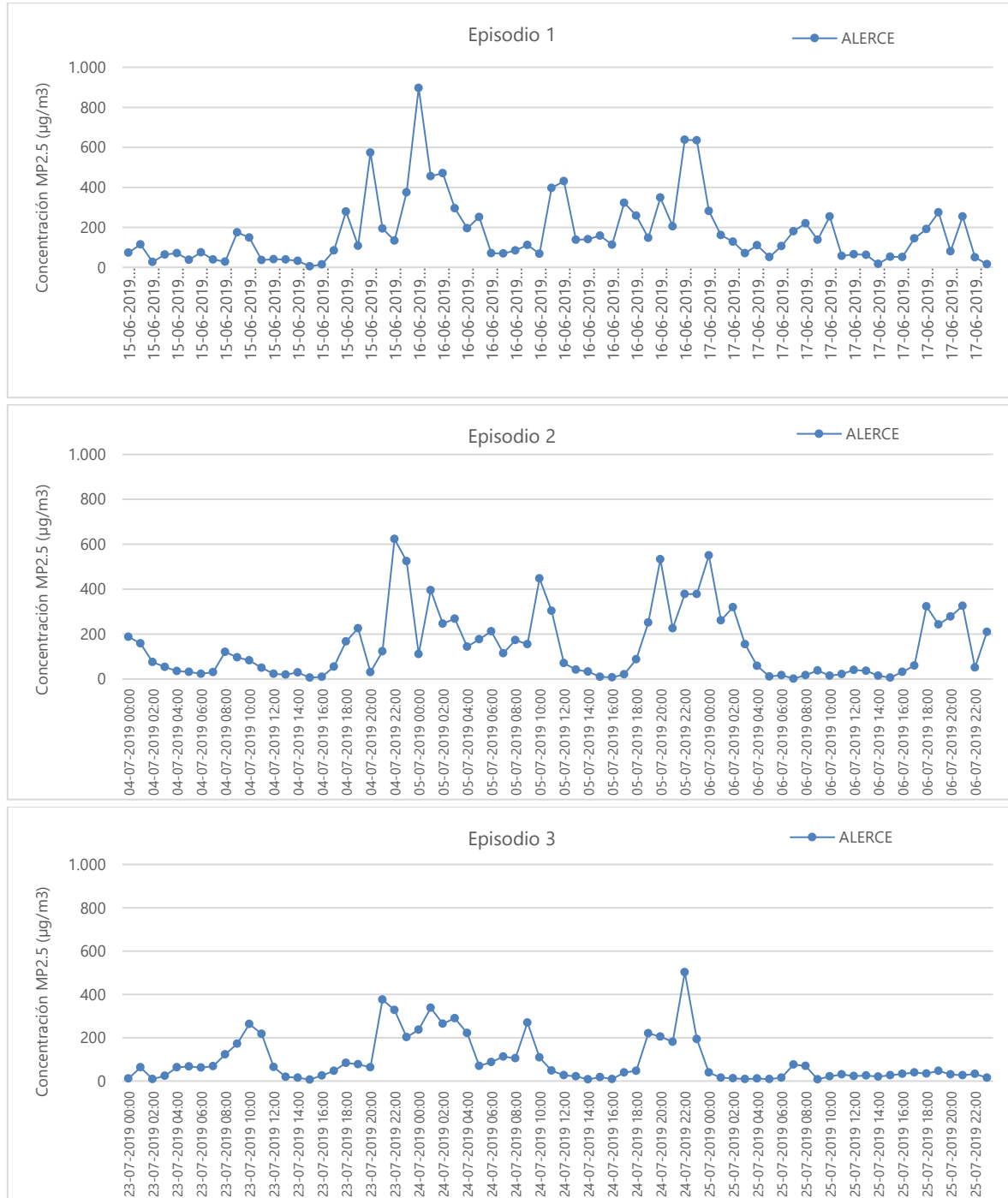


Figura 27. Perfil horario según episodio

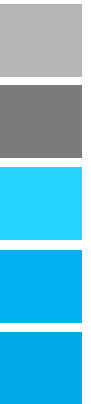
Fuente: Elaboración propia

3.6.1.2 Análisis de Perfiles de Temperatura

Una de las variables relevantes asociadas a las condiciones que propician la contaminación por MP2.5 en el centro sur de Chile, corresponde a la temperatura, que, por una parte, define un estado de estabilidad atmosférica en el contexto estacional y por otra, representa el principal desencadenante de la necesidad de calefacción de la población. Una temperatura promedio baja, condiciona, en conjunto con otras variables, a la generación de episodios de contaminación. En este contexto la Figura 28 muestra la progresión del episodio de contaminación, representado a través de la temperatura a 2 metros de altura. En un principio ésta se presenta homogénea en función de la escala de coloración (-5 a 15°C) con una predominancia de colores cálidos, luego a medida que transcurre el día, las temperaturas bajan, hasta situarse bajo los 5°C, diferenciándose de manera evidente la zona del mar (golfo y mar chileno) Cordillera de los Andes y zona intermedia, es posible apreciar que ambas comunas en estudio y áreas circundantes presentan condiciones de temperatura muy similares, existiendo temperaturas levemente superiores en la zona costera de la comuna de Puerto Montt el día 16 en periodo diurno. El día 17 de julio cuando la concentración de MP2.5 disminuye, se vuelve a una condición de temperatura similar a la del día 15.

El caso del episodio 2 (ver Figura 29), se aprecian temperaturas superiores a los 5°C, disminuyendo a medida que avanza el episodio de contaminación, para luego el día 5 de julio presentar una condición similar a la del día anterior, lo que es concordante con la disminución en la concentración de MP2.5. El día 6 cuando vuelven a aumentar las concentraciones, se ve toda la zona de estudio con temperaturas bordeando los 0°C. Es importante notar que al igual que el episodio anterior no existen diferencias significativas en las temperaturas de ambas comunas.

Finalmente el episodio 3, representado en la Figura 30 da cuenta de condiciones similares, con leves diferencias en la temperatura entre las comunas, en algunas horas, lo que puede estar asociado al área del lago Llanquihue, viéndose además una tendencia al avance de las temperaturas bajas desde la cordillera hacia la zona del centro a medida que avanza el episodio de contaminación, situación también observada en el episodio 1 y 2. Es evidente además que en este caso no existen temperaturas poco variables cuando hay mayores concentraciones.



EPISODIO 1

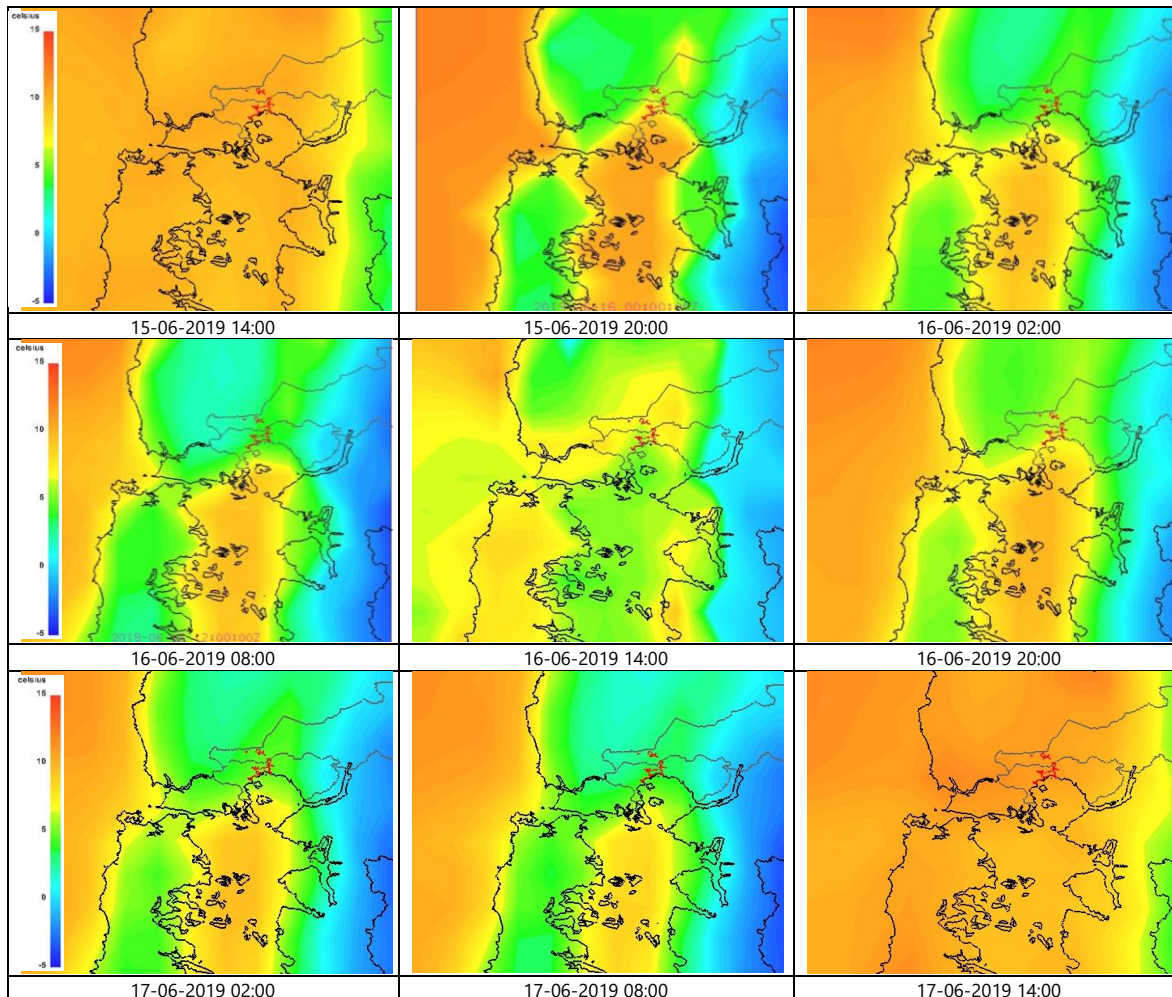


Figura 28. Perfiles de temperatura Episodio 1

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 2

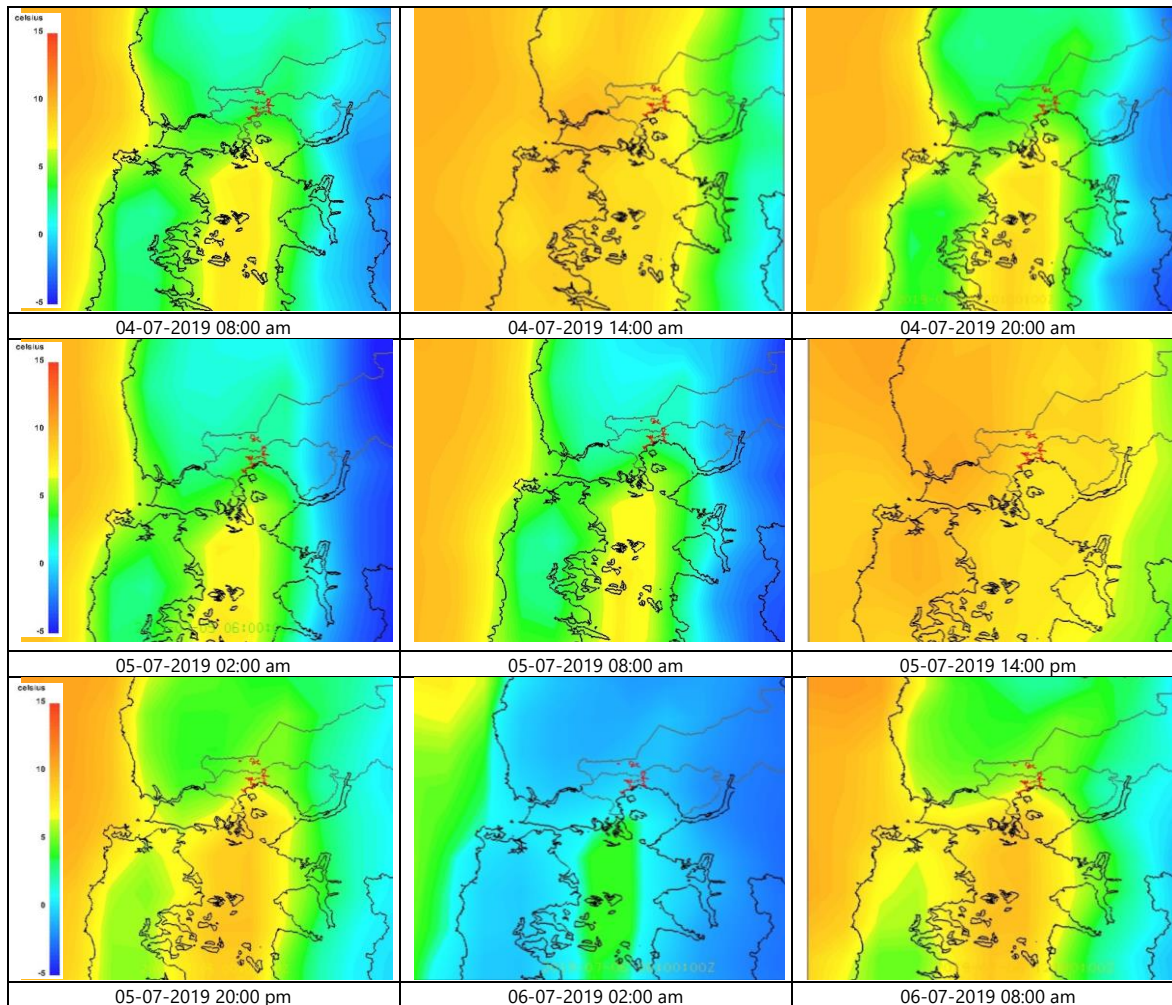


Figura 29. Perfiles de temperatura Episodio 2

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 3

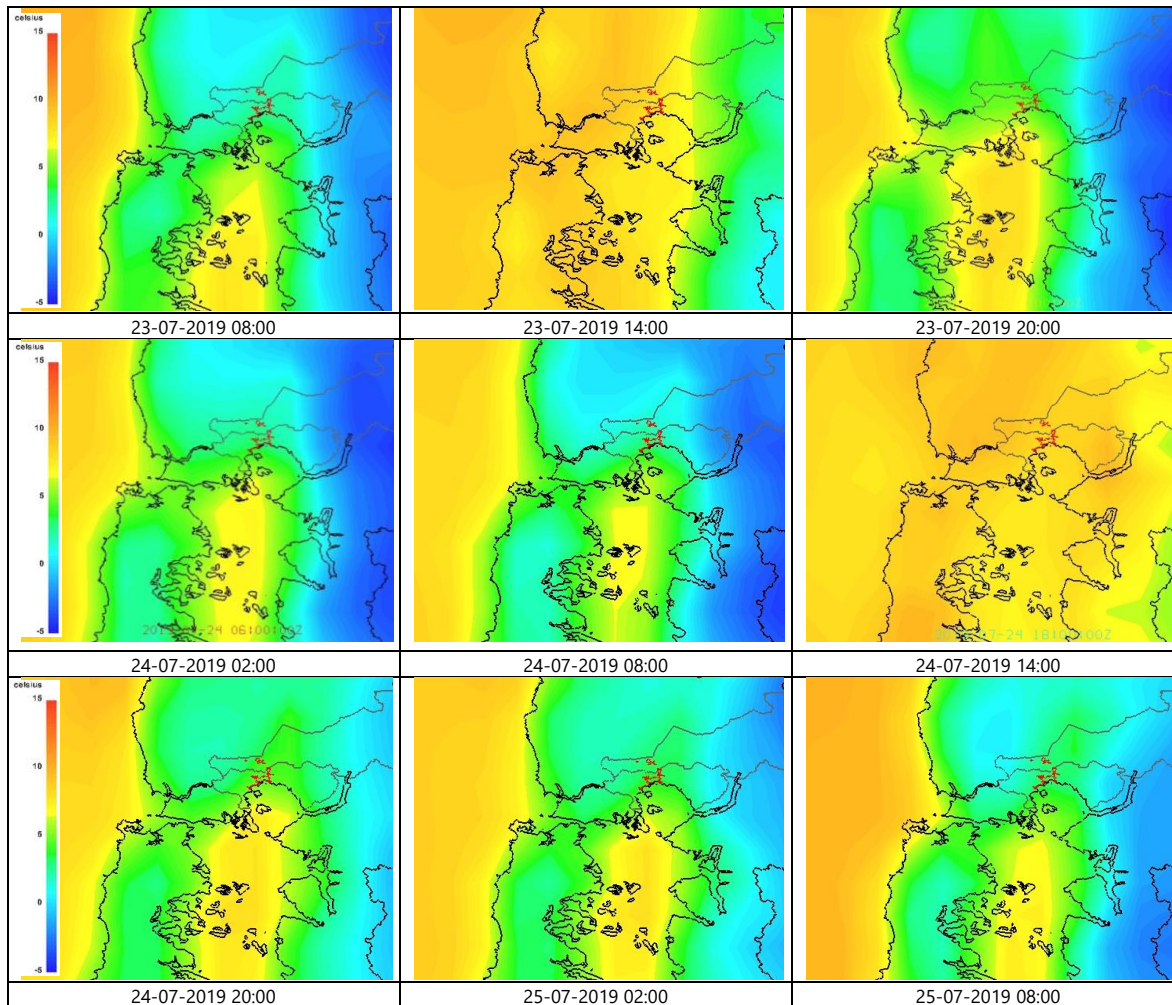


Figura 30. Perfiles de temperatura Episodio 3

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

3.6.1.3 Análisis de Perfiles de Viento

La variable velocidad y dirección del viento, que será presentada en los episodios a continuación, tiene una de las incidencias más importantes sobre el movimiento de las masas de aire, que repercuten en las condiciones de ventilación de una cuenca, pudiendo en función de la magnitud de la variable, incidir en el aumento de concentración de un contaminante o el arrastre de éste, a otra zona según la orientación del vector del viento.

De manera general se evidencia en la Figura 31, que las malas condiciones de ventilación surgen cuando la velocidad del viento tiende a bajar de los 2 m/s, representado en un color azul oscuro en la escala de viento (0 a 7 m/s) lo que supone una leve diferencia entre la condición previa al episodio (15 de junio a las 14:00 pm.) queda de manifiesto además, que a medida que avanza el episodio de contaminación, la velocidad tiende a disminuir incluso en la zona costera respecto del día inicial presentado. Si bien tanto la comuna de Puerto Montt, como la de Puerto Varas presentan magnitudes de viento similares, es evidente que el área costera posee valores levemente superiores, condición que, sumada a la dirección del vector en el primer día de episodio, puede contribuir a aumentar la concentración en la zona urbana de Puerto Varas y a los alrededores.

El episodio 2, presentado en la Figura 32, explica, a través de las variables velocidad y dirección del viento, las altas concentraciones en la zona, donde existe una prevalencia de vientos en calma en gran parte del periodo presentado, habiendo una ventana el día 5 en el periodo de la tarde, volviendo a presentarse malas condiciones de ventilación hacia la noche, para cambiar radicalmente el día 6 en la mañana. En este episodio no se puede evidenciar un aumento en la dispersión en la zona de la costa de la comuna de Puerto Montt, salvo hacia el día 6, habiendo una marcada similitud en las magnitudes del viento en ambas comunas, que además presentan una tendencia a ventilar con dirección nor-oeste, pudiendo existir un arrastre de contaminantes desde las zonas pobladas de Puerto Montt, hacia Puerto Varas y la costa litoral. Además, es levemente plausible en este episodio, que existe una injerencia del lago Llanquihue, sobre la magnitud del viento, aunque su efecto no es posible de definir en función de la resolución de la modelación.

El episodio 3, (Figura 33) desde el inicio marca una tendencia, presentando en casi todo el periodo un origen sur para el vector, que favorecerá el transporte de contaminantes hacia el nor-oeste. Este episodio en particular presenta una condición desfavorable al inicio, que se traduce en bajas velocidades de viento para el día 23 a las 8 de la mañana, para cambiar drásticamente al aumentar el viento en el horario de la tarde (14:00 pm.) Este episodio de contaminación en particular contrasta con los demás presentados al tener magnitudes de viento superiores, que por una parte dan cuenta de la disminución de la concentración y por otra parte de la posibilidad de transporte de partículas hacia la zona norte. También al igual que en el caso del episodio 2, existe una influencia del lago en las zonas aledañas, que podría

favorecer a descomprimir levemente la cuenca, aunque su efecto será evidente únicamente a una mayor resolución de grilla.

EPISODIO 1

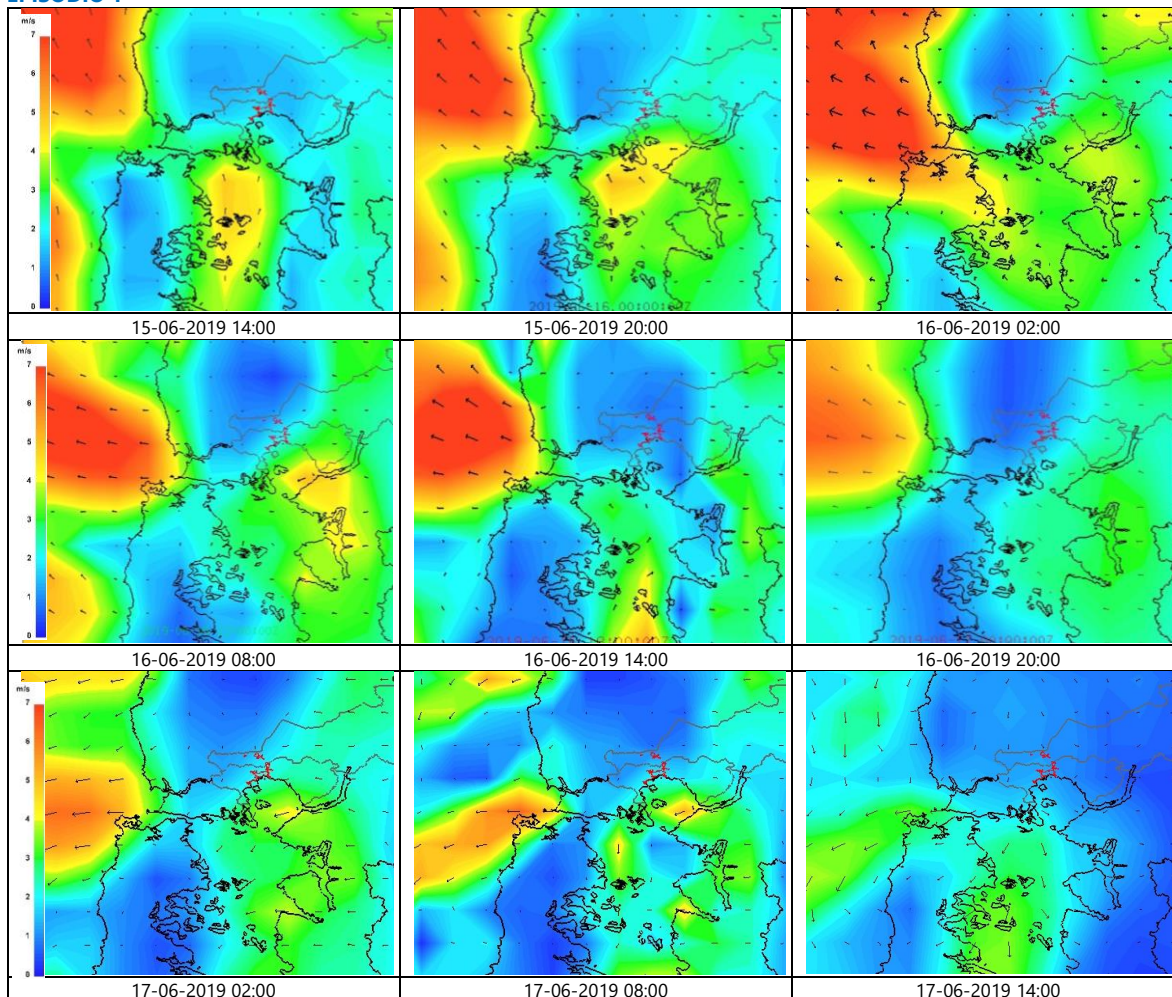


Figura 31. Perfiles de viento Episodio 1

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 2

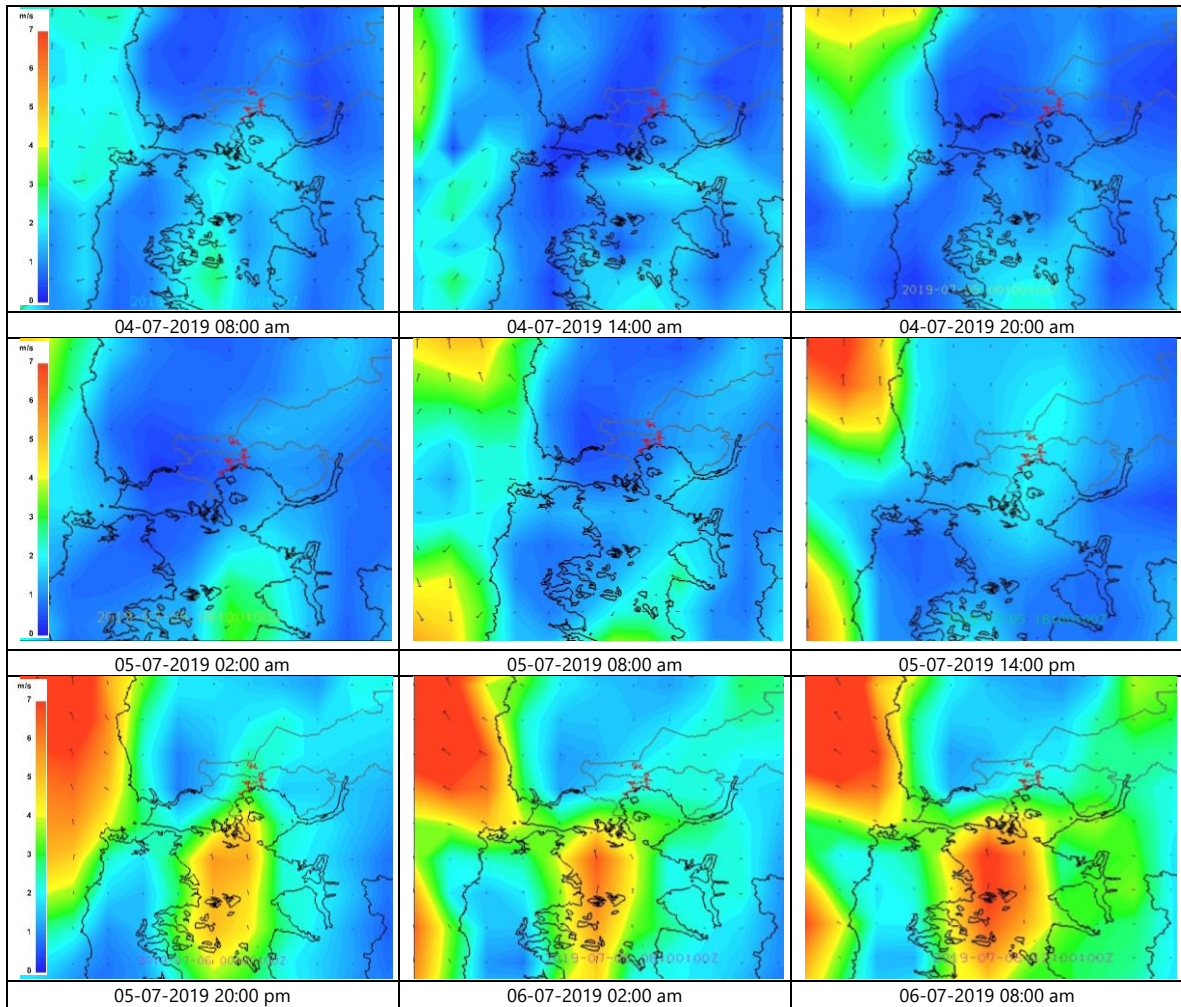


Figura 32. Perfiles de viento Episodio 2

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 3

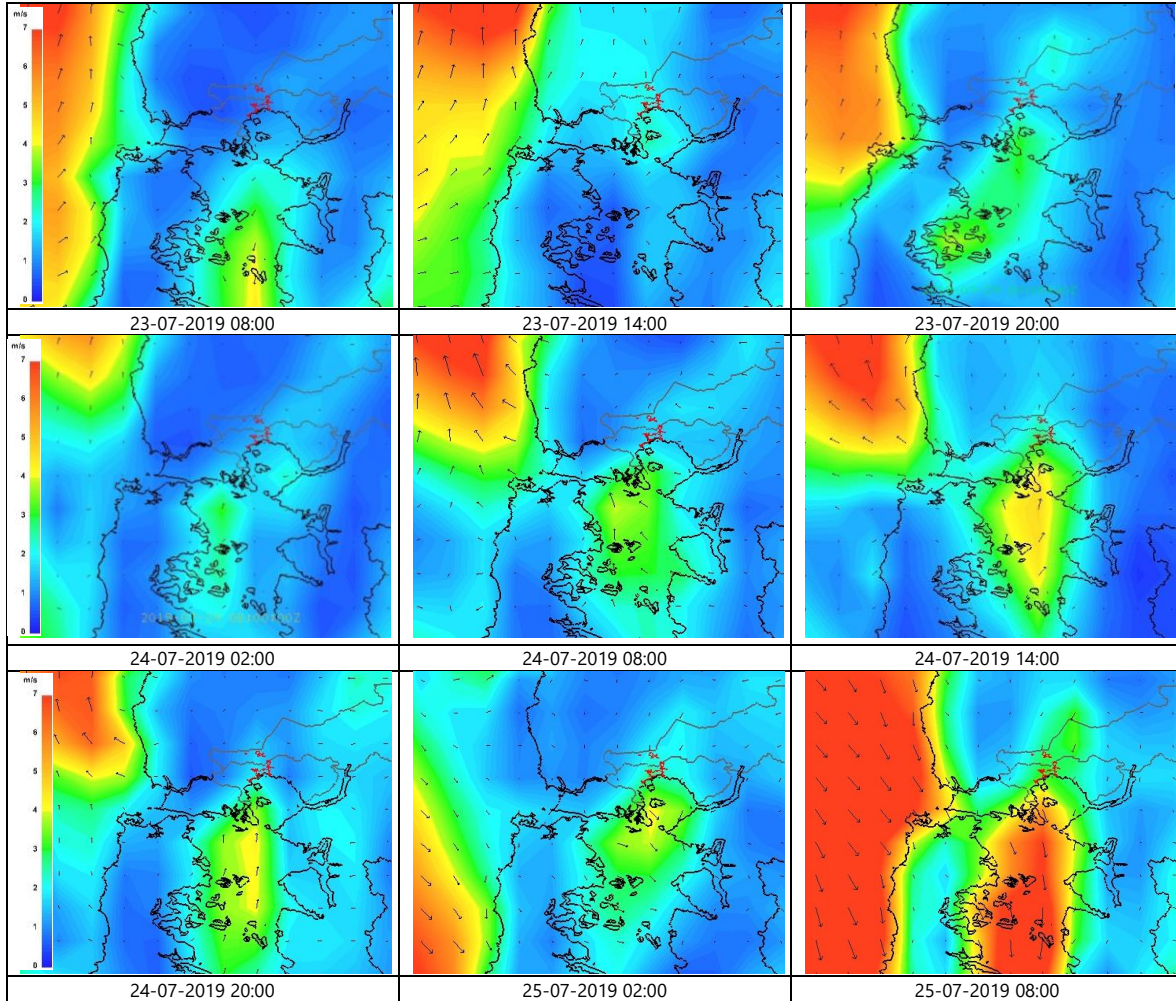


Figura 33. Perfiles de Viento Episodio 3

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

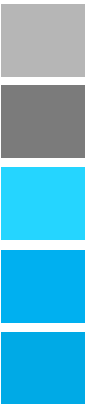
3.6.1.4 Análisis de Velocidad de Ventilación

La tasa de ventilación es una variable descriptiva, que da cuenta de la velocidad con que un área renueva su aire en la zona que existe entre la capa superficial y la capa de mezcla (PBL), así a mayor intensidad en el color rojo, mayor renovación existirá (según escala de color de 0 a 5000 m²/s).

En el caso del episodio 1 (ver Figura 34), queda de manifiesto la poca velocidad de ventilación cuando ocurren las mayores concentraciones, viéndose un impacto directo en la zona urbana de Puerto Montt y Puerto Varas. Es posible evidenciar que en general la zona litoral del continente presenta condiciones favorables para la dispersión, sin embargo, la zona costera de Puerto Montt y la zona costera de Chiloé (hacia el continente) a pesar de ser un área abierta no posee magnitudes tan distintas a las del área continental, lo que puede explicar la ocurrencia de episodios de contaminación.

Para el caso del episodio 2 (ver Figura 35) se evidencia una leve injerencia para la variable en estudio en la zona de Puerto Varas, presumiblemente por el Lago, lo que en algún punto puede favorecer la dispersión del área urbana por sobre el área de Puerto Montt. Ya hacia el final del episodio se ve un incremento en la magnitud de la renovación para la zona costera de Puerto Montt, lo que se traduce en una mejor condición de dispersión, aún cuando el efecto de la zona costera se marca lejos del área urbana de Puerto Montt.

El episodio 3, mostrado en la Figura 36, da cuenta desde el inicio de una buena condición de dispersión, sobre todo en horas de la tarde, para el día 23 de julio, que a medida que ocurre el avance del episodio tiende a empeorar, sin embargo, esto contrasta con lo demás episodios, puesto que la magnitud de la variables, en ningún caso llega a los valores críticos, lo que se ve representado por la coloración más clara en la zona central. Esto explica además que las concentraciones alcanzadas para este episodio no sean superiores a las de las demás presentadas. Es posible también precisar que las condiciones entre ambas comunas y sobre todo en las áreas pobladas no presentan diferencias significativas, lo que se traduce en que el área representa una cuenca atmosférica única, que puede ser considerada en su conjunto para la definición de estrategias de descontaminación.



EPISODIO 1

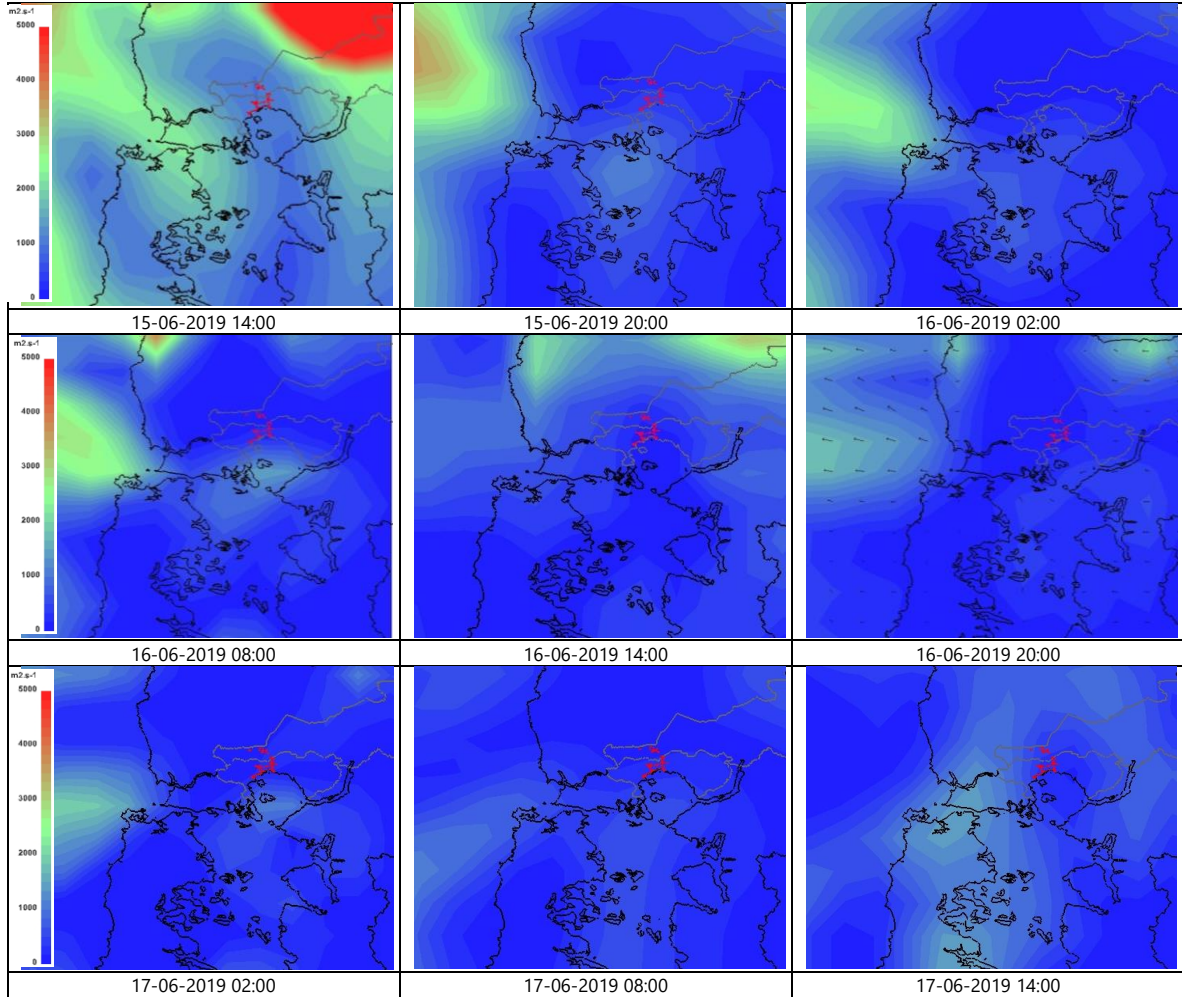


Figura 34. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 1

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 2

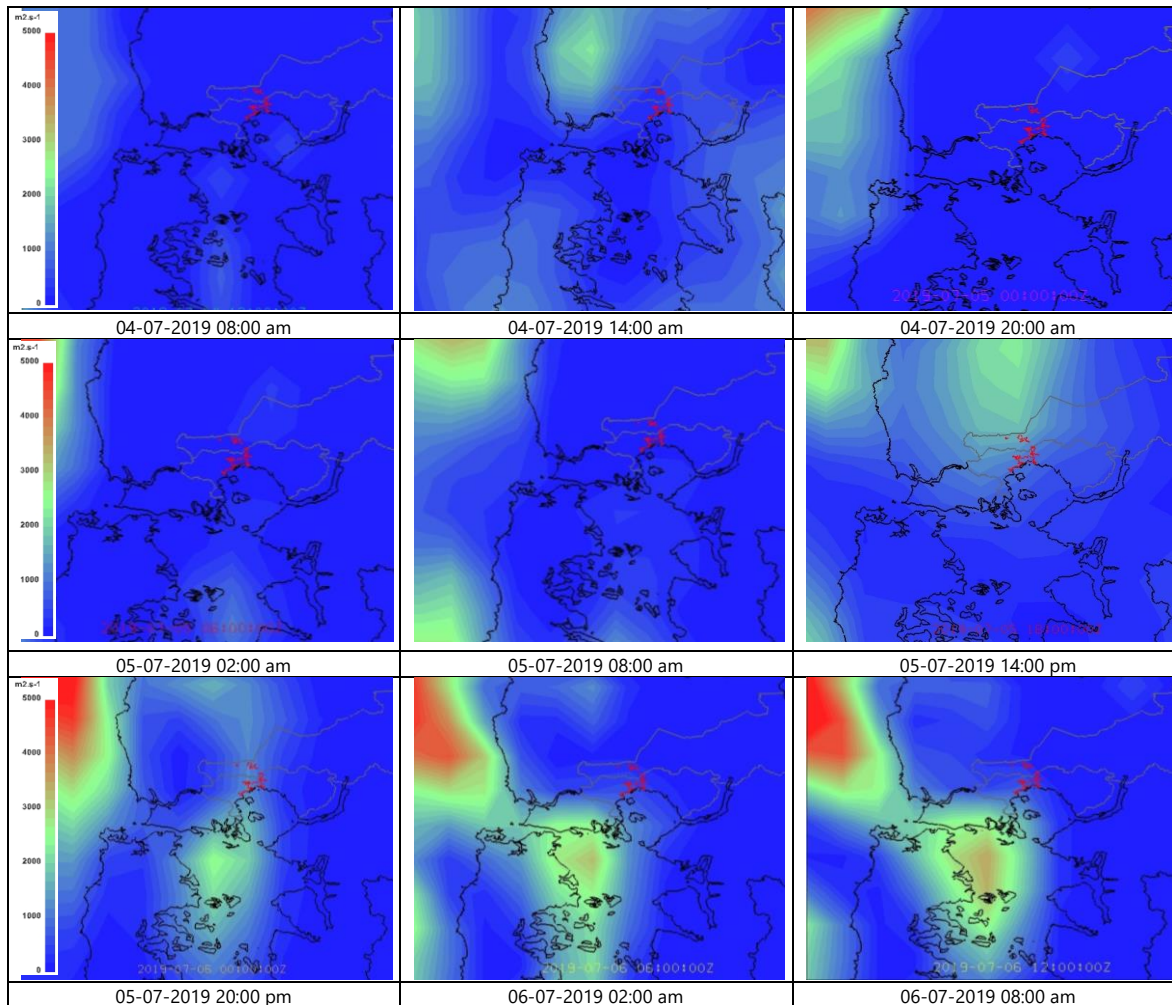


Figura 35. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 2

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 3

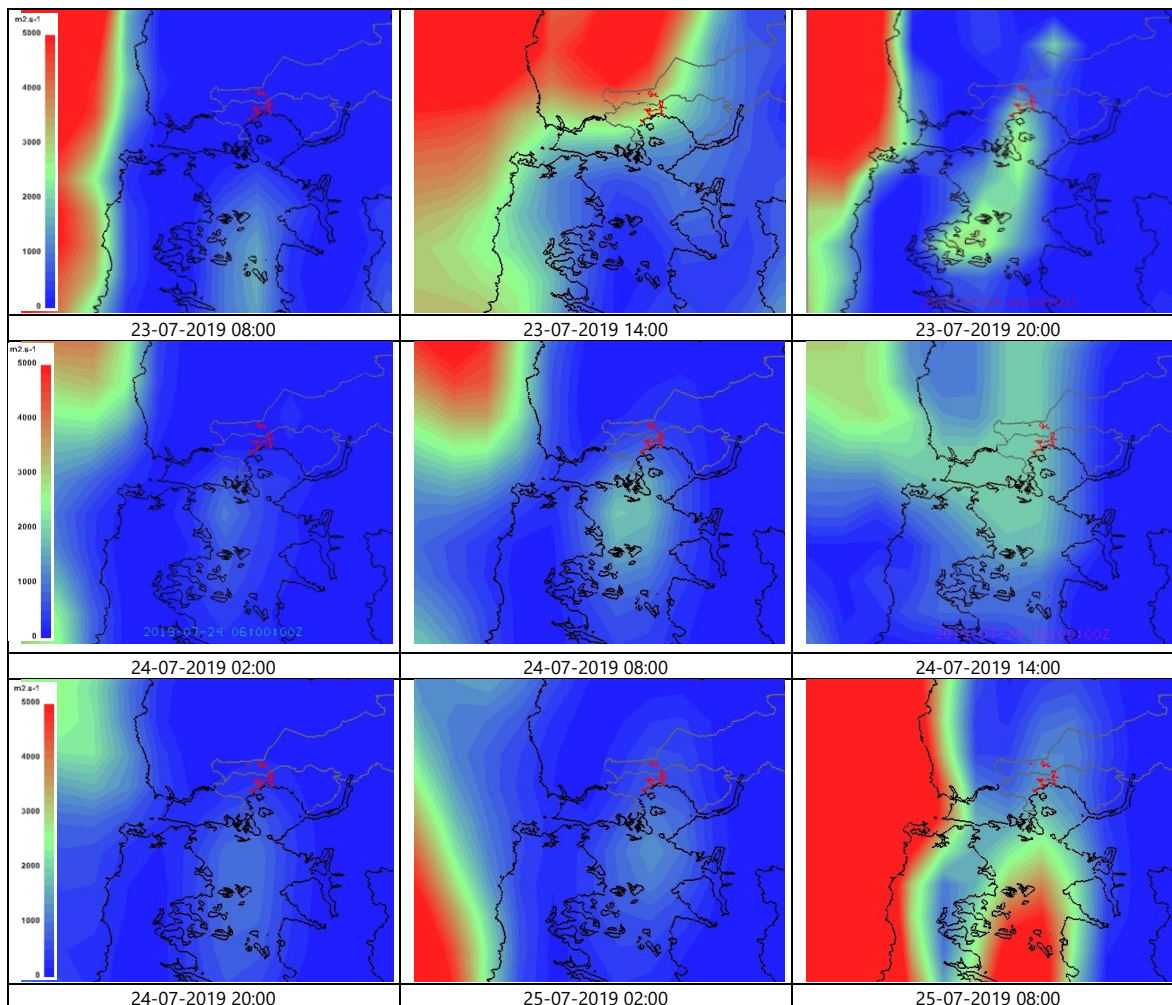


Figura 36. Perfiles de velocidad de ventilación Episodio 3

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

3.6.2 Análisis de Modelación de Trayectorias

El análisis de trayectorias permite definir desde dónde provienen las masas de aire que inciden sobre la concentración de un receptor específico. Para el presente análisis se ha definido la utilización del software *Hysplit*, dependiente de la NOAA, el cual es ampliamente utilizado para definir el transporte de contaminantes a nivel mundial, basado en la capacidad de computar, un gran número de trayectorias en función de información meteorológica consolidada de diversa resolución, tanto retrospectiva como de pronóstico.

La integración de *Hysplit* se realizó utilizando información meteorológica de modelación retrospectiva de GFS de 0,25° de resolución espacial y 6 horas de resolución temporal, para los periodos de ocurrencia de episodios de contaminación presentados en el punto precedente.

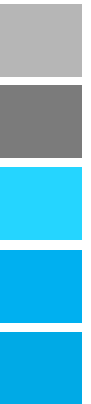
Se fijó como ubicación de referencia el emplazamiento de la estación de calidad del aire de Puerto Varas, por encontrarse en una posición intermedia respecto de áreas habitadas circundantes.

El episodio 1, mostrado en la Figura 37, da cuenta de que la procedencia de las masas de aire de los dos primeros días tiene una frecuencia superior al 70%, desde el sur-este, esto quiere decir que existe un arrastre de los contaminantes desde Puerto Montt a Puerto Varas y desde ahí hacia el norte, mostrando que la calidad del aire de ambas zonas tiene una estrecha relación, situación que podría ser extrapolada a los centros urbanos colindantes como Llanquihue y Frutillar. El tercer día muestra una tendencia diferente con un aporte más marcado desde nor-este, sin embargo, el 30% de las concentraciones puede ser explicado por la acción de los contaminantes procedentes desde Puerto Montt.

El segundo episodio (Figura 38), muestra un comportamiento fluctuante, donde el primer día el 60% de las trayectorias vienen desde el sector sur-oeste, Esto es existe un aporte desde la comuna de Puerto Montt, sobre el área urbana de Puerto Varas y presumiblemente sobre Llanquihue y Frutillar. El día dos, por otra parte, posee una frecuencia marcada desde la zona norte, mayor al 80% lo que da cuenta de la injerencia de Llanquihue y Frutillar sobre las concentraciones en Puerto Varas, aun cuando también existe un porcentaje menor de incidencia de la zona de Puerto Montt. El tercer día, muestra una tendencia similar a la del episodio anterior con frecuencias del 70% proveniente de Puerto Montt.

El episodio 3, muestra que las trayectorias de masas de aire son más bien locales afectando a la concentración de la estación Puerto Varas, las concentraciones generadas en el área adyacente. El segundo día de episodio tienen una componente local de transporte, sin embargo, el 30% de las frecuencias provienen desde Puerto Montt y Llanquihue. El tercer día presenta un origen marcado del 90% hacia la zona de Llanquihue-Frutillar, pero con un impacto menor de las trayectorias de Puerto Montt.

En síntesis, del análisis de trayectorias se puede concluir que los episodios de contaminación ocurridos en la zona, tienen un aporte compartido de las fuentes que están tanto al norte como al sur del punto de referencia, lo que se puede extrapolar a las condiciones de calidad del aire de Puerto Montt, Llanquihue y Frutillar.



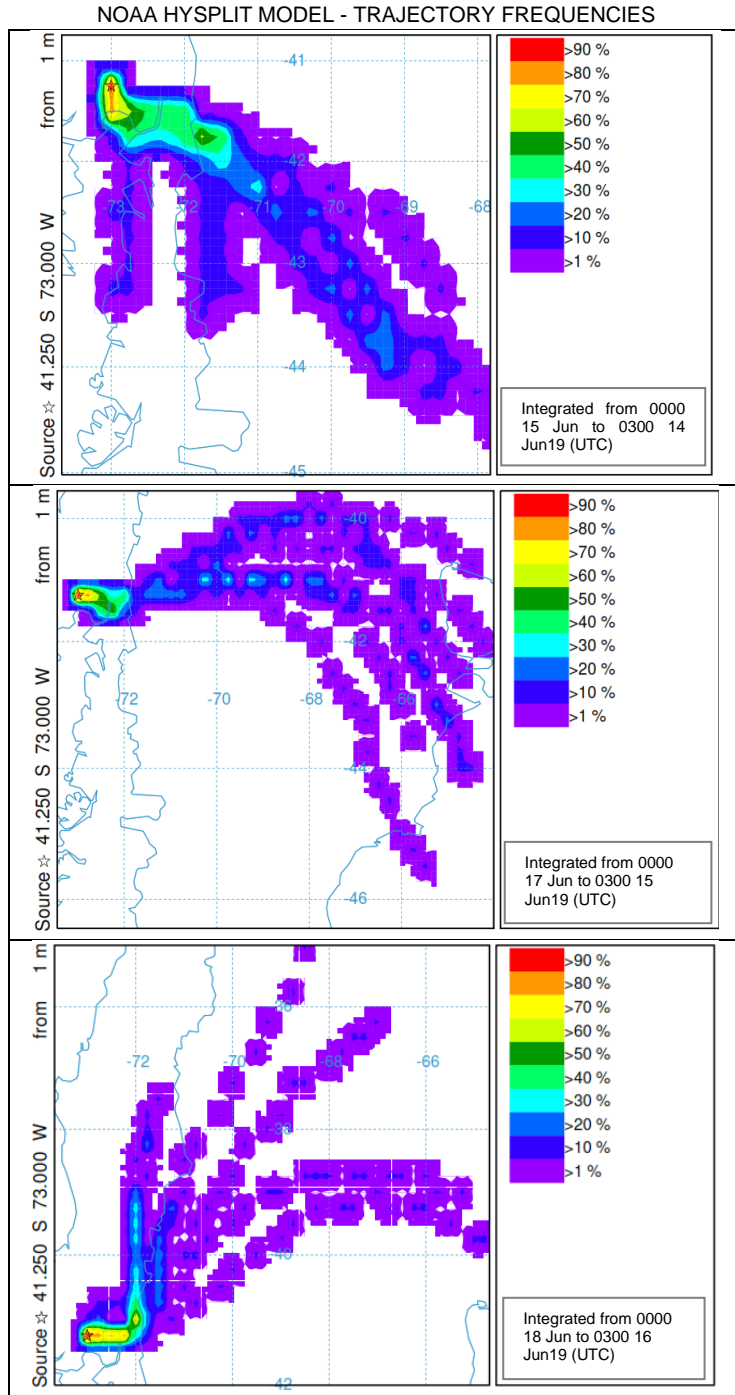


Figura 37. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 1
 Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

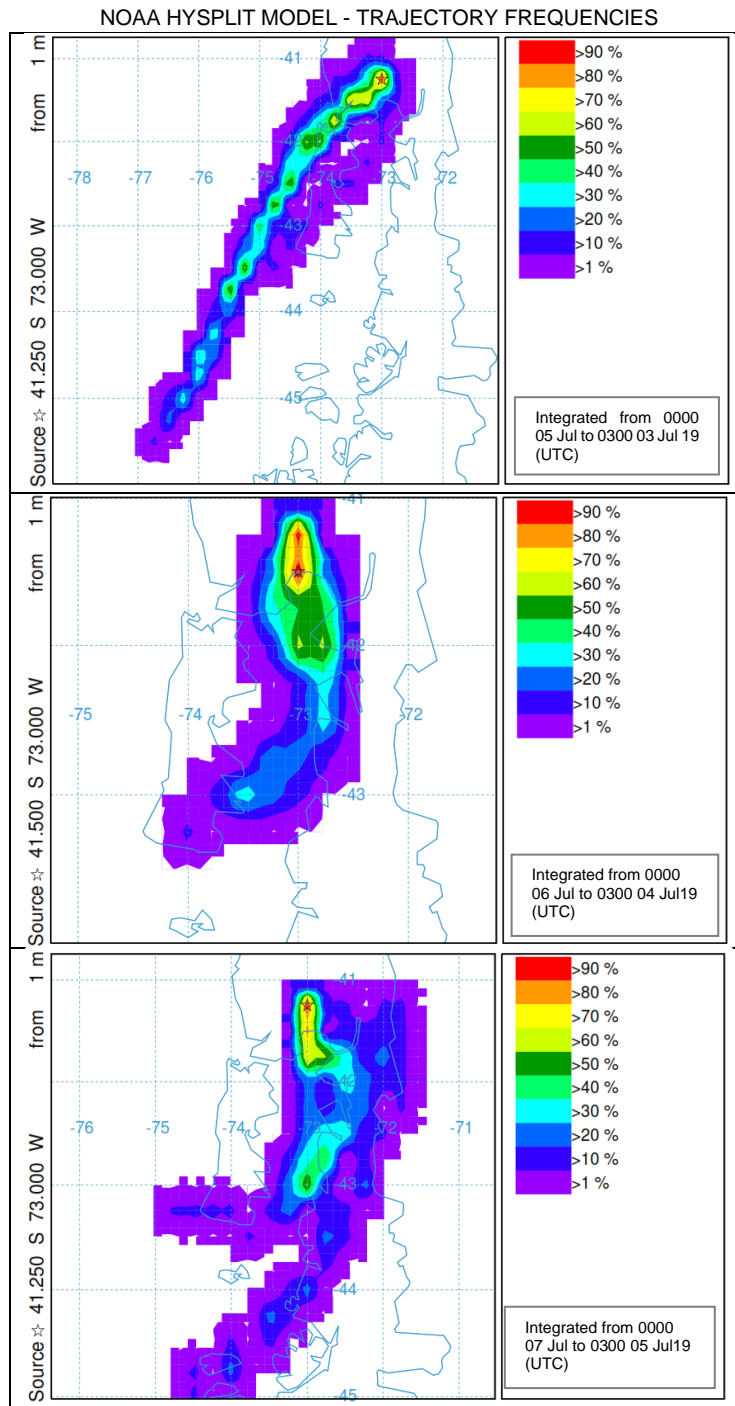


Figura 38. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 2

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 3

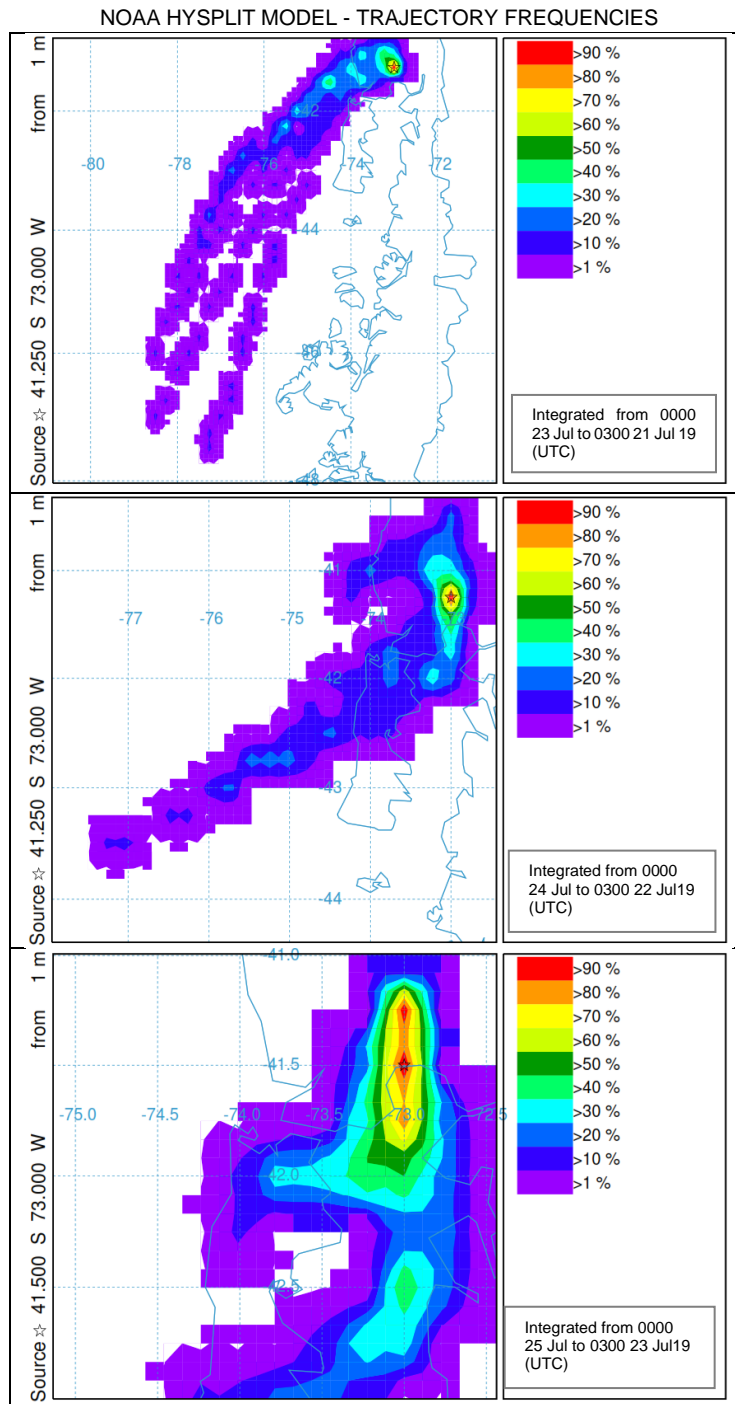


Figura 39. Frecuencia de trayectorias de masas de aire – Episodio 3

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

3.6.3 Análisis de Modelación de Dispersión

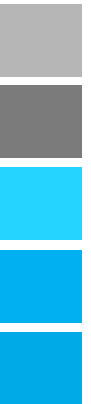
La modelación de dispersión con objetivo de visualizar hacia donde tiende a dispersar la nube contaminante, se realizó utilizando el módulo de dispersión de Hysplit, con un cálculo de pluma gaussiana, con bases meteorológicas de GFS, resolución espacial de 0,25° y resolución temporal de 6 horas. Con una descarga de contaminantes desde un punto ubicado en la ciudad de Puerto Montt, considerando las emisiones de MP2.5 del inventario de emisiones.

Para el primer episodio se observa que la pluma contaminante tiene un avance con dirección nor-oeste, con impacto sobre las ciudades de Puerto Varas, Llanquihue y Frutillar, para luego bajar su incidencia en lo que transcurre su desarrollo sobre esta zona, inclinándose su orientación hacia el oeste.

El episodio 2, contrasta con el caso anterior, debido a que tiende a dispersar hacia el sur en todas las horas modeladas, no viéndose un claro efecto sobre las concentraciones de las zonas aledañas al norte del área de modelación, sin embargo, queda de manifiesto que tanto Puerto Varas como las ciudades de Llanquihue y Frutillar tendrán un impacto desde el norte hacia el sur de su localización.

El episodio 3, muestra un impacto muy marcado de la pluma contaminante sobre Puerto Varas, presente a lo largo de todo el episodio, y que evidencia poco movimiento de las masas de aire a distancia.

En conclusión, los contaminantes generados a lo largo de los tres episodios analizados presentarán un efecto diverso sobre su área circundante, que será evidenciado en mayor o menor medida dependiendo de las condiciones de ventilación, así Las ciudades de Llanquihue se verá afectada por las concentraciones generadas en las zonas del sur y norte de su ubicación, Frutillar por su parte se verá afectado de manera más intensa por Llanquihue y Puerto Varas por Puerto Montt y Llanquihue. Finalmente, las concentraciones de Puerto Montt se verán afectadas por el arrastre desde Puerto Varas.



EPISODIO 1

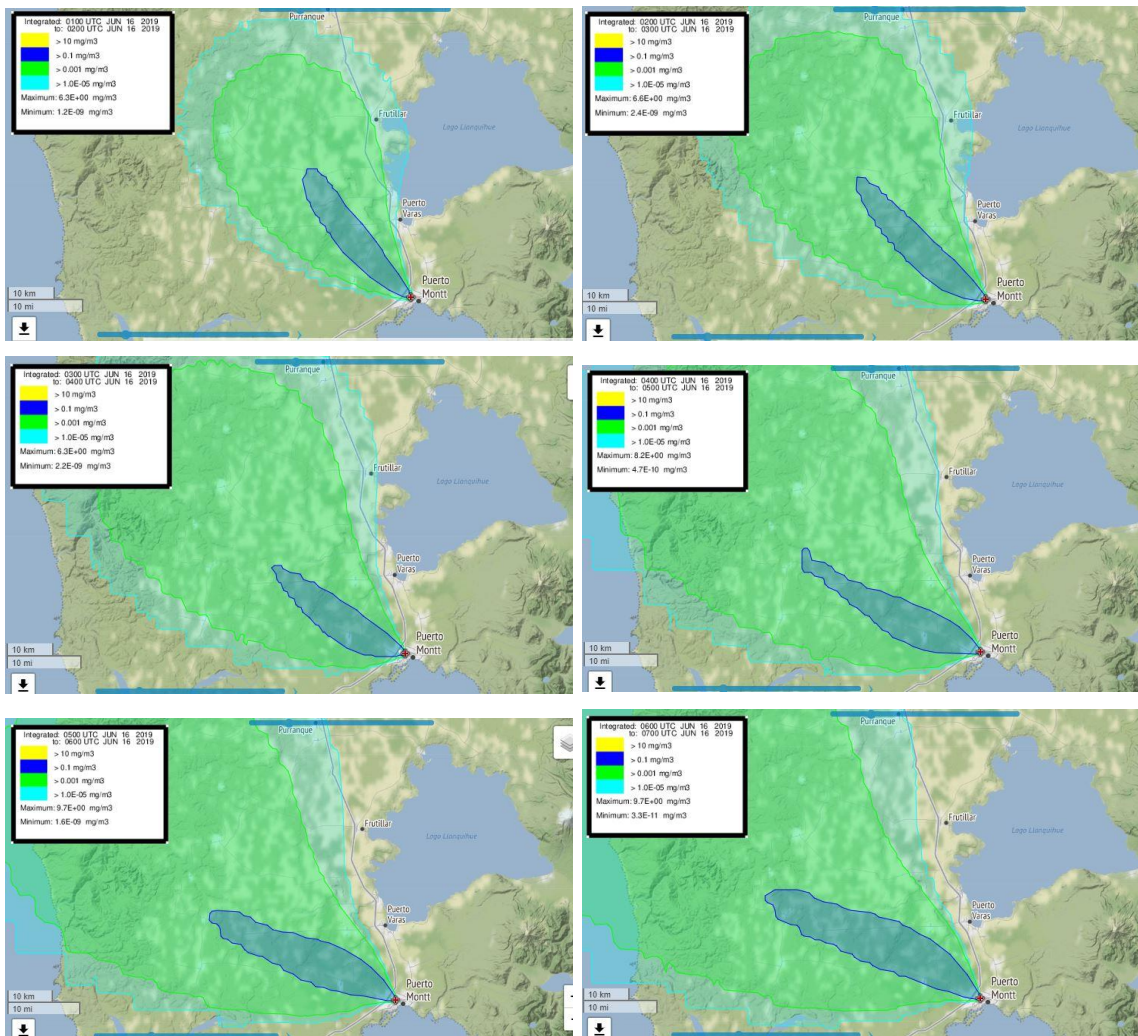


Figura 40. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 1
Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 2

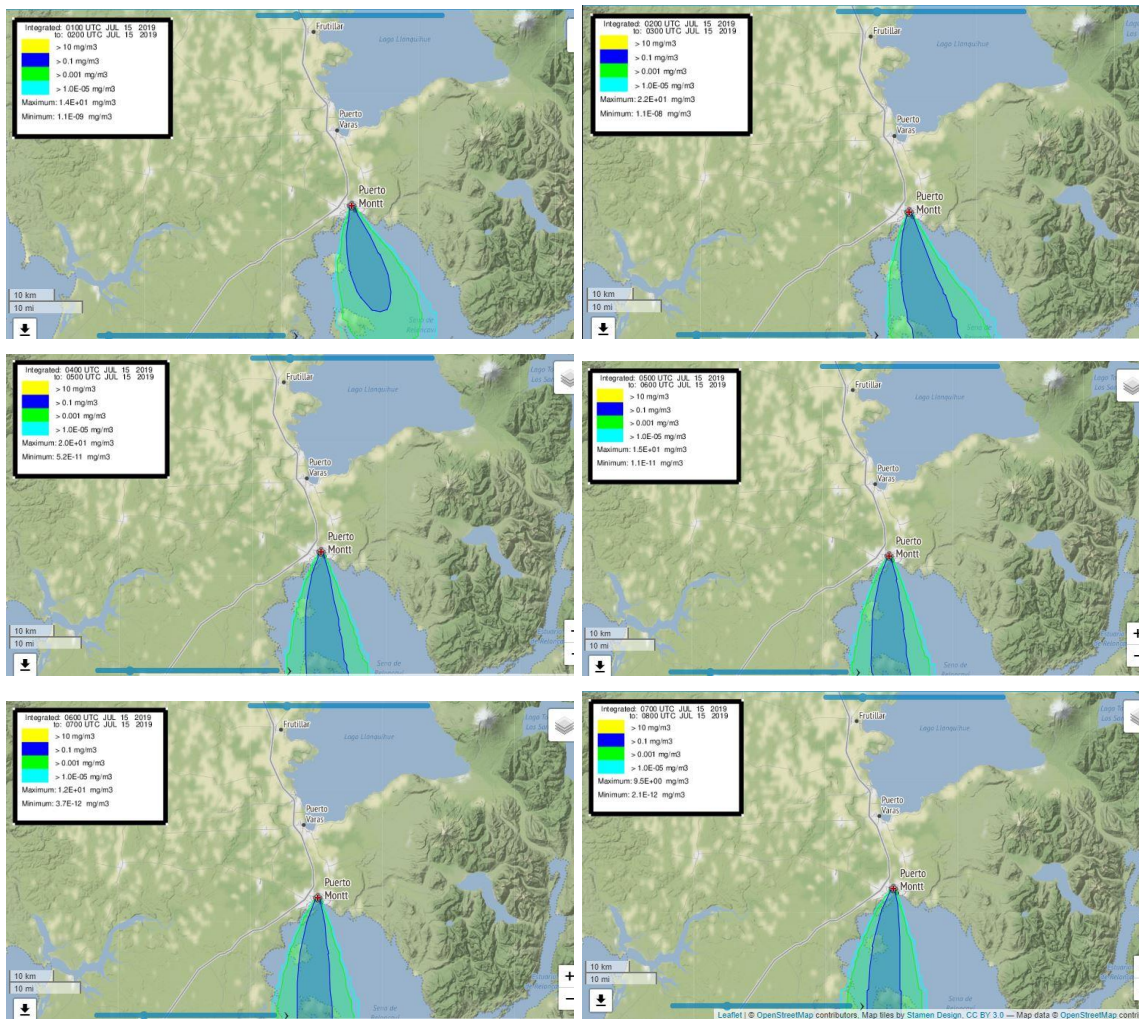


Figura 41. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 2

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

EPISODIO 3

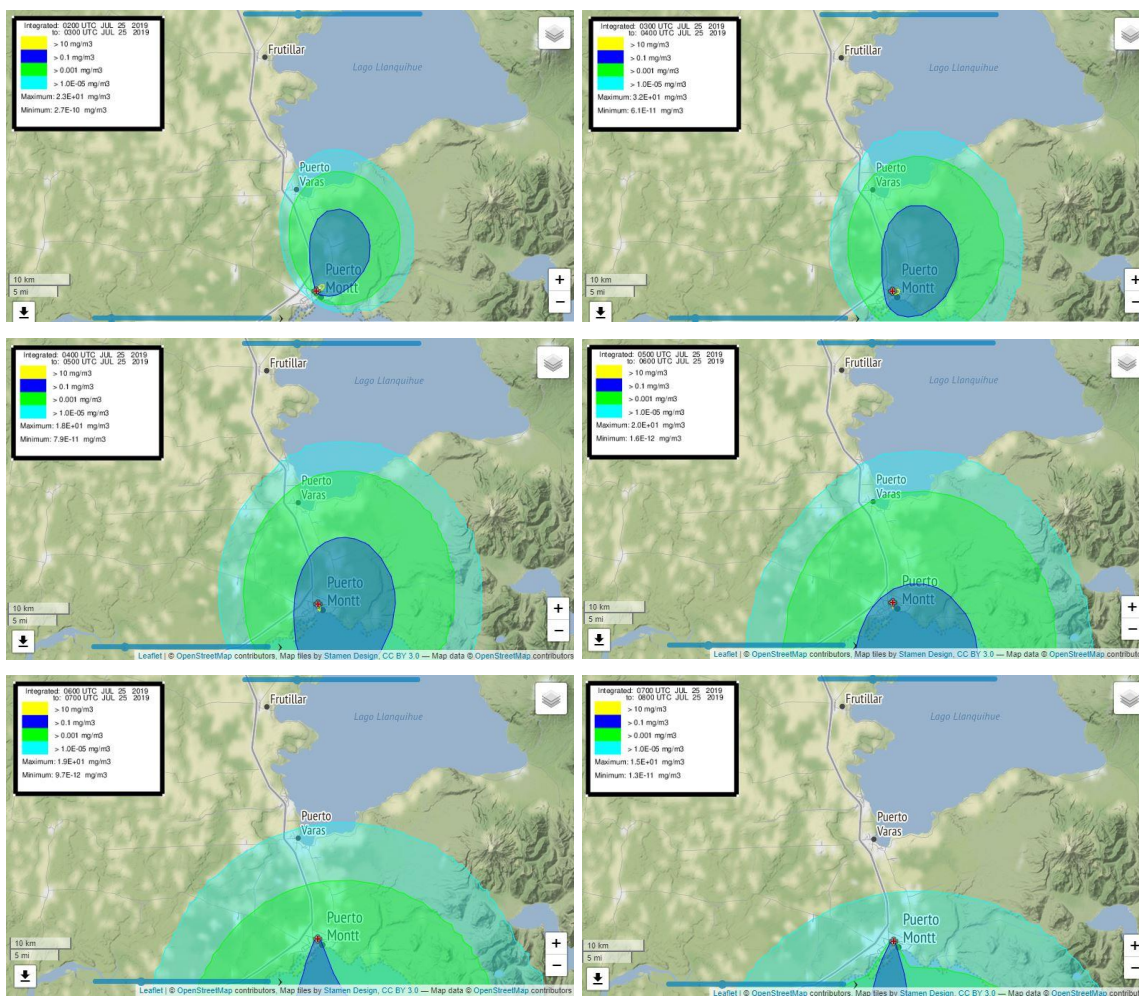


Figura 42. Dispersión de la pluma contaminante – episodio 3

Fuente: Elaboración propia a partir de salidas de modelo GFS

3.7 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE EMISIONES

En la Tabla 8 y Tabla 9 se presenta el resumen del inventario de emisiones atmosféricas para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, respectivamente, asociado al año base 2017. Como es posible apreciar, la principal fuente de emisión material particulado en ambas comunas proviene de la combustión residencial de leña, con un aporte del 94,3% del MP2.5 para el caso de Puerto Montt y un 93,0% del MP2.5 para el caso de Puerto Varas. Seguido por fuentes móviles y fijas, con un 3,4% y 2,2% respectivamente para la comuna de Puerto Montt.

Para el caso de Puerto Varas, la segunda fuente de relevancia corresponde a Fuentes Móviles con un aporte del 6,5% del MP2,5, mientras que fuentes de área y fijas poseen una participación mucho menor, bajo el 1%.

Tabla 8. Inventario de emisiones Puerto Montt año base 2017 (Ton/año).

CATEGORÍAS	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
FUENTES AREALES	5.385,8	5.014,0	109.104,4	48.176,7	56,8	1.454,0	711,3	676.370,0
Actividades agrícolas							4,5	
Comb. externa residencial	5.382,5	5.011,2	109.060,3	44.463,9	56,2	1.450,3	424,4	674.060,8
Crianza de Animales							1,0	
Disposición de residuos				0,4			81,9	
Emisiones biogénicas				1.610,4				
Evaporativas comercial				632,1				
Evaporativas residencial				1.469,9			197,7	
Quemas	3,2	2,8	43,2		0,5	2,1	1,8	558,4
Rest. y comida rápida	0,1	0,1	0,9	0,0	0,0	1,7	0,0	1.750,8
FUENTES FIJAS	172,0	119,4	219,9	37,4	932,0	720,7	42,8	143.411,5
Comb. externa puntual	144,3	92,0	125,3	4,1	906,4	289,4	42,0	126.231,9
Combustión interna	27,6	27,4	94,1	33,3	25,6	430,3	0,7	16.138,1
Procesos con combustión	0,0	0,0	0,6		0,0	1,0	0,0	1.041,5
Procesos sin combustión	0,1	0,1						
FUENTES MÓVILES	183,2	178,3	6.249,5	973,0	5,9	2.658,0	36,5	411.522,2
Fuentes Móviles en Ruta	154,1	150,1	5.952,1	935,3	4,8	2.448,6	36,4	375.612,6
Maquinaria vehicular	29,1	28,2	297,4	37,7	1,1	209,4	0,1	35.909,6
POLVO FUGITIVO	1.357,7	196,2						
Calles en red interurbana	113,2	18,2						
Calles en red urbana	1.241,0	178,0						
Cereales y chacras	0,0							
Construcción de caminos	0,0							
Construcción de edificios	3,5							
Frutales	0,0							
Total general	7.098,8	5.508,0	115.573,9	49.187,0	994,7	4.832,7	790,5	1.231.303,7

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Nacional, MMA, 2017.

Tabla 9. Inventario de emisiones Puerto Varas año base 2017 (Ton/año).

Categoría	MP10	MP2,5	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃	CO ₂
FUENTES AREALES	982,6	914,7	19.902,1	11.033,3	10,4	265,5	150,0	123.591,0
Actividades agrícolas							13,2	
Comb. externa residencial	981,8	914,1	19.893,8	8.110,7	10,2	264,5	77,4	122.955,9
Crianza de Animales							2,3	
Disposición de residuos				0,1			14,9	
Emisiones biogénicas				2.541,5				
Evaporativas comercial				114,6				
Evaporativas residencial				266,5			41,8	
Quemas	0,7	0,6	8,1	-	0,1	0,5	0,3	168,7
Rest. y comida rápida	0,0	0,0	0,3	-	0,0	0,4	0,0	466,4
FUENTES FIJAS	5,2	4,5	33,1	4,3	10,0	121,5	0,9	9.747,6
Comb. externa puntual	1,3	1,1	2,8	0,1	0,4	3,6	0,6	2.965,2
Combustión interna	3,3	3,0	29,8	4,2	1,7	116,2	0,2	5.459,5
Procesos con combustión	0,6	0,4	0,6	0,0	7,9	1,7	0,0	1.322,9
Procesos sin combustión								
FUENTES MÓVILES	63,9	63,6	2.336,1	199,5	2,4	825,3	14,6	164.670,9
Fuentes Móviles en Ruta	51,8	51,8	2.214,7	183,5	2,0	736,4	14,6	149.751,9
Maquinaria vehicular	12,2	11,8	121,5	16,0	0,5	88,9	0,0	14.919,0
POLVO FUGITIVO	54,0	10,3						
Calles en red interurbana	34,1	6,3						
Calles en red urbana	17,5	4,0						
Cereales y chacras	0,3							
Construcción de caminos	0,0							
Construcción de edificios	2,1							
Frutales	0,0							
Total general	1.105,6	993,1	22.271,3	11.237,1	22,8	1.212,3	165,5	298.009,5

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Nacional, MMA, 2017.

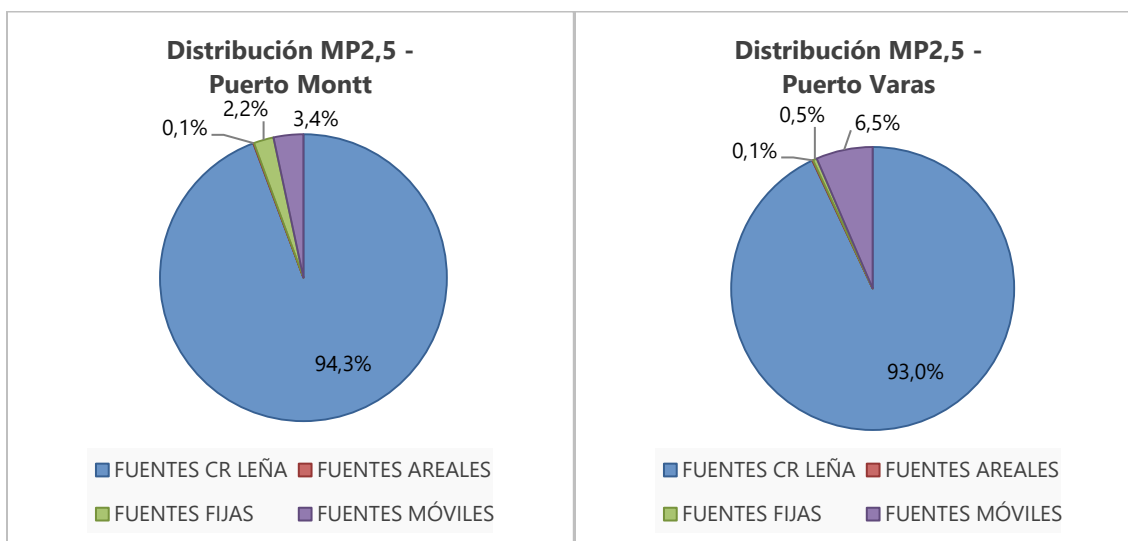


Figura 43. Distribución porcentual de emisiones atmosféricas según comuna¹³

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Nacional, MMA, 2017.

¹³ No considera emisiones fugitivas como parte del total

3.7.1 Fuentes de Combustión Residencial de Leña

La leña ocupa el 2° lugar en la matriz energética nacional de acuerdo a estadísticas de la Comisión Nacional de Energía (CNE). La leña como combustible posee importantes ventajas, es un energético de bajo costo, de producción local, y descentralizada. Sin embargo, su uso ineficiente y falta de regulación ha traído consecuencias negativas en centros urbanos del centro y sur del país, donde destaca por el impacto que tiene en la mala calidad del aire ambiente. Así, por ejemplo, en todos los inventarios disponibles para la zona sur del país, se muestra que el uso residencial de la leña, para efectos de calefacción y cocción de alimentos, es responsable de más del 80% de las emisiones atmosféricas de material particulado respirable y material particulado fino, MP10 y MP2,5, respectivamente (ver Tabla 3).

Tabla 10. Relevancia de la fuente combustión residencial de leña (CRL) en las emisiones de MP2.5 en zonas saturadas del centro y sur de Chile.

IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	N° COMUNAS	PDA VIGENTE	RELEVANCIA CRL
Declara Zona Saturada por MP2.5 a RM (2014).	52	SI (2017)	33,9% (2012)
Declara Zona Saturada por MP10 a 17 comunas del Valle Central de la VI región (2009).	17	SI (2013)	38,3% (2014)
Declara Zona Saturada por MP2.5 al Valle Central de la provincia de Curicó (2015).	6	EN ELABORACIÓN	48,6% (2016)
Declara Zona Saturada por MP10 a comunas de Talca y Maule (2010).	2	SI (2016)	89,2% (2006)
Declara Zona Saturada por MP10 y MP2.5 a comunas de Chillán y Chillán Viejo (2013).	2	SI (2016)	92,8% (2012)
Declara Zona Saturada por MP2.5 a comunas de Gran Concepción (2015).	10	EN ELABORACIÓN	74,6% (2013)
Declara Zona Saturada por MP10 y MP2.5 a comuna de Los Ángeles (2015).	1	SI (2017)	65,6% (2008)
Declara Zona Saturada por MP2.5 a comunas de Temuco y Padre Las Casas (2013).	2	SI (2015)	82,9% (2017)
Declara Zona Saturada por MP10 y MP2.5 a comuna de Valdivia (2014).	1	SI (2017)	90,0% (2013)
Declara Zona Saturada por MP10 y MP2.5 a comuna de Osorno (2012).	1	SI (2016)	96,2% (2008)
Declara Zona Saturada por MP10 a comuna de Coyhaique (2012).	1	SI (2015)	99,7% (2015)

Fuente: elaboración propia en base a antecedentes disponibles en los expedientes de cada Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica.

De esta manera, en el marco del presente estudio para la declaración de zona saturada de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas en la región de Los Lagos, es necesario disponer de antecedentes que representen el comportamiento de esta importante fuente.

En este contexto, el "Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos desde la región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la región de Los Lagos", recientemente ejecutado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), proporciona los antecedentes más actualizados. En efecto, el MMA facilitó las BBDD en formato Excel con los resultados del inventario.

A continuación, se presenta un resumen de los antecedentes que caracterizan el uso de leña en la zona de estudio. En primer lugar, en la Tabla 4, se presenta la estimación del consumo de leña, desagregado a nivel de comuna.

Tabla 11. Consumo promedio de leña (m³/año), según comuna, año 2017.

Comuna	Consumo de leña (m ³ /año)
Puerto Montt	837.175,5
Puerto Varas	122.490,5

Fuente: Elaboración propia, a partir de BBDD del "Inventario nacional de emisiones", MMA, 2017.

Luego, en la Tabla 5 se presenta la distribución del tipo de artefactos utilizados en la zona de estudio.

Tabla 12. Distribución porcentual del stock de artefactos a leña en la zona de estudio, año 2017.

Tipo de artefacto	Distribución (%)
Calefactor cámara doble	49,2%
Cocina a leña	28,6%
Calefactor cámara simple	16,8%
Salamandra	3,0%
Calefactor hechizo	0,6%
Chimenea	0,5%
Caldera a leña	0,4%
Calefactor certificado	0,7%
Calefactor a pellet	0,3%

Fuente: Elaboración propia, a partir de BBDD del "Inventario nacional de emisiones", MMA, 2017.

Finalmente, en la Tabla 6 se presenta la estimación de emisiones asociada a la fuente combustión residencial de leña para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.

Tabla 13. Estimación de emisiones de MP10, MP2,5 y gases de combustión (Ton/año) para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, 2017.

Contaminante	Puerto Montt (Ton/año)	Puerto Varas (Ton/año)
MP10	5.382,5	981,8
MP2,5	5.011,2	914,1
CO	109.060,3	19.893,8
SOx	56,2	10,2
NOx	1.450,3	264,5
COVs	44.463,9	8.110,7
NH3	424,4	77,4
CO2	674.060,8	122.955,9

Fuente: Elaboración propia, a partir de BBDD del "Inventario nacional de emisiones", MMA, 2017.

3.7.2 Fuentes Puntuales

Para el análisis de fuentes puntuales se realizó una revisión de las bases de datos entregadas por la Seremi de Medio Ambiente de Los Lagos, Dentro de la documentación analizados se encuentran diversas fuentes de información, a saber:

- Inventario de Emisiones 2017 Sur. Que contiene BD Estructura_inv_Sur_2017, Fuentes Puntuales.
- Salidas plataforma *Aiviro WedBed*, Archivo Fuentes Puntuales
- Información base F138
- Archivo Emisiones Comunes.

De acuerdo a esto, la segregación de fuentes para la comuna de Puerto Montt, presenta una marcada predominancia de la fuente Calderas Industriales y Calefacción con una participación del 84 % respecto del contaminante MP10 y 77% para MP2.5. Los procesos con combustión y sin combustión en la zona están asociados a niveles de emisión muy bajos, siendo el caso de los primeros inexistentes las emisiones de MP10.

Tabla 14. Emisiones de Fuentes Puntuales – Comuna de Puerto Montt

Categoría	Emisiones (Ton/año) – Puerto Montt							
	MP10	MP2.5	CO	COV	SO2	NOx	NH3	CO2
Calderas (Industriales y de Calefacción)	144,4	92,0	125,3	4,1	906,4	289,5	42,0	126.231,9
Grupos electrógenos	27,6	27,4	94,1	33,3	25,6	430,3	0,7	16.138,1
Procesos con combustión	-	-	0,6	-	-	1,0	0,0	1.041,5
Procesos sin combustión	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-
Total	172,0	119,4	220,0	37,4	932,0	720,7	42,8	143.411,5

Fuente: Elaboración propia, a partir de BBDD del "Inventario nacional de emisiones", MMA, 2017.

Respecto de las emisiones en la comuna de Puerto Varas, se ve una baja participación general de la fuente en general, lo que podría responder, a una baja cantidad de fuentes existentes, o una subestimación en función de las opciones de información disponible.

Tabla 15. Emisiones de Fuentes Puntuales – Comuna de Puerto Varas

Categoría	Emisiones (Ton/año) – Puerto Varas							
	MP10	MP2.5	CO	COV	SO2	NOx	NH3	CO2
Calderas (Industriales y de Calefacción)	1,3	1,1	2,8	0,1	0,4	3,6	0,6	2.965,3
Grupos electrógenos	3,3	3,0	29,8	4,2	1,7	116,2	0,2	5.459,5
Procesos con combustión	0,6	0,4	0,6	-	7,9	1,8	0,0	1.322,9
Procesos sin combustión	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	5,2	4,5	33,1	4,3	10,0	121,5	0,9	9.747,6

Fuente: Elaboración propia, a partir de BBDD del "Inventario nacional de emisiones", MMA, 2017.

3.7.3 Fuentes de Área, Móviles y Fugitivas

La información de la estimación de emisiones provenientes de estas fuentes fue sistematizada desde las bases de datos del Inventario Nacional de Emisiones. Se revisó el estándar de la información empleada como niveles de actividad y factores de emisión, los cuales resultan ser coherentes con otros inventarios de emisiones realizados en el país, en relación a los valores y a las metodologías.

3.8 CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA Y PARQUE DE ARTEFACTOS

A partir de los antecedentes que ya han sido expuestos, podemos advertir que, en las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, existe un problema significativo en torno a las altas concentraciones de material particulado respirable y material particulado fino, MP10 y MP2.5, respectivamente. Luego, mediante la revisión y análisis de los datos de emisiones aportados por el inventario de emisiones Puerto Montt, año base 2017, se observa que dicha situación es causa, principalmente, de las emisiones generadas por la fuente combustión residencial de leña, cuyo aporte alcanza al 94,3% en Puerto Montt y un 93,0% en Puerto Varas.

Luego, resulta imperioso poder identificar con un mayor nivel de resolución, respecto del alcance real que representa la fuente aludida, combustión residencial de leña, en la mala calidad del aire en la zona de estudio, que pueda a su vez constituirse como una línea base para futuras evaluaciones, en el marco de la gestión que actualmente realiza, y seguirán realizando las autoridades competentes.

En consecuencia, con lo anterior, en el marco del presente estudio se desarrolló la "Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión", orientada a proporcionar antecedentes representativos del área urbana de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, considerando una segregación a nivel de distrito censal. A continuación, se presentan los principales alcances referidos a la encuesta y sus resultados. En el Anexo 2 se puede consultar in extenso, respecto de los alcances de esta caracterización.

3.8.1 DISEÑO Y APLICACIÓN DE ENCUESTA

3.8.1.1 Instrumento o encuesta utilizada

El instrumento o encuesta fue definido en conjunto con la contraparte técnica de la Seremi de Medio Ambiente de la región de Los Lagos, y consistió en una ficha compuesta por 5 ítem, más un módulo de observaciones, a través de los cuales se buscó obtener una completa caracterización del consumo de leña y del parque de artefactos según área de estudio. Cabe destacar que dicho instrumento fue diseñado tomando como base, uno de similares características utilizado en estudios previos de caracterización del uso residencial de leña realizado en otras zonas del país, con el mismo objetivo.

Módulo A: INFORMACIÓN PRELIMINAR

Módulo B: ÍTEM EQUIPOS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN

Módulo C: ÍTEM CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, Y FORMA DE ABASTECIMIENTO

Módulo D: ÍTEM INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA. ANTECEDENTES GENERALES, CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA

Módulo E: ÍTEM PERCEPCIÓN/PROYECCIÓN DE CONSUMO Y USO DE ARTEFACTOS

APARTADO FINAL: OBSERVACIONES, DATOS DE CONTACTO Y SUPERVISIÓN

El instrumento utilizado se presenta junto al Anexo 2, correspondiente al informe de resultados de la encuesta.

3.8.1.2 Diseño Muestral para aplicación de encuesta

El diseño muestral propuesto para la aplicación de las encuestas, se basa en el procedimiento estándar aplicado por el consultor en el desarrollo de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos, desarrollados previamente en otras áreas de estudio [1, 2, 3, 4, 5].¹⁴ A continuación, se presentan alcances del diseño muestral definido para la aplicación de las encuestas en las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, basado en antecedentes del Censo de población y vivienda del año 2017 [6]¹⁵.

¹⁴ [1] Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Temuco y Padre Las Casas. 2017.

[2] Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle Central de la Región de O'Higgins. 2015.

[3] Actualización de inventario de emisiones atmosféricas de Concepción Metropolitana. 2015.

[4] Desarrollo del Inventario de Emisiones Atmosféricas de la comuna de Valdivia. 2014.

[5] Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Temuco y Padre Las Casas. 2014.

¹⁵ [6] I. N. d. Estadísticas, «Censo de Población y Vivienda,» 2017.

Observaciones generales

Para el diseño muestral, se consideró como información base, aquella presentada en los resultados del Censo 2017, debido a que este proporciona información demográfica y cartográfica actualizada, que permite hacer una distribución espacial para ejecutar el Diseño Muestral. El tamaño de la muestra fue definido de acuerdo a la siguiente expresión, acorde a la naturaleza y condicionantes de la variable en estudio, considerando que el parámetro base a investigar corresponde a una media poblacional (consumo promedio de leña).

$$n \geq \frac{4N\sum N_h S_h^2}{N^2 e^2 + 4\sum N_h S_h^2}$$

Donde:

- N : Número de manzanas totales, según información actualizada de Censo 2017.
- N_h : Número de manzanas del estrato (distritos censales), según Censo 2017.
- S_h : Coeficiente de variación del estrato. Para el diseño se empleó un valor de 4,7, determinado en terreno luego de aplicación de instrumento semejante con iguales objetivos.
- e : Grado de error del diseño. El margen de error utilizado corresponde a 0,5 m³/año, definido en correspondencia al parámetro o variable observada, un nivel de confianza es del 95%, y afijación proporcional al tamaño del estrato (Distrito Censal).

A partir de lo anterior, se determinó la aplicación de un total de 1292 encuestas. A continuación, en las Tablas 5 y 6 se presenta la distribución de encuestas para los distritos censales del área urbana de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas respectivamente.

Tabla 16. Distribución de encuestas según distrito censal comuna de Puerto Montt.

Código	Distrito	Manzanas Totales	Manzanas a encuestar	N° Encuestas
1	Estación	61	7	27
2	Angelmó	155	17	69
3	Mirasol	630	71	282
4	Chinchín	122	14	55
5	Intendencia	146	16	65
6	Pelluco	270	30	121
7	Alerce	479	54	215
13	Panitao	44	5	20
15	Tepual	83	9	37
16	Las Quemadas	157	18	70
17	La Paloma	242	27	108
18	Matadero	84	9	38
Total		2.473	277	1.108

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Distribución de encuestas según distrito censal comuna de Puerto Varas.

Código	Distrito	Manzanas Totales	Manzanas a encuestar	N° Encuestas
1	Puerto Varas	290	35	140
2	Nueva Braunau	41	5	20
5	La Fábrica	49	6	24
Total		380	46	184

Fuente: Elaboración propia

3.8.1.3 Aplicación De La Encuesta

Capacitación del personal de terreno

Para el levantamiento de la información de terreno, se reclutó un número significativo de encuestadores. Se realizó una jornada de capacitación (Figura 44) en donde se presentó y participó la contraparte técnica, quienes, además, realizaron una contextualización en relación a la problemática de la contaminación atmosférica y la justificación del estudio, y donde se revisó de manera detallada el instrumento a aplicar. Se revisó la metodología de aplicación de encuesta y se entregaron recomendaciones del trabajo en terreno, en relación al modo de acercamiento al encuestado, pautas de conducta, manejo de situaciones, mecanismos de contacto directo con supervisor, entre otros que se consideren relevantes. En el Anexo 3 de la Encuesta, se presenta el programa de contenidos de la capacitación.



Figura 44. Jornada de capacitación de encuestadores, en sala reuniones SEREMI de Medio Ambiente de Los Lagos. 25/09/2019.

Organización del material

Para la aplicación de la encuesta, a cada encuestador se entregó una tarjeta de identificación como la imagen que se muestra al costado, con nombre, nombre del estudio, y entidad patrocinante (ver Anexo 2 de la Encuesta, con detalle de todos los encuestadores).

Además de un instructivo, y otros elementos útiles para el óptimo desempeño en terreno, como los que se indican a continuación:

- Instructivo de encuestadores.
- Identificación de las manzanas y viviendas a encuestar.
- Copia impresa de cuestionarios.
- Carpeta de terreno para proteger el material.



Planificación de las rutas

El supervisor del trabajo en terreno generó las rutas más convenientes para la aplicación de encuestas, optimizando así el despliegue en terreno.

Aplicación del instrumento en terreno

La aplicación de la encuesta se llevó a cabo siguiendo el siguiente protocolo de trabajo de campo, por parte del encuestador:

- Presentación como encuestador del estudio.
- Verificar la presencia de alguien idóneo para contestar la encuesta (Beneficiario o persona mayor de 18 años con residencia permanente en la vivienda en condiciones de responder la encuesta).
- Presentar el objetivo de la encuesta.
- Aplicar el instrumento, evitando incurrir en:
 - Suponer o inventar respuestas
 - Delegar funciones a personas no autorizadas para realizar la encuesta
 - Divulgar información obtenida

- Discutir con las personas a encuestar
 - Hacer preguntas ajenas a la encuesta
 - Prometer beneficios resultantes de la aplicación de la encuesta
- Recoger la información de manera ordenada y con letra legible completando todos los campos, en los términos señalados en la capacitación.
 - En caso de no encontrar moradores en la vivienda asignada, el encuestador aplica un procedimiento de reemplazo.



a) Aplicación encuesta en Distrito Alerce, PM.

b) Aplicación encuesta en Distrito Mirasol, PM.

Figura 45. Aplicación de encuestas de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión. Comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, 2019.

3.8.2 PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ENCUESTA

A partir del despliegue de los equipos de terreno, fue posible la aplicación del 100% de las encuestas según diseño. En términos generales, de la totalidad de las encuestas aplicadas, el 93,7% corresponde a viviendas de tipo residencial y el 5,4% a viviendas tipo residencial y comercial, en su conjunto constituyen un total de 1.281 encuestas (99,1%). Este universo de encuestas es dónde se enfoca la caracterización del uso de leña y sus artefactos de combustión.

Tabla 18. Aplicación de encuestas según distrito.

Ítem	Total	PM	PV
Residencial	1.211	1.035	176
Comercial	6	6	-
Residencial y Comercial	70	62	8
Otro	5	5	-
Total	1.292	1.108	184

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.1 Consumo de leña por comuna y distrito censal

En primera instancia se presentan los resultados referidos para la penetración del uso de leña en las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, obtenidos para la opción **calefacción** y **cocina**, a partir de la preferencia declarada por los entrevistados (Tabla 19). Notar que, mientras para calefacción el principal combustible es la leña, con cerca del 80%, para cocina, el principal combustible es el gas licuado, con similar porcentaje de preferencia, cercano al 80%. El pellet de madera surge como la segunda opción de preferencia en el ámbito de la calefacción.

Tabla 19. Principal tipo de combustible utilizado por comuna (1° opción) para calefacción y cocina.

Combustible		P. Montt		P. Varas	
		Calefacción	Cocina	Calefacción	Cocina
1.	Leña	80,1%	22,1%	65,8%	19,6%
2.	Pellets	7,5%	0%	12,0%	0,0%
3.	GLP	4,2%	77,3%	7,1%	80,4%
4.	Parafina	6,2%	0,2%	8,2%	0,0%
5.	Electricidad	1,8%	0,4%	7,1%	0,0%
6.	Otro	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
7.	N.R.	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Total		100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 20 se muestran los resultados de penetración y consumo promedio de leña, a nivel distrito censal, para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas. Se puede observar que, mientras para la comuna de Puerto Montt el uso de leña alcanza el 83,2% de las viviendas, en Puerto Varas, solo llega al 66,3%. No obstante, el consumo promedio de leña es mayor en viviendas Puerto Varas, con 68 varas anuales, que, en Puerto Montt, con 50 varas anuales. Los resultados de consumo de leña por distrito se presentan en m³ estéreos/año y varas/año.

Tabla 20. Penetración y consumo promedio de leña en viviendas de Puerto Montt y Puerto Varas, según distrito censal.

Distritos	Código Censal	Viviendas que consumen leña (%)	Consumo promedio de Leña (N° Varas)	Consumo promedio de Leña (m ³ st)
Estación	1010101	88,0%	36	8,0
Angelmó	1010102	92,6%	62	14,0
Mirasol	1010103	85,5%	46	10,3
Chinchín	1010104	82,1%	46	10,2
Intendencia	1010105	85,7%	55	12,2
Pelluco	1010106	78,6%	55	12,8
Alerce	1010107	89,8%	41	9,2

Panitao	1010113	30,0%	45	10,5
Tepual	1010115	88,9%	52	11,3
Las Quemadas	1010116	87,5%	67	14,7
La Paloma	1010117	68,2%	49	10,9
Matadero	1010118	75,0%	77	17,0
TOTAL P. Montt	PM	83,2%	50	11,2
Puerto Varas	1010901	61,4%	65	14,5
Nueva Braunau	1010902	100,0%	75	16,4
La Fábrica	1010905	66,7%	76	16,8
TOTAL P. Varas	PV	66,3%	68	15,1

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.2 Distribución del parque de artefactos residenciales que usan leña

En la Tabla 18 se presenta la distribución del parque de artefactos en cada comuna, según tipo, que se obtiene a partir de la declaración del tipo de artefacto utilizado como primera, segunda o tercera opción. Para el caso de la comuna de Puerto Montt el principal artefacto utilizado corresponde al tipo combustión lenta, el que en sus tres variantes (calefactor certificado, combustión lenta C/T y combustión lenta S/T) constituyen en suma un 58,0% del total del parque. La segunda preferencia corresponde a la cocina a leña con un 33,1% del parque de artefactos. Para el caso de la comuna de Puerto Varas, se observa la misma situación representando el artefacto tipo combustión lenta un 50,3% del parte total, seguido por el artefacto tipo cocina a leña, con un 34,7% de las preferencias en esta comuna.

Tabla 21. Distribución del Parque de Artefactos a leña o pellet según comuna (%).

Artefacto	P. Montt	P. Varas
Calefactor Certificado	7,5%	8,8%
Combustión lenta Con Templador (C/T)	27,0%	15,6%
Combustión Lenta Sin Templador (S/T)	23,6%	25,9%
Cocina a Leña	33,1%	34,7%
Salamandra	0,4%	0,0%
Chimenea	0,0%	0,0%
Calefactor a Pellet	8,4%	15,0%
Hechizo	0,1%	0,0%
Total*	100%	100%

*No suma el total de usuarios de leña o pellet, ya que hay viviendas con más de un artefacto.

Fuente: Elaboración propia

Se observa, además, que artefactos del tipo salamandra, chimenea y hechizo, son prácticamente inexistentes en ambas comunas. Se advierte la aparición de calefactores a leña certificados, alcanzando un 7,5% y un 8,8% en las comunas de Puerto Montt y Puerto

Varas, respectivamente, así como también los calefactores a pellet que cuentan con una participación relevante en la comuna de Puerto Varas, alcanzando el 15% del parque total de artefactos, tal como se puede observar en la Figura 45.

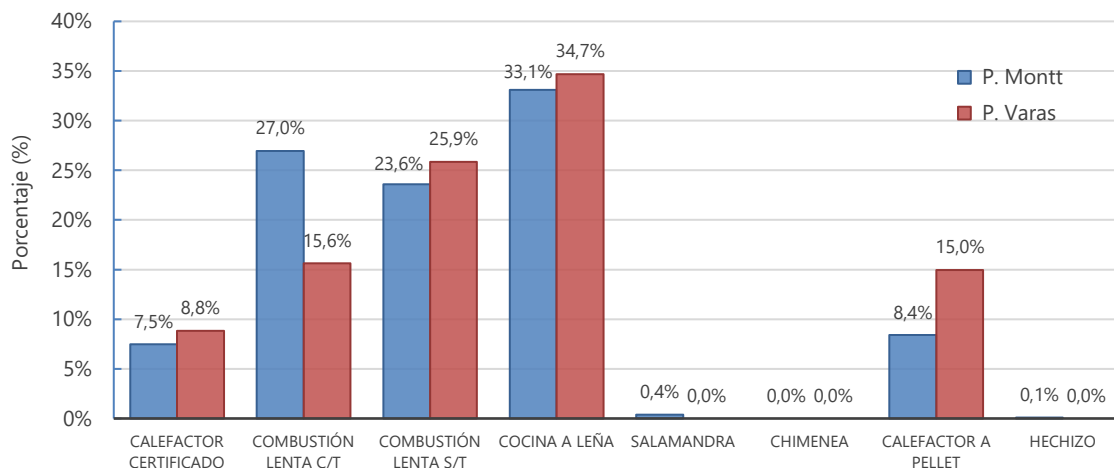


Figura 46. Distribución del Parque de Artefactos según comuna

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Distribución del parque de artefactos a leña y pellet en Puerto Montt y Puerto Varas, según distrito censal.

Districtos	Código Censal	Calef. Certificado	Comb. Lenta C/T	Comb. Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y Hechizo	Estufa a Pellet
Estación	1010101	3,5%	10,7%	32,2%	46,4%	-	-	7,2%
Angelmó	1010102	4,1%	34,2%	4,1%	54,8%	-	-	2,7%
Mirasol	1010103	10,2%	40,5%	8,5%	32,4%	-	0,4%	8,1%
Chinchín	1010104	6,9%	19,0%	13,8%	48,3%	-	-	12,1%
Intendencia	1010105	1,7%	21,7%	28,3%	45,0%	-	-	3,3%
Pelluco	1010106	18,9%	11,0%	26,0%	24,4%	0,8%	-	18,9%
Alerce	1010107	1,0%	10,0%	59,5%	27,6%	0,5%	-	1,4%
Panitao	1010113	35,8%	-	-	7,1%	-	-	57,2%
Tepual	1010115	-	50,0%	26,5%	20,6%	-	-	2,9%
Las Quemadas	1010116	1,5%	37,9%	10,6%	43,9%	1,5%	-	4,5%
La Paloma	1010117	11,2%	40,4%	19,1%	13,5%	1,1%	-	14,6%
Matadero	1010118	-	31,1%	3,5%	58,6%	-	-	6,9%
TOTAL P. Montt	PM	7,5%	27,0%	23,6%	33,1%	0,4%	0,1%	8,4%
Puerto Varas	1010901	7,5%	10,4%	33,0%	32,1%	-	-	17,0%
Nueva Braunau	1010902	-	15,0%	5,0%	80,0%	-	-	-
La Fábrica	1010905	23,8%	42,8%	9,5%	4,8%	-	-	19,1%
TOTAL P. Varas	PV	8,8%	15,6%	25,9%	34,7%	0,0%	0,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.3 Modo de operación de los artefactos residenciales que usan leña

La Tabla 23 se muestra la forma de operación de los artefactos residenciales que usan leña, en términos de la manipulación del ingreso de aire primario de combustión. Para tal efecto, se establecieron 3 jornadas de uso de los artefactos, día, tarde, y última carga. De igual manera, se definieron 3 alternativas o modos de uso, correspondientes a:

- A: Tiraje abierto: control de ingreso de aire de combustión totalmente abierto.
- M: Tiraje medio: control de ingreso de aire de combustión semi abierto
- C: Tiraje cerrado: control de ingreso de aire de combustión totalmente cerrado

Tabla 23. Uso del Tiraje según distrito para la comuna de Puerto Montt y Puerto Varas.

Distritos	Código Censal	DÍA			TARDE			ÚLTIMA CARGA		
		Abierto	Medio	Cerrado	Abierto	Medio	Cerrado	Abierto	Medio	Cerrado
Estación	1010101	9%	55%	36%	12%	48%	40%	4%	12%	84%
Angelmó	1010102	20%	45%	35%	9%	51%	41%	5%	11%	84%
Mirasol	1010103	12%	41%	46%	4%	39%	57%	2%	22%	76%
Chinchín	1010104	14%	38%	48%	0%	34%	66%	0%	22%	78%
Intendencia	1010105	18%	31%	51%	2%	30%	68%	2%	9%	89%
Pelluco	1010106	7%	39%	54%	1%	26%	73%	1%	2%	97%
Alerce	1010107	64%	18%	18%	12%	35%	54%	2%	4%	94%
Panitao	1010113	0%	67%	33%	0%	17%	83%	0%	17%	83%
Tepual	1010115	3%	25%	72%	0%	25%	75%	0%	17%	83%
Las Quemadas	1010116	48%	10%	42%	2%	44%	55%	2%	4%	94%
La Paloma	1010117	8%	49%	43%	0%	55%	45%	0%	14%	86%
Matadero	1010118	58%	8%	35%	0%	35%	65%	0%	12%	88%
TOTAL P. Montt	PM	23%	35%	43%	5%	38%	57%	2%	11%	87%
Puerto Varas	1010901	27%	27%	45%	3%	32%	65%	3%	25%	73%
Nueva Braunau	1010902	0%	94%	6%	0%	88%	12%	0%	0%	100%
La Fábrica	1010905	38%	6%	56%	0%	25%	75%	0%	6%	94%
TOTAL P. Varas	PV	25%	33%	41%	2%	39%	59%	2%	19%	79%

A: Tiraje abierto
M: Tiraje medio
C: Tiraje cerrado
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 47 y Figura 42, se puede apreciar de manera gráfica el comportamiento de los usuarios en cuanto al modo de operación de sus artefacto, según distrito censal. En ambas comunas, se observa como a medida que transcurre el día, hasta llegar a la última carga, comienza a incrementarse el mal uso de los artefactos, lo cual tiene un impacto que repercute de manera negativa en la generación de mayores emisiones asociadas a esta fuente emisora.

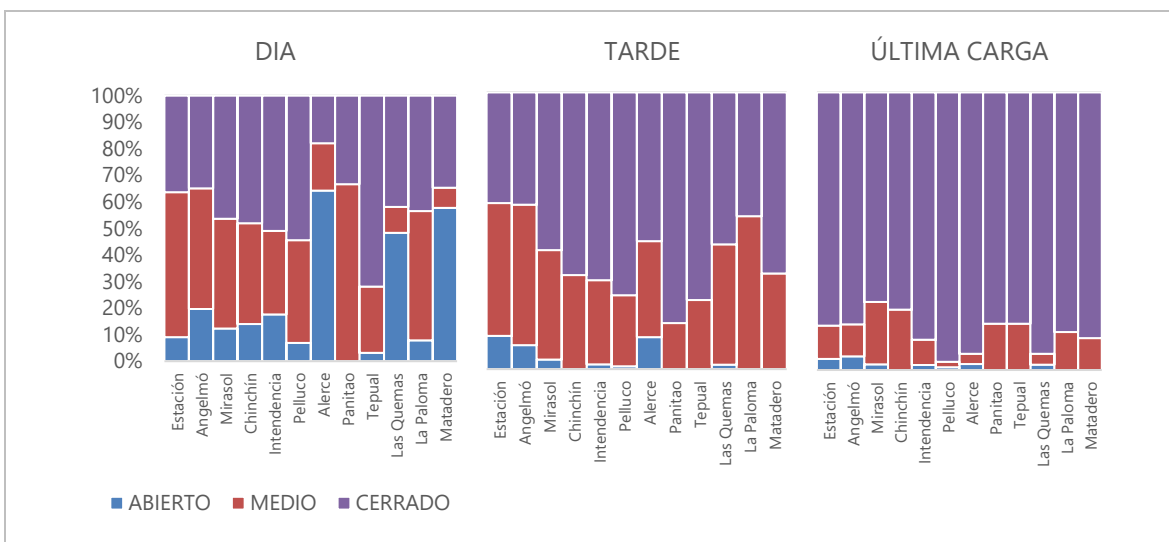


Figura 47. Distribución del uso del tiraje según distrito comuna de P. Montt
Fuente: Elaboración propia

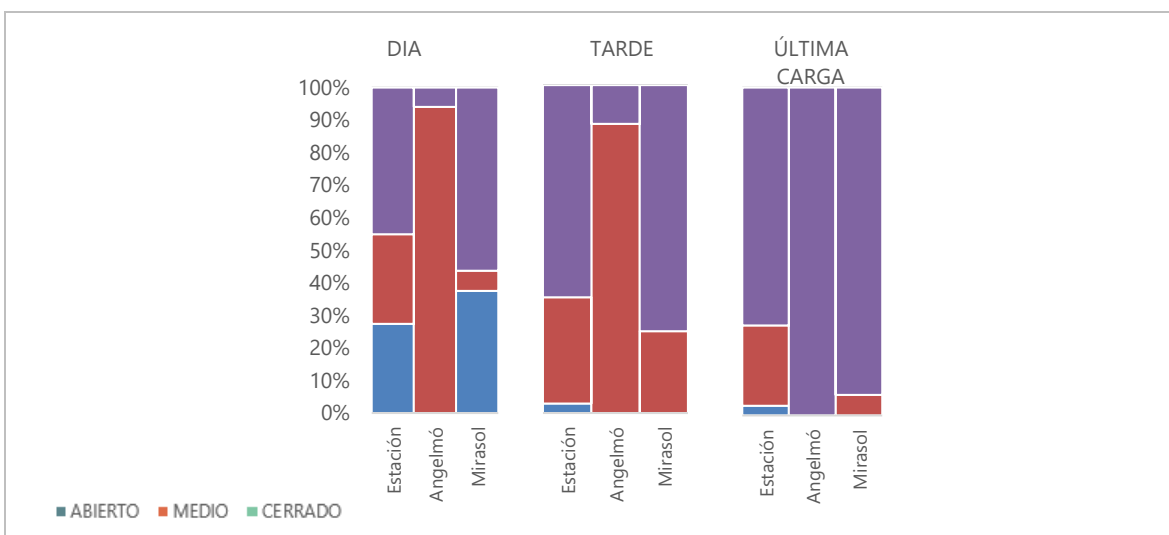


Figura 48. Distribución del uso del tiraje según distrito comuna de P. Varas
Fuente: Elaboración propia

3.8.3 CARACTERIZACIÓN DE LA LEÑA SEGÚN HUMEDAD

Junto con lo anterior, en el marco de caracterización del uso de leña, se aplicó una metodología específica para determinar la calidad de leña utilizada, en términos de su contenido de humedad. En efecto, la metodología consideró la medición de humedad de leña en 100 viviendas, elegidas aleatoriamente en los distritos de mayor densidad de viviendas de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas (Tabla 24). Esta actividad fue desarrollada por 2 profesionales del equipo consultor durante la tercera semana de noviembre. Se utilizaron 2 Xilohigrómetros Delmhorst RDM3 capaz de medir en rangos de

5 a 60% de humedad, con una resolución de 0,1%, calibrados y configurados para las especies de leña específicas de la zona de estudio.

Tabla 24. Medición de humedad de leña en viviendas de Puerto Montt y Puerto Varas.

DISTRITO	Mirasol (1010103)	Pelluco (1010106)	Alerce (1010107)	La Paloma (1010117)	Puerto Varas (1010901)	TOTAL
N° ENCUESTAS	32	16	24	12	16	100

Fuente: elaboración propia.

Se partió de una base de 4 muestras de leña por lotes inferiores a 5 metros estéreo, lo que permitió tener una adecuada certeza del resultado (Tabla 25). Luego se fue aumentando en una muestra, cada vez que aumente el lote en un metro, hasta llegar a 9 muestras con un lote igual o mayor a 10 metros, lo que está acorde con la metodología oficial de la norma chilena.

Tabla 25. Número muestra a seleccionar por lote de inspección en Vivienda.

Tamaño lote (metros estéreo)	Tamaño muestra (n)
1 a 5	4
6	5
7	6
8	7
9	8
≥ 10	9

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 49 se muestra evidencia del trabajo realizado en terreno, midiendo humedad de leña.



Figura 49. Medición de humedad de leña en viviendas de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas.

3.8.3.1 Resultados de medición de humedad de leña

Del muestreo realizado, se estableció el criterio definido en por la NCh. 2965, esto es, para que un lote se considere seco debe tener al menos un 75% de leña en esa categoría, es decir el percentil 75 de las muestras medidas debe tener un porcentaje menor o igual al 25%. De esta manera, se obtuvo que, del total de lotes muestreados, el 20% se encuentra en categoría seca y un 80% en categoría húmeda, para la comuna de Puerto Montt, mientras que, para la comuna de Puerto Varas, el porcentaje de leña seca representa el 36% y el de leña húmeda el 64%. Estos resultados tienen un impacto que repercute de manera negativa en la generación de mayores emisiones asociadas a esta fuente emisora,

Tabla 26. Calidad de la leña según campaña de medición en terreno

Opción	P. Montt		P. Varas	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
LOTE SECO*	17	20%	9	36%
LOTE HÚMEDO **	69	80%	5	64%
Total	86	100%	14	100%

* Se define como el lote que contiene sobre el 75% de las muestras secas

** Corresponde a los lotes no secos, según la definición anterior.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se consideró la definición de calidad de la leña en términos de contenido de humedad, establecida en la NCh2907.Of2005. Combustible Sólido – Leña – Requisitos, que indica porcentajes de humedad para leña seca, semi-húmeda y húmeda. Para obtener este indicador se consideró la humedad promedio de cada lote muestreado.

Tabla 27. Humedad de las muestras de leña según NCh 2907.Of2005

Opción	% Humedad	P. Montt		P. Varas	
		Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Seca	<= 25%	17	20%	6	43%
Semi-húmeda	25% - 30%	14	16%	3	21%
Húmeda	>= 30%	55	64%	5	36%
Total		86	100%	14	100%

* Se define como el lote que contiene sobre el 75% de las muestras secas

** Corresponde a los lotes no secos, según la definición anterior

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el 20% de la leña se encuentra en la categoría de húmeda, el 16% en semi-húmeda y el 64% en húmeda para la comuna de Puerto Montt. En cambio, para la comuna de P. Varas, se observa que el 42,9% se encuentra categorizada como seca, el 21,4% como semi-húmeda y el 35,7% como húmeda.

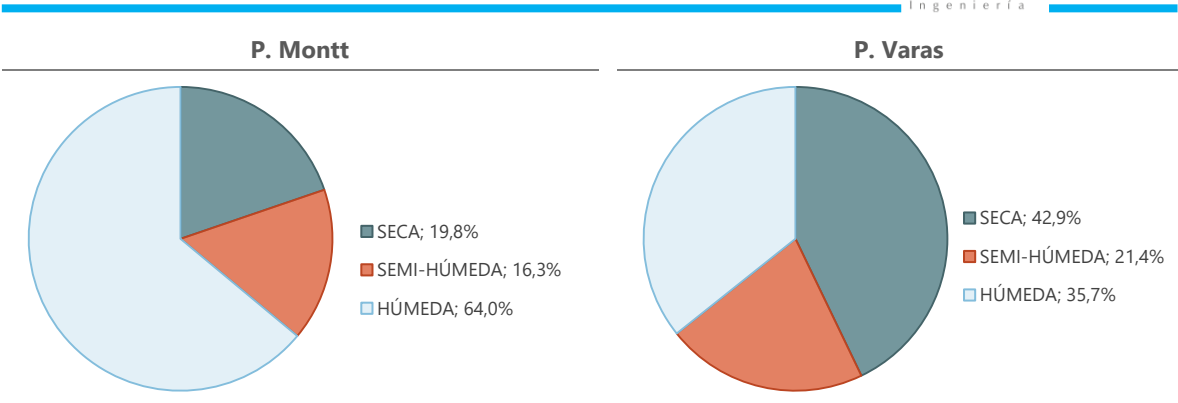
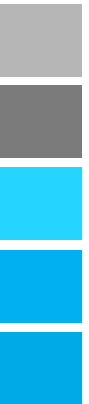


Figura 50. Calidad de la leña según campaña de medición en terreno



4 PROPUESTA PARA DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA

El proceso de delimitación del área que se define como saturada depende de diversos factores y su interacción. Las variables analizadas que confluyen en la delimitación de un polígono corresponden a variables meteorológicas, de calidad del aire, emisiones y caracterización del consumo de leña y artefactos, además de la modelación de los fenómenos atmosféricos, siendo posible proponer una zona con características comunes, que representa las condiciones de saturación por MP2,5, en el área de estudio, la que se presenta en la Figura 51.

De acuerdo al análisis de calidad del aire, se pudo determinar que se sobrepasa el P98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante los años 2017, 2018 y 2019 en las estaciones de monitoreo Mirasol y Alerce de la comuna de Puerto Montt para el contaminante MP2,5, con lo que se establece la condición de saturación de la zona. El análisis de la información de monitoreo de la estación Puerto Varas entrega indicios de superación de norma para MP2,5 y estado de latencia para MP10.

En términos de la geomorfología de la zona, el área definida como saturada se emplaza en un valle longitudinal y cierta parte de llano central, que limita al este con cordillera volcánica activa, por el lado de la Cordillera de Los Andes y al oeste con la Cordillera de la Costa y océano, mientras que, por el lado sur con el Seno de Reloncaví, tal como se observa en la Figura 52, encontrándose un área que comparte características comunes entre las comunas de Puerto Montt, Puerto Varas y las zonas pobladas de Frutillar y Llanquihue.

Considerando los factores meteorología se puede establecer comportamientos generales en los distintos periodos del año, observándose vientos con una componente nor-oeste fundamentalmente en meses fríos, lo que se suma a condiciones de estabilidad atmosférica, con predominio de calmas.

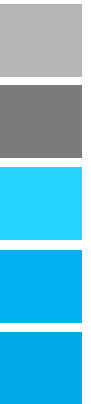
Respecto a las fuentes de emisión presentes en el área, predomina la combustión residencial de leña, representando el 94% de las emisiones de MP2,5. Se advierte además la presencia de fuentes puntuales, pero de menor relevancia en términos de emisión. La Figura 53 presenta la distribución de las fuentes puntuales en el área de estudio de acuerdo al nivel de emisiones en ton/año, observándose que los mayores emisores se encuentran dentro del área definida como saturada para las comunas en estudio. Luego la Figura 54 presenta la estimación de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña según distrito para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas. Se estimó además de manera referencial el nivel de emisión para las áreas urbanas de Frutillar y Llanquihue considerando un nivel de emisión promedio por vivienda de 73 kg/año de MP2,5 de acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la encuesta para las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas. Estimándose un nivel de emisión de entre 100-200 ton/año, siendo equivalente a distritos

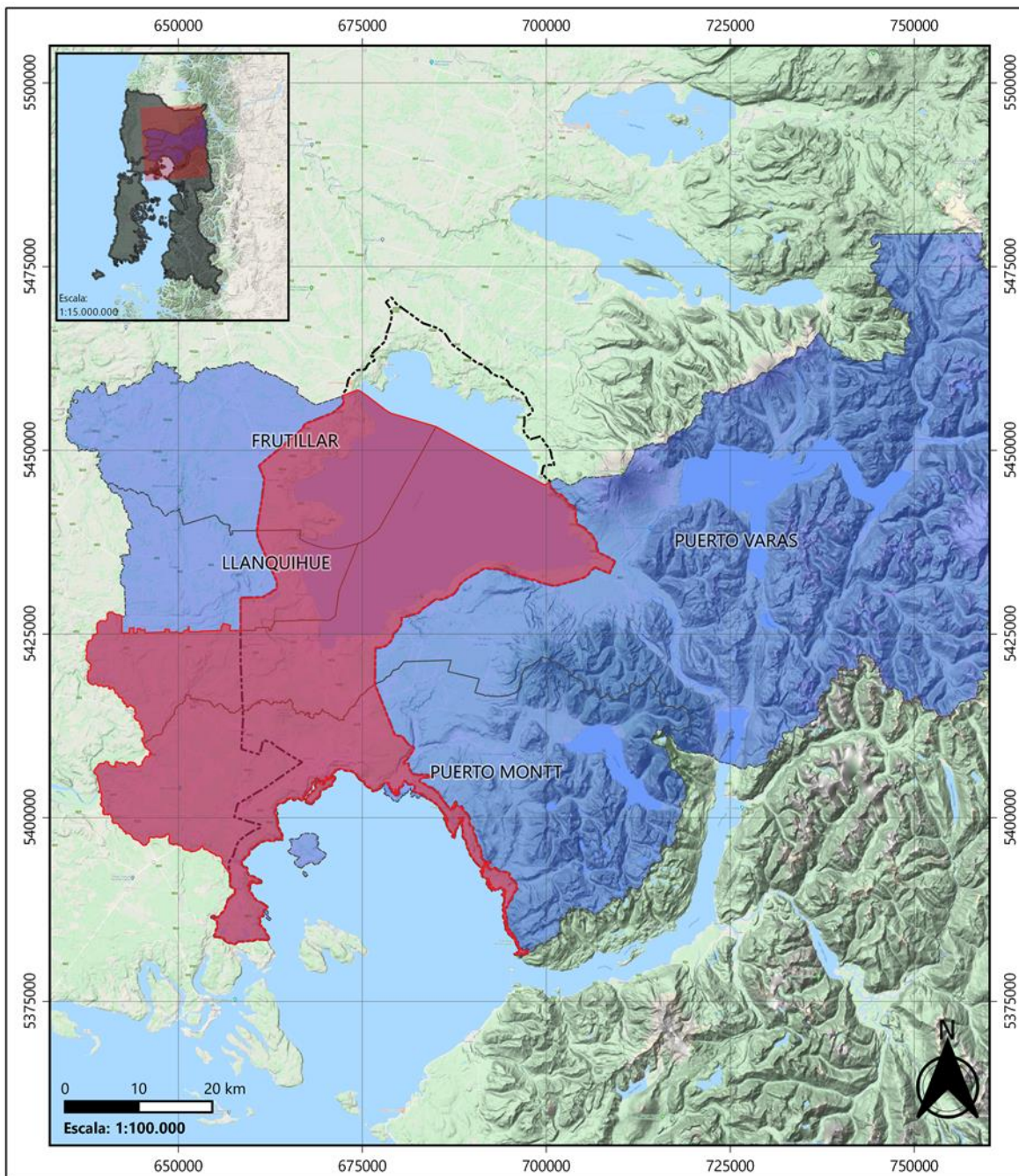
como La Fábrica o Nueva Braunau de Puerto Varas. Puerto Octay, que no se considera dentro del polígono de saturación se estima con una emisión bajo las 10 ton/año de MP2,5.

Es importante precisar que, según los objetivos del estudio, se buscaba definir un área dentro del dominio de las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas, sin embargo al analizar los antecedentes se considera necesaria la inclusión de las zonas pobladas de las comunas de Frutillar y Llanquihue, por cuanto comparten un área geográfica común en términos geomorfológicos, comparten trayectorias de viento que pueden hacer que la masa de aire con saturación por MP2,5 se desplace desde Puerto Montt a las demás zonas propuestas y desde éstas hacia Puerto Varas y Puerto Montt. Respecto a las fuentes puntuales, el escenario actual indica que son menos relevantes respecto a las fuentes de combustión residencial de leña, sin embargo, en un escenario futuro, que regule y reduzca esta última hará que las fuentes fijas aumenten su participación en el inventario total, siendo necesario que toda el área definida quede bajo la regulación de un futuro PDA que permita que nuevas fuentes industriales queden reguladas bajo un límite de emisión, resguardando un posible aumento de la condición de saturación de la zona de estudio.

La zona propuesta tiene una superficie de 2.080 km² que equivale al 4 % de la superficie regional. Para la delimitación del polígono, se consideró como base el área que fija los límites para el Plan Regulador Intercomunal Lago Llanquihue – Puerto Montt de SERVIU Los Lagos. Para delimitar la zona saturada no se consideró la comuna de Puerto Octay debido a su lejanía con Puerto Montt que representa el mayor emisor, su diferente configuración geográfica y su bajo nivel de emisión.

Este límite intercomunal se consideró como referencia por el lado este, para considerar las cotas de altura de terreno, excluyendo las zonas de cordillera. Luego por el lado norte se consideró el límite comunal de Puerto Varas y Frutillar. Por el lado oeste se considera nuevamente el límite intercomunal para las comunas de Frutillar y Llanquihue, abarcando las áreas urbanas, y luego se extiende hasta los límites comunales de Puerto Montt y Puerto Varas a fin de abarcar emisores de fuentes puntuales importantes y un futuro desarrollo industrial del área. El polígono con la identificación de las zonas pobladas se presenta en la Figura 55.









DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA ÁREA METROPOLITANA PUERTO MONTT - LAGO LLANQUIHUE

Estudio: DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LAS COMUNAS DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS.

Leyenda

-  Región Los Lagos
-  Limite Intercomunal
-  Comunas
-  Polígono Zona Saturada

Sistema de Coordenadas:

Proyección: UTM
Zona 18S
Coordenadas: UTM-84

Ubicación:

Comunas de Puerto Montt - Puerto Varas - Llanquihue - Frutillar
Provincia de Llanquihue
Región de Los Lagos

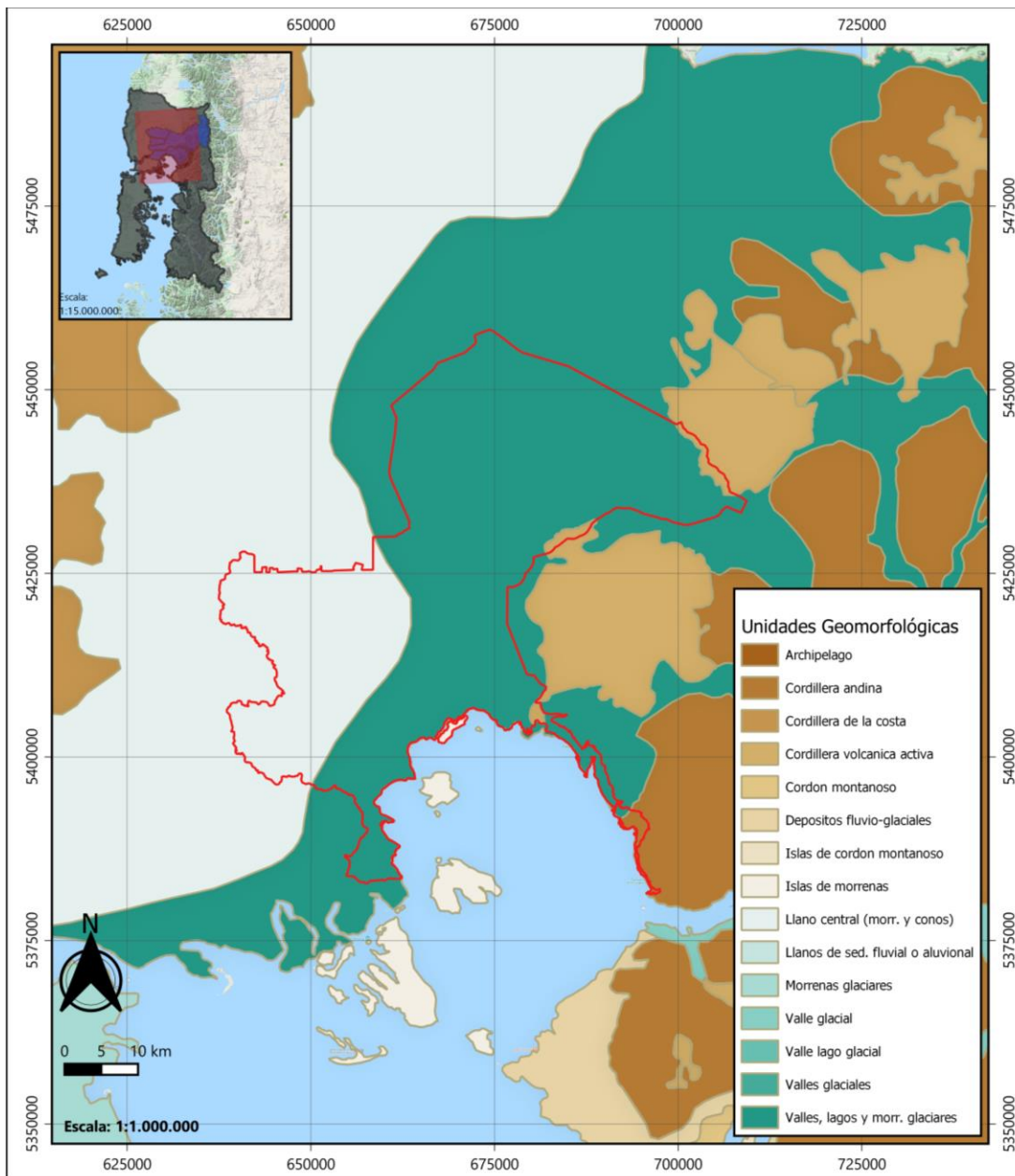
Desarrollado por:


Diciembre 2019

Mandante:

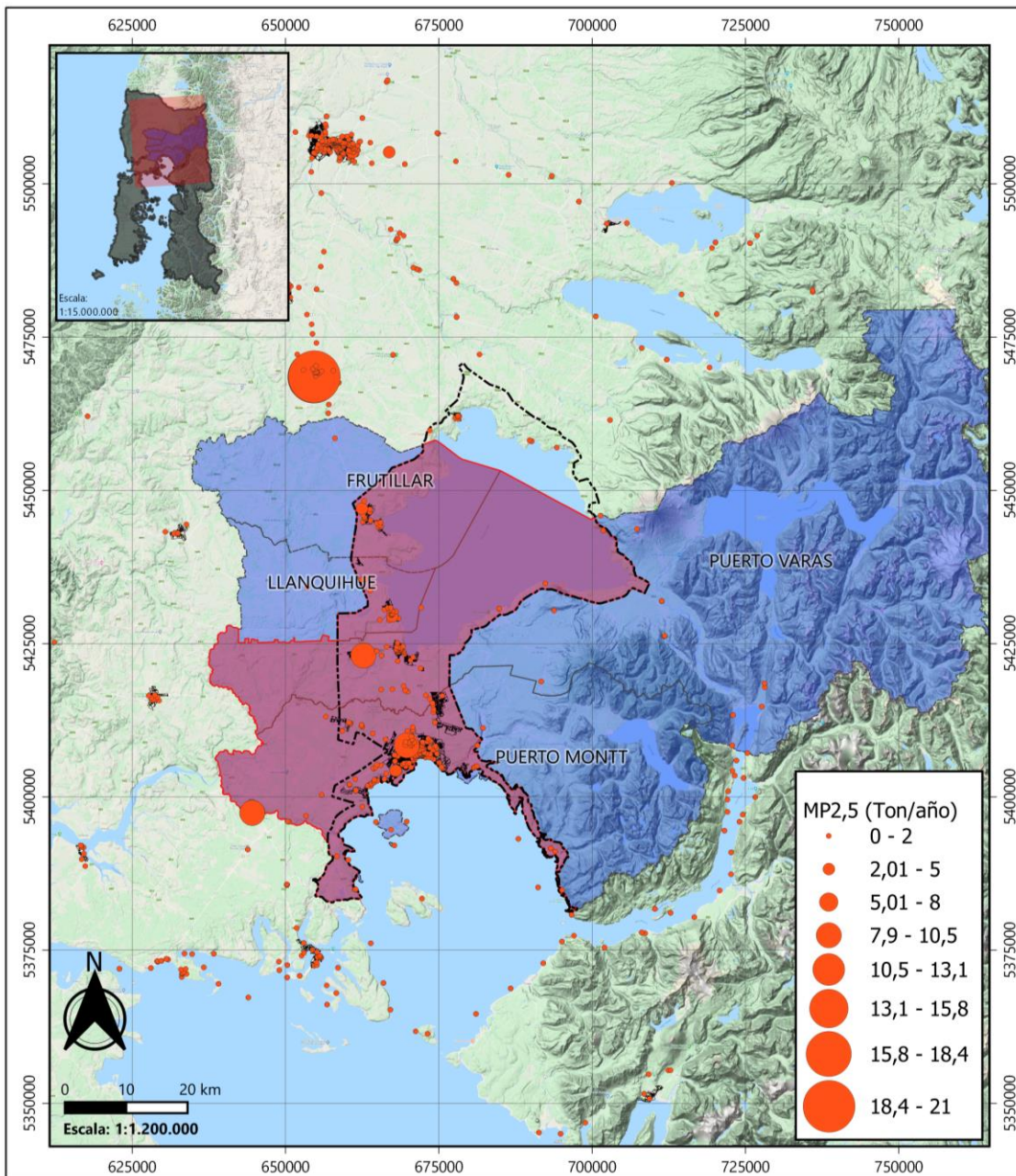


Figura 51. Delimitación del área saturada del área metropolitana Puerto Montt – Lago Llanquihue



DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA ÁREA METROPOLITANA PUERTO MONTT - LAGO LLANQUIHUE			
Mapa: UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO		Estudio: DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LAS COMUNAS DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS.	
Leyenda  Polígono Zona Saturada	Sistema de Coordenadas: Proyección: UTM Zona 18S Coordenadas: UTM-84	Ubicación: Comunas de Puerto Montt - Puerto Varas - Llanquihue - Frutillar Provincia de Llanquihue Región de Los Lagos	Desarrollado por: 
			Mandante: 

Figura 52. Unidades geomorfológicas en el área del estudio y zona saturada



DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA ÁREA METROPOLITANA PUERTO MONTT - LAGO LLANQUIHUE			
Mapa: FUENTES PUNTALES EN POLÍGONO DE ZONA SATURADA Y COMUNAS ALEDAÑAS		Estudio: DELIMITACIÓN DE ZONA SATURADA Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LAS COMUNAS DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS.	
Leyenda Región Los Lagos Limite Intercomunal Comunas Polígono Zona Saturada	Sistema de Coordinadas: Proyección: UTM Zona 18S Coordenadas: UTM-84	Ubicación: Comunas de Puerto Montt - Puerto Varas - Llanquihue - Frutillar Provincia de Llanquihue Región de Los Lagos	Desarrollado por: Diciembre 2019
		Mandante: Ministerio del Medio Ambiente	

Figura 53. Fuentes Puntuales de Emisión en el área de estudio y zona saturada

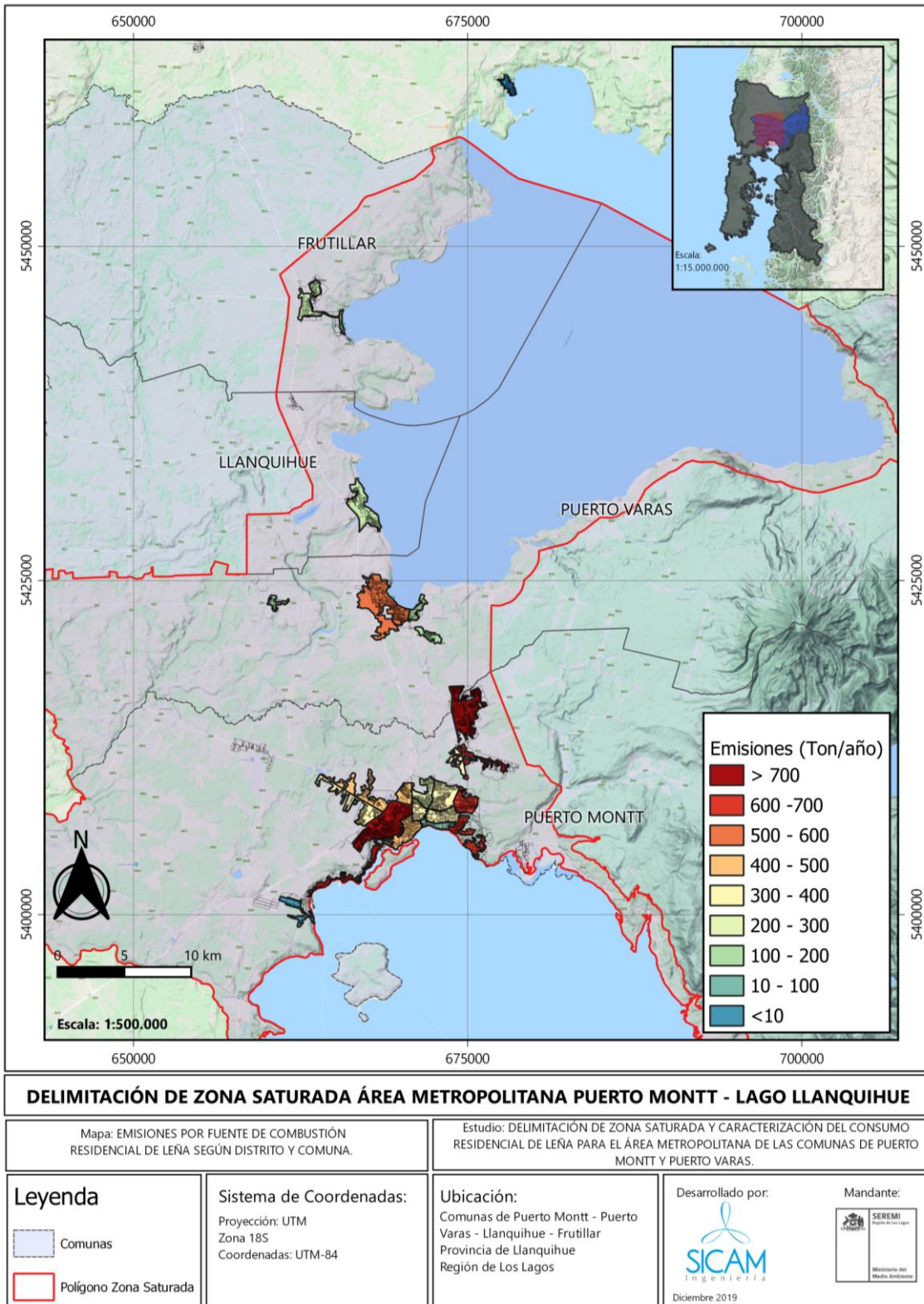


Figura 54. Fuentes de combustión residencial de leña en el área de estudio y zona saturada

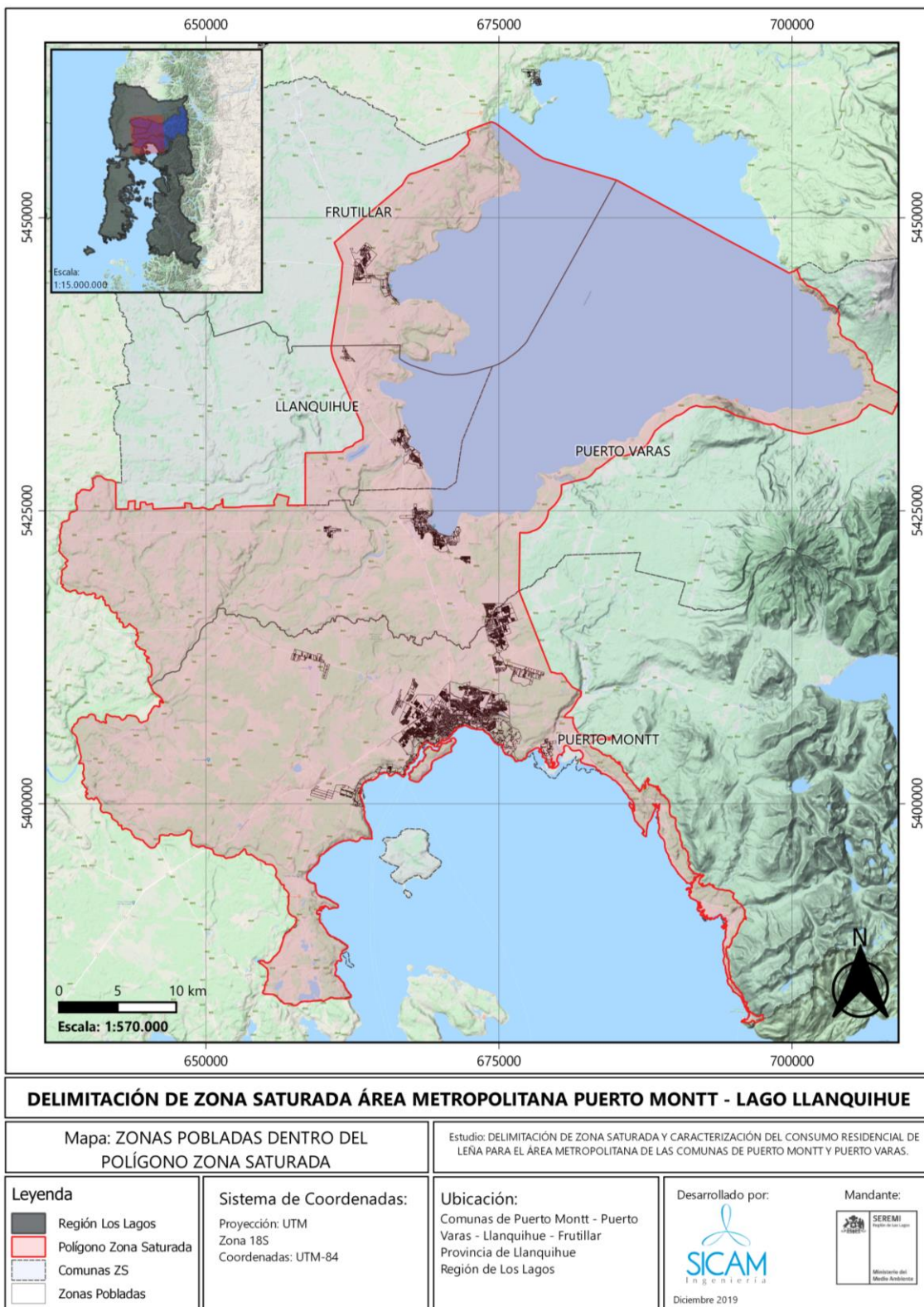


Figura 55. Zona Saturada y zonas pobladas

5 ANEXOS DIGITALES

5.1 ANEXO 1. RESOLUCIONES PARA EMRP PARA ESTACIONES DE MONITOREO

5.2 ANEXO 2. ENCUESTA DE CONSUMO DE LEÑA Y CARACTERIZACIÓN DE ARTEFACTOS

