



INFORME TÉCNICO

DECLARACIÓN DE ZONA SATURADA POR MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE FINO (MP_{2,5}) DEL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL MAULE.

SEREMI del Medio Ambiente Región del Maule

Octubre 2020

ÍNDICE

Resumen	3
1 Antecedentes Generales	4
1.1 Aspectos Geográficos	4
1.2 Aspectos Climatológicos	5
1.3 Red de Monitoreo de Calidad del Aire	6
2 Evaluación Norma Primaria de MP_{2,5} en la Región del Maule	7
2.1 Niveles de MP _{2,5} y condiciones de superación de Norma	7
2.2 Resultados evaluación de cumplimiento Norma	8
3 Fuentes emisoras de Material Particulado MP_{2,5}	9
4 Condiciones Meteorológicas y contaminación por MP_{2,5}	11
4.1 Factor Meteorológico de la contaminación por MP _{2,5}	11
4.2 Modelación de la dispersión de MP _{2,5} en la Región del Maule	14
4.3 Zonas saturadas vigentes en la Región del Maule	15
4.4 Descripción del área geográfica a declarar como zona Saturada	16
5 Conclusiones	17
ANEXO N°1	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	División Política Administrativa y Geomorfología de la Región del Maule	4
Figura 2	Climograma para las zonas de Curicó y Parral	5
Figura 3	Distribución Porcentual de Emisiones de MP _{2,5} , Año 2017	9
Figura 4	Ciclo diario MP _{2,5} Estaciones de Calidad del Aire	11
Figura 5	Ciclos diarios de MP _{2,5} , Temperatura y Velocidad del Viento	12
Figura 6	Ciclo Estacional de MP _{2,5} en las estaciones de Curicó y Talca – La Florida	13
Figura 7	Total Episodios Críticos MP _{2,5} en Curicó, Talca y Linares, periodo 2018-2020	13
Figura 8	Concentración para el promedio anual y para el percentil 98 diario de MP _{2,5}	14
Figura 9	Polígono zona saturada por MP ₁₀ comunas de Talca y Maule	15
Figura 10	Polígono zona saturada por MP _{2,5} del Valle Central de la provincia de Curicó	15
Figura 11	Polígono de la zona saturada del Valle Central de la Región del Maule	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	1	Temperaturas Estacionales de Curicó y Parral	6
Tabla	2	Valores medios de precipitación acumulada [mm], para estación del año	6
Tabla	3	Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire Región del Maule	6
Tabla	4	Límites de la norma primaria de calidad para MP _{2,5}	7
Tabla	5	Niveles de Episodios de MP _{2,5}	7
Tabla	6	Evaluación de la norma 24 horas para MP _{2,5} para los años 2017, 2018 y 2019	8
Tabla	7	Evaluación de promedios anuales de MP _{2,5} para los años 2017, 2018 y 2019	9
Tabla	8	Emisiones Totales para la Región del Maule, año 2017 [ton/año]	9
Tabla	9	Emisiones Totales para la Región del Maule (mayo-agosto), año 2017 [ton/año]	10
Tabla	10	Emisiones Totales por Comunas de la Región del Maule, año 2017 [ton/año]	10

Resumen

Se presentan a continuación los antecedentes para la Declaración de Zona Saturada por Material Particulado $MP_{2,5}$, a las comunas de Talca y Linares y las comunas aledañas ubicadas en el valle central de la Región del Maule.

El inventario de emisiones en la zona indica que un 80% de las emisiones de $MP_{2,5}$ se concentran en las comunas del Valle Central de la Región, mientras que en las comunas de la Cordillera de la Costa se emite un 13% y en las planicies litorales sólo un 7% de las emisiones regionales. Durante el periodo mayo-agosto se incrementan las emisiones areales alcanzado un aporte del 91% de las emisiones del $MP_{2,5}$. Lo anterior, sumado a la configuración geográfica de la zona y las condiciones meteorológicas desfavorables, que generan mala ventilación en las madrugadas en el periodo otoño-invierno, se traduce en un impacto en la calidad del aire verificable en las estaciones de monitoreo.

Los resultados de la evaluación de la norma primaria de Material Particulado $MP_{2,5}$ (D.S. N°12/2011), informada al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) en los Informes Técnicos código **DFZ-2020-2493-VII-NC** y **DFZ-2020-2494-VII-NC**, ambos de octubre 2020, establecen que: La comuna de Talca se encuentra en condición de “Zona Saturada” por Material Particulado Respirable $MP_{2,5}$ para la norma diaria (24 hrs) y anual para el periodo de 2017 a 2019, con valores de superación de la norma diaria que solo para el periodo 2019 alcanzan $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130 % del valor de la norma) en la estación Universidad de Talca, $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (126 % de la norma) en Universidad Católica del Maule y $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (184 % del valor de la norma) en la estación Talca - La Florida. Respecto de la norma anual, la estación Talca - La Florida presenta un valor de superación para el periodo trianual 2017-2019 de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130% de la norma), mientras que la estación Universidad Católica del Maule presenta un valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 % del valor de la norma), que corresponde a condición de latencia, al igual que la estación Universidad de Talca con una concentración de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (85 % del valor de la norma). Linares por su parte, presenta valores de sobre la norma diaria (24 hrs) y anual para el periodo 2017-2019, para el año 2019 alcanzó $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (215 % del valor de la norma), mientras que el promedio trianual para el periodo de 2017 al 2019, fue $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalente a 143% (del valor de la norma). Respecto a la comuna de Curicó, ésta se encuentra bajo la condición de saturación para $MP_{2,5}$, establecida mediante el D.S. N°53/2015 del MMA.

Por lo anteriormente expuesto, se propone una declaración de zona saturada de acuerdo con el polígono que se describe más adelante en este informe, que abarca una superficie aproximada de 5.430 km^2 . Para la definición de la extensión de la zona saturada, se han considerado los aspectos geográficos, límites administrativos de las comunas evaluadas, el factor meteorológico asociado a la remoción de contaminantes y la ubicación de las principales fuentes emisoras así como de la población expuesta a los impactos en calidad del aire por $MP_{2,5}$.

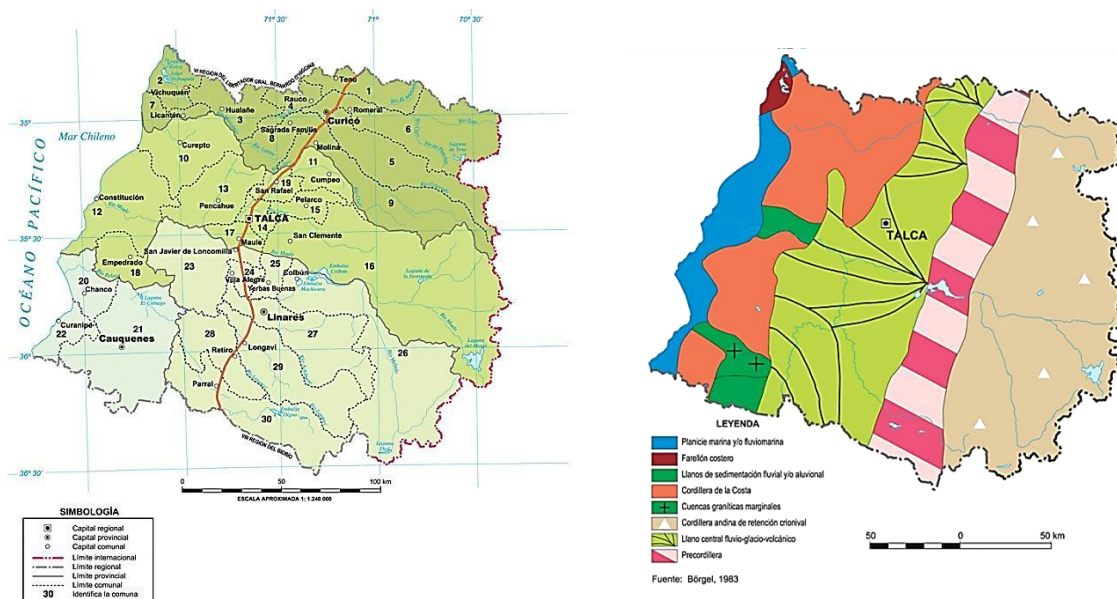
1. Antecedentes Generales

1.1. Aspectos geográficos

Según lo reportado en el informe N°211/20 de la Dirección Meteorológica de Chile, la Región de Maule se localiza entre los paralelos 34° 41' y 36° 33' latitud Sur y entre los 70° 00' y los 72° 40' longitud Oeste. Hacia el norte limita con la Región de O'Higgins, por el sur con la Región de Ñuble, al este con la República Argentina y al oeste con el Océano Pacífico. Su morfología presenta los 3 sistemas longitudinales típicos del relieve del país, donde los rasgos más sobresalientes lo constituye la Cordillera de Los Andes, la cual posee alturas promedio entre 2.500 y 3.500 metros, aunque algunas cumbres superan los 3.800 metros. Por otra parte, la Cordillera de la Costa, comienza a perder significativamente su altura, variando entre los 400 y los 1.000 metros y, por último, la Depresión Intermedia que constituye un amplio valle, con 40 kilómetros de ancho frente a Linares y un largo de 170 kilómetros.

La Región posee una superficie de 30.296,1 km² y está compuesta por dos cuencas hidrográficas, la del Río Mataquito en el norte de la región y la cuenca del Río Maule en el sur, ambas se extienden desde la cordillera de los Andes hasta el océano Pacífico. Las comunas de la región del Maule, que tienen todo su territorio o parte de él en el valle central son: Curicó, Teno, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia, Río Claro, San Rafael, Pelarco, Talca, Maule, San Clemente, San Javier, Colbún, Villa Alegre, Yerbas Buenas, Linares, Longaví, Retiro y Parral (ver figura N°1).

Figura 1. División Política Administrativa y Geomorfología de la Región del Maule



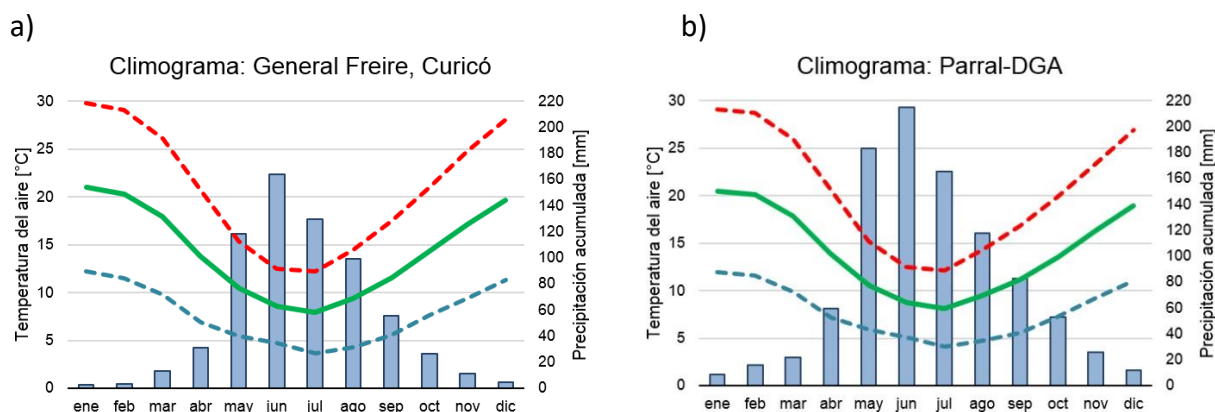
Fuente: Instituto Geográfico Militar

Tiene una población total de 1.131.939¹ habitantes, correspondiendo al 5,8% de la población nacional (crecimiento del 15,8% entre el año 2002 al 2017 y una proyección al año 2035 del 33,3%). La población de la Región, en su mayoría, habita en zonas urbanas (73,2%), siendo las capitales provinciales (Talca, Curicó, Linares y Cauquenes), seguidas de Molina y Constitución, las comunas con mayor proporción de población urbana (sobre el 80 %), que por lo demás son las comunas con mayor cantidad de habitantes.

1.2. Aspectos Climatológicos

El clima de la región se define como templado cálido con estación seca y se ve influenciado directamente por las características orográficas del lugar, que ejercen su accionar sobre los registros de temperatura en la región². Las temperaturas medias anuales para el valle central de la Región del Maule varían en torno a los 14°C, en Curicó y Parral, siendo la diferencia entre el mes más cálido y más frío del orden de 13 y 12,4°C respectivamente (ver figura N°2).

Figura 2. Climograma para las zonas de Curicó y Parral



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Climograma Estaciones General Freire en Curicó (Panel a) y Parral-DGA (Panel b). Se muestran los valores mensuales de precipitación acumulada media (barras), temperatura media (línea continua verde), temperatura máxima media (línea discontinua roja) y temperatura mínima media (línea discontinua azul).

La temperatura máxima y mínima media varía de 13 a 29 °C y de 4 a 12°C, respectivamente, durante las distintas estaciones del año (Ver Tabla N°1). Las amplitudes térmicas se observan más altas y bajas, en invierno con un valor entorno a los 17°C y 9°C, respectivamente, para las estaciones meteorológicas de General Freire y Parral.

¹ Según Censo 2017 proyectado al año 2020

² Informe Climatológico en base a la información disponible de las estaciones meteorológicas del Aeródromo de Curicó (SCIC), estaciones pluviométricas de San Javier y Villa Longaví, pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), las estaciones pluviométricas de Lontué y El Guindo de la Dirección General de Aguas, y las estaciones Meteorológicas de, Linares y Parral, pertenecientes al Convenio DMC-Ministerio del Medio Ambiente.

Tabla 1: Temperaturas Estacionales de Curicó y Parral

Estaciones del año	General Freire, Curicó			Parral DGA		
	Temperatura del aire [°C]			Temperatura del aire [°C]		
	máxima	mínima	media	máxima	mínima	media
Otoño	20,7	7,4	14,1	20,6	7,6	14,1
Invierno	13,0	4,2	8,6	13,0	4,7	8,8
Primavera	21,1	7,5	14,3	20,0	7,4	13,7
Verano	28,9	11,7	20,3	28,2	11,5	19,9

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Las precipitaciones en la región son de características frontales concentrándose principalmente en el periodo invernal, alcanzando las precipitaciones entre los meses de mayo y agosto el 70% a 78% del total anual. Presenta una estación seca entre 3 y 5 meses, entre noviembre y marzo con precipitaciones inferiores a 20 milímetros mensuales. Las precipitaciones acumuladas medias (Ver Tabla N°2) se concentran en invierno, con un acumulado de 374 a 393 mm entre General Freire y El Guindo; y de 420 a 498 mm entre San Javier y Parral (ver tabla N°2).

Tabla 2. Valores medios de precipitación acumulada [mm], para estación del año

Estaciones del año	General Freire, Curicó	Lontué	El Guindo	San Javier	Linares	Villa Longaví	Parral
Otoño	162,0	159,1	175,6	201,6	238,2	235,7	265,1
Invierno	392,9	374,8	380,4	421,8	471,3	479,7	497,5
Primavera	93,0	97,1	103,4	112,2	143,6	148,2	161,0
Verano	10,8	12,7	13,4	21,0	28,2	30,0	36,3

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

1.3. Red de Monitoreo de Calidad del Aire

La zona de estudio cuenta con una red de vigilancia de calidad del aire compuesta por 4 estaciones de monitoreo clasificadas como Estaciones de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP), según se indica a continuación:

Tabla 3: Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire Región del Maule

Comuna	Estación	Coordenadas UTM (m)		Resolución EMRP (SMA)
		E	N	
Curicó	Curicó	296.671	6.127.460	N°617/2015
Talca	Universidad de Talca	260.863	6.078.671	N°382/2016
	Talca La Florida	256.884	6.075.404	N°1841/2020
	Católica del Maule	262.201	6.075.481	N°71/2016
Linares	Linares	265.810	6.031.040	N°263/2017

Fuente: Departamento de Redes de Monitoreo, MMA.

Todas estas estaciones cumplen los requisitos establecidos en el Decreto Supremo N°12 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente (en adelante D.S. N°12/2011 MMA), que establece la Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP_{2,5}.

Desde el año 2016 hasta a la fecha, se cuenta con monitoreo en Linares, y desde 2013 hasta la fecha en Talca se cuenta con monitoreo continuo validado de MP_{2,5} evidenciado una superación de la correspondiente norma primaria en dichos sectores, en su concentración diaria, por lo que en conformidad a lo dispuesto en la Ley N° 19.300 procede la declaración de zona saturada por MP_{2,5}. En el caso de Curicó, desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del año 2014, se constató la superación de la norma primaria para MP_{2,5}, razón por la cual se declaró como zona saturada al valle central de la provincia de Curicó, mediante D.S. N°53/2015 MMA.

2. Evaluación Norma Primaria de MP_{2,5} en la Región del Maule

2.1. Niveles de MP_{2,5} y condiciones de superación de Norma

La Norma Primaria de Calidad Ambiental para el Material Particulado Fino MP_{2,5}, establecida a través del Decreto Supremo N°12/2011, del Ministerio del Medio Ambiente define los siguientes valores límites y condiciones para su evaluación:

Tabla 4: Límites de la norma primaria de calidad del aire para MP_{2,5}

Periodo	Métrica	Valor	Condiciones de superación
Diario	Promedio aritmético de 24 hrs.	50 µg/m ³	Se considerará sobrepasada la norma diaria cuando el percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año, sea mayor a 50 µg/m ³ .
Anual	Promedio aritmético de los valores de concentración Mensual en la estación monitorea, en un año calendario.	20 µg/m ³	Se considerará sobrepasada la norma anual cuando el promedio tri-anual de las concentraciones anuales sea mayor a 20 µg/m ³

Fuente: Decreto Supremo N°12/2011 MMA

Así mismo, la norma define los siguientes niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para el MP_{2,5}, en función de la concentración promedio de 24 horas (ver tabla N°3 adjunta).

Tabla 5: Niveles de Episodios de MP_{2,5}

Nivel	Concentración 24 horas MP _{2,5} (µg/m ³)
1. Alerta	80 -109
2. Preemergencia	110 -169
3. Emergencia	170 - superior

Fuente: Decreto Supremo N°12/2011 MMA

2.2. Resultados de la evaluación de cumplimiento norma MP_{2,5}

La evaluación de la norma 24 horas para MP_{2,5} determinó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones diarias, para los años 2017, 2018 y 2019, superaron el límite de 50 µg/m³ establecido en la norma de MP_{2,5} en todas las estaciones evaluadas. El análisis determinó que la concentración en la estación Universidad de Talca en el año 2017 fue de 84 µg/m³ (168%), en el año 2018 fue de 85 µg/m³ (170%) y en el año 2019 fue de 65 µg/m³ (130%). El análisis en la estación Universidad Católica del Maule determinó que la concentración en el año 2017 fue de 84 µg/m³ (168%), en el año 2018 la concentración fue de 79 µg/m³ (158%) y en el año 2019 la concentración fue de 63 µg/m³ (126%). Por último, la estación La Florida de Talca en el año 2017 la concentración fue de 117 µg/m³ (234%), en el año 2018 la concentración fue de 131 µg/m³ (262%) y en el año 2019 la concentración fue de 92 µg/m³ (184%). Para la estación Linares, correspondió a una concentración de 141 µg/m³ (282%) el año 2017, 138 µg/m³ (275%) el año 2018 y 108 µg/m³ (215%) el año 2019.

Complementariamente, se calculó para las estaciones de monitoreo el número de días con excedencias a la norma de 24 horas de MP_{2,5}, resultando que los días con excedencias en la estación Universidad de Talca para el año 2017 fue de 21 días, para el año 2018 fue de 22 días y para el año 2019 fue de 13 días. En relación con la estación Universidad Católica del Maule el número de excedencias el año 2017 fue de 28 días, el año 2018 fue de 31 días y el año 2019 fue de 19 días. Por último, la estación La Florida de Talca el número de excedencias el año 2017 fue de 46 días, el año 2018 fue de 67 días y el año 2019 fue de 49 días.

La estación Linares el año 2019 alcanzó un valor de 108 µg/m³ (215 % de la norma diaria) y presenta 58 días de excedencia de la mencionada norma al año 2017, 78 días para el año 2018 y 70 días, para el año 2019. Un resumen de evaluación de la norma diaria se presenta en la tabla N°6 adjunta.

Tabla 6: Evaluación de la norma 24 horas para MP_{2,5} para los años 2017, 2018 y 2019

Estación	Percentil 98 Año 2017 (µg/m ³)	% de la Norma 24 horas (50 µg/m ³)	Percentil 98 Año 2018 (µg/m ³)	% de la Norma 24 horas (50 µg/m ³)	Percentil 98 Año 2019 (µg/m ³)	% de la Norma 24 horas (50 µg/m ³)
Universidad de Talca	84	168	85	170	65	130 %
U. C. del Maule	84	168	79	158	63	126 %
La Florida de Talca	117	234	131	262	92	184 %
Linares	141	282	138	275	108	215 %

Fuente: Informes DFZ-2020-2493-VII-NC y DFZ-2020-2494-VII-NC, SMA octubre 2020.

En relación con la evaluación de la norma anual para MP_{2,5}, se requieren de tres años calendarios sucesivos para ser evaluada y comparada con límite normativo de 20 µg/m³. El promedio anual para el periodo comprendido entre el año 2017 y el año 2019, determinó que la evaluación trianual de la norma fue superada en la estación La Florida con una concentración de 26 µg/m³ (130%) y la estación Universidad Católica del Maule presenta una concentración de latencia de 20 µg/m³ (100%), al igual que la estación Universidad de Talca con una concentración de 17 µg/m³ (85%). La estación Linares registró un promedio trianual para el periodo de 2017 al 2019, de 29 µg/m³, equivalente a 143% de la norma anual.

Tabla 7: Evaluación promedios anuales de MP_{2,5} para los años 2017, 2018 y 2019

Estación	Promedio Anual 2017 (µg/m ³)	Promedio Anual 2018 (µg/m ³)	Promedio Anual 2019 (µg/m ³)	Promedio Trianual (2017-2018-2019) (µg/m ³)	% de la Norma Anual (20 µg/m ³)
U. de Talca	17	17	17	17	85 %
U. C. del Maule	20	20	20	20	100 %
La Florida de Talca	25	29	24	26	130 %
Linares	28	30	28	29	143 %

Fuente: Informes DFZ-2020-2493-VII-NC y DFZ-2020-2494-VII-NC, SMA octubre 2020.

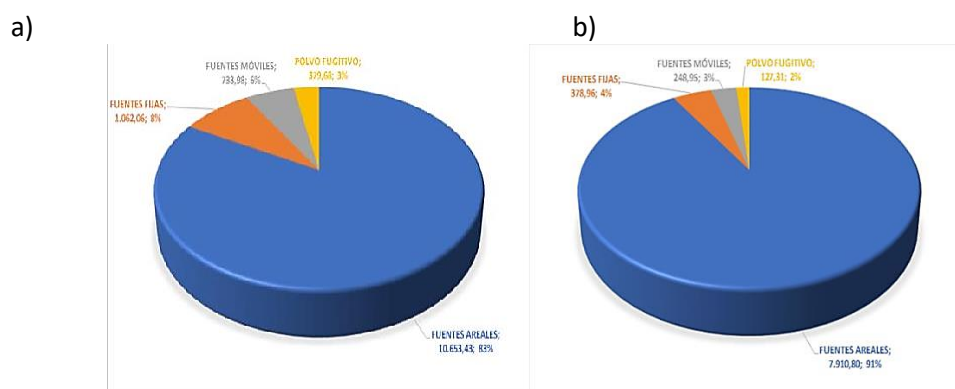
3. Fuentes emisoras de Material Particulado MP_{2,5}

De acuerdo a las estimaciones del Inventario de Emisiones para la región del Maule³, las emisiones de MP_{2,5} en el año 2017, ver Tabla N°8, alcanzaron un valor anual de 12.829 [ton/año], de las cuales un 83% corresponde a fuentes del tipo areal y un 8,3% a fuentes fijas, concentrando el mayor aporte de emisiones durante el periodo mayo-agosto, donde se observa un incremento de las emisiones areales que alcanza un 91% (9.914 ton. de MP_{2,5}), lo que se relaciona principalmente con las emisiones de combustión de biomasa (ver figura N°3).

Tabla 8: Emisiones totales para la Región del Maule, año 2017 [ton/año]

GRUPO	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV	SO ₂	NOx	NH ₃
FUENTES AREALES	11.430	10.653	186.461	150.602	124	2.093	3.943
FUENTES FIJAS	1.325	1.062	39.528	599	4.051	15.911	829
FUENTES MÓVILES	739	734	46.630	6.036	33	13.673	157
POLVO FUGITIVO	2.202	380	-	-	-	-	-
TOTAL	15.696	12.829	272.620	157.237	4.208	31.677	4.930

Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule (Estudio SISTAM Ingeniería, 2019).

Figura 3. Distribución Porcentual de Emisiones de MP_{2,5}, Año 2017

Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule (Estudio SISTAM Ingeniería, 2019).

³ SISTAM Ingeniería, 2019.

Tabla 9: Emisiones Totales para la Región del Maule (mayo-agosto), año 2017 [ton/año]

GRUPO	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃
FUENTES AREALES	8.500	7.911	142.773	92.428	80	1.478	1.434
FUENTES FIJAS	464	379	16.004	258	1.356	6.220	320
FUENTES MÓVILES	251	249	15.478	2.017	11	4.658	52
POLVO FUGITIVO	718	127	-	-	-	-	-
TOTAL	9.932	8.666	174.256	94.703	1.447	12.355	1.806

Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule (Estudio SISTAM Ingeniería, 2019).

A nivel regional, las mayores emisiones se generan en las comunas de Linares con 10,7%, Talca con un 10,4 % y Curicó con 8,3 %. En menor medida las comunas de San Clemente con un 5,7%, Cauquenes con un 5,3%, y Constitución con 5,3%. Lo anterior se traduce en que las mayores emisiones se concentren en las comunas del Valle Central de la Región con un 80%, mientras que en las comunas de la Cordillera de la Costa se emite un 13% y en las planicies litorales sólo un 7% de las emisiones regionales.

Tabla 10: Emisiones Totales por Comunas de la Región del Maule, año 2017 [ton/año]

Nº	COMUNA	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	COV	SO ₂	NO _x	NH ₃
1	LINARES	1.660	1.375	21.811	15.629	46	665	319
2	TALCA	1.788	1.338	26.106	15.308	397	1.592	426
3	CURICÓ	1.271	1.062	19.829	13.415	25	758	395
4	SAN CLEMENTE	847	731	16.606	10.118	28	1.571	234
5	CAUQUENES	794	684	12.294	9.456	11	775	130
6	CONSTITUCIÓN	876	679	43.426	7.222	1.185	11.687	402
7	PARRAL	706	610	12.573	8.040	11	706	344
8	MOLINA	645	577	11.466	7.607	217	699	173
9	MAULE	594	514	10.491	5.856	106	742	145
10	YERBAS BUENAS	533	482	6.007	3.031	583	962	342
11	TENO	547	475	8.462	4.762	1.091	3.876	304
12	SAN JAVIER	563	464	10.199	6.473	7	975	144
13	LONGAVÍ	526	459	9.170	6.335	7	451	271
14	LICANTÉN	474	349	3.443	1.781	64	658	95
15	RETIRO	397	330	6.067	3.720	119	286	198
16	COLBÚN	380	330	7.708	5.094	5	414	148
17	VILLA ALEGRE	320	266	5.279	2.902	3	305	82
18	SAGRADA FAMILIA	299	256	5.152	3.235	4	396	105
19	ROMERAL	327	250	4.613	3.310	277	634	102
20	RÍO CLARO	335	249	4.513	2.694	4	731	120
21	HUALAÑÉ	223	161	3.225	2.375	3	350	44
22	RAUCO	206	157	3.341	1.823	2	550	48
23	CHANCO	199	150	2.893	2.405	2	233	43
24	CUREPTO	206	149	2.964	3.407	2	236	45
25	SAN RAFAEL	194	148	2.934	1.663	2	259	72
26	PENCAHUE	168	137	2.910	2.490	2	255	78
27	PELLUHUE	160	129	2.612	1.926	2	175	25
28	PELARCO	160	126	2.848	1.530	2	318	66
29	VICHUQUÉN	145	102	2.078	1.699	1	242	15
30	EMPEDRADO	151	89	1.601	1.932	1	178	13
	Total	15.696	12.829	272.620	157.238	4.208	31.677	4.930

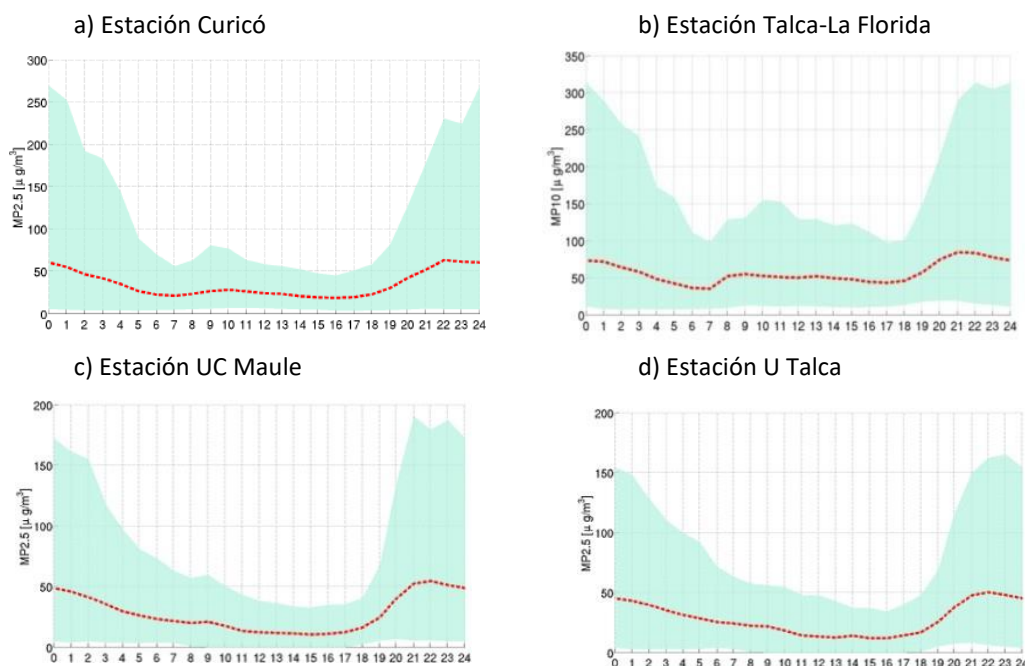
Fuente: Inventario de emisiones, modelación de contaminantes atmosféricos y delimitación de zona saturada, para la región del Maule (Estudio SISTAM Ingeniería, 2019).

4. Condiciones Meteorológicas y concentraciones de MP_{2,5}

4.1. Factor Meteorológico de la contaminación por MP_{2,5}

Estudios desarrollados en la región por la fundación UNTEC de la Universidad de Chile, mostraron que durante las noches frías las concentraciones de Material Particulado aumentan, lo que se asocia, a condiciones de estabilidad atmosférica donde las velocidades del viento disminuyen significativamente generando condiciones de ventilación desfavorables⁴. Las bajas temperaturas conducen a mayores emisiones debido al uso de la leña como combustible para calefacción residencial. La figura N°4 muestra los ciclos diarios de las concentraciones de MP_{2,5} para las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Curicó, Estación UC Maule y estación U Talca. En general se puede apreciar que el problema de material particulado MP_{2,5} se concentra en las horas de la noche principalmente (19:00 - 06:00 horas) y en menor medida en la mañana (cercano a las 10:00 horas).

Figura 4. Ciclo diario MP_{2,5} Estaciones de Calidad del Aire



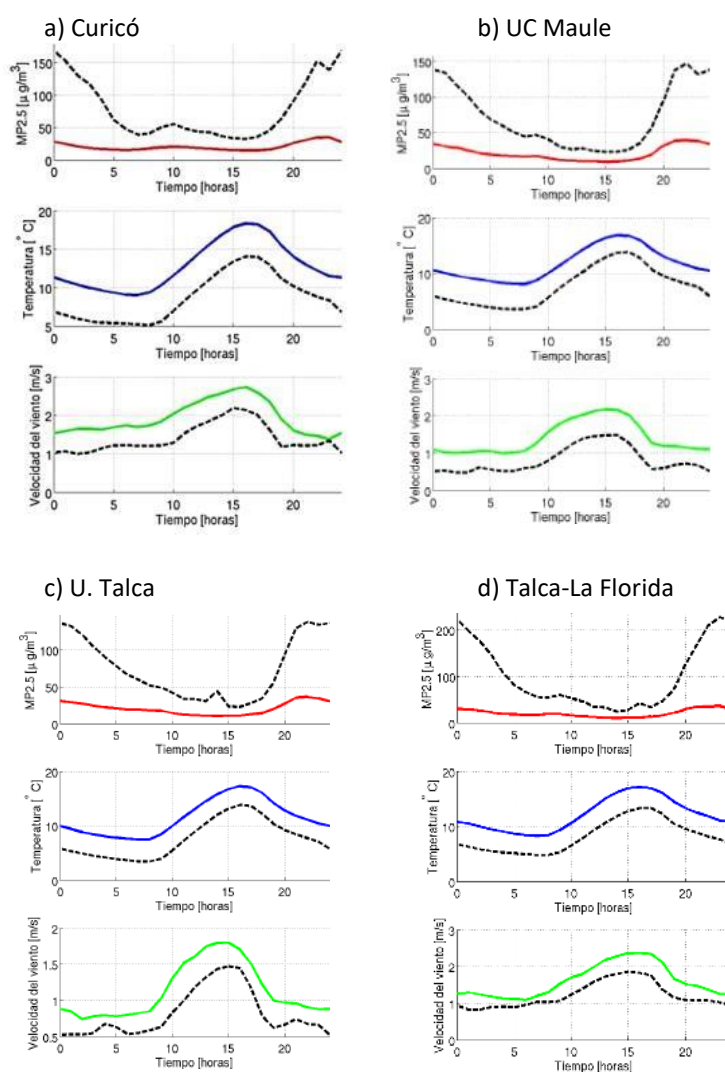
Fuente: Caracterización del factor meteorológico asociado a contaminación atmosférica y propuesta de diseño de redes meteorológicas para el seguimiento y pronóstico de calidad del aire en cuatro regiones del Sur de Chile (UNTEC, 2015).

Los ciclos diarios muestran las concentraciones de material particulado promedio para cada hora del día para todo periodo analizado (línea roja punteada) junto con el rango del 5% y 95% de los datos (sombra verde).

⁴ UNTEC (2015), "Caracterización del factor meteorológico asociado a contaminación atmosférica y propuesta de diseño de redes meteorológicas para el seguimiento y pronóstico de calidad del aire en cuatro regiones del sur de Chile"

En la figura N°5 se aprecia que existe una relación entre temperaturas y velocidades de vientos bajas y altas concentraciones de $MP_{2,5}$, no existiendo casos de altas temperaturas y elevadas velocidades de viento en que también se observen concentraciones altas. Los ciclos diarios de $MP_{2,5}$ para los días cuando se supera la norma en comparación con los días cuando no se supera, siguen igual tendencia, presentando mayores concentraciones en la noche y algunas horas de la mañana respecto del resto del día. En contraste entre ambos ciclos diarios, los aumentos de concentraciones durante los días cuando se supera la norma son mucho más pronunciados que los días en que no se supera. Lo anterior muestra que los días con episodio de contaminación se asocian a días de baja temperaturas y velocidad del viento.

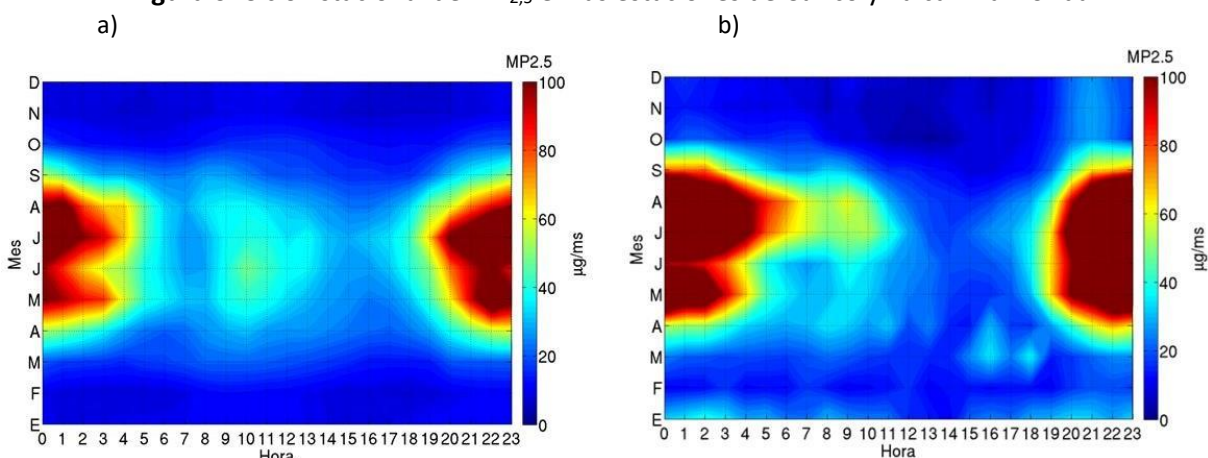
Figura 5. Ciclos diarios de $MP_{2,5}$, Temperatura y Velocidad del Viento



Fuente: Caracterización del factor meteorológico asociado a contaminación atmosférica y propuesta de diseño de redes meteorológicas para el seguimiento y pronóstico de calidad del aire en cuatro regiones del Sur de Chile (UNTEC, 2015).

Los ciclos estacionales, por su parte, muestran los ciclos diarios promedio a través de los distintos meses del año considerando todos los años de datos. Es posible apreciar en la figura N°6 que el problema de material particulado se concentra en los meses de otoño-invierno (abril-agosto). Lo anterior es consistente con estudios en la Región sobre la capacidad de remoción de contaminantes, donde el Maule se clasificó con un índice de “pobre remoción” y “moderada-pobre” en algunas localidades, lo que se asocia a las malas condiciones de ventilación durante la noche⁵.

Figura 6. Ciclo Estacional de MP_{2,5} en las estaciones de Curicó y Talca – La Florida

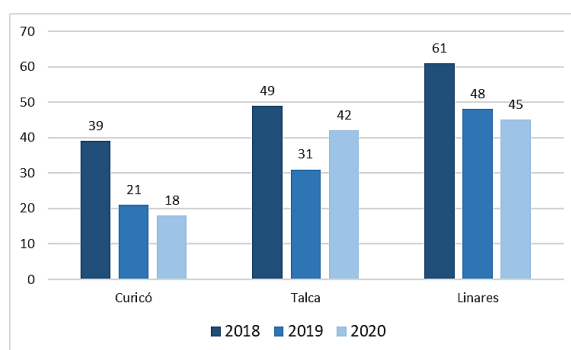


Fuente: Caracterización del factor meteorológico asociado a contaminación atmosférica y propuesta de diseño de redes meteorológicas para el seguimiento y pronóstico de calidad del aire en cuatro regiones del Sur de Chile (UNTEC, 2015).

Se presenta la distribución estacional y de concentraciones medias de MP_{2,5} para la estación de Curicó (Panel a) y para la estación de Talca – La Florida (Panel b). Se observa como los colores asociados a concentraciones altas de MP_{2,5} se concentran en torno a los meses de abril y agosto, especialmente después de las 18:00hrs, manteniéndose en la noche hasta el amanecer. Las concentraciones disminuyen en promedio en los meses del periodo de primavera –verano y durante las tardes entre las 13 y 17 hrs.

Las estadísticas de la Red de Monitoreo de la zona (ver figura N°7) muestra que en general que desde el 2018 al 2020, los episodios críticos de alerta, preemergencia y emergencia ambiental han aumentado en las todas las ciudades de la Región del Maule, en particular en la zona sur de la región.

Figura 7. Total episodios críticos MP_{2,5} en Curicó, Talca y Linares, periodo 2018-2020



Fuente: Departamento de Redes de Monitoreo, MMA

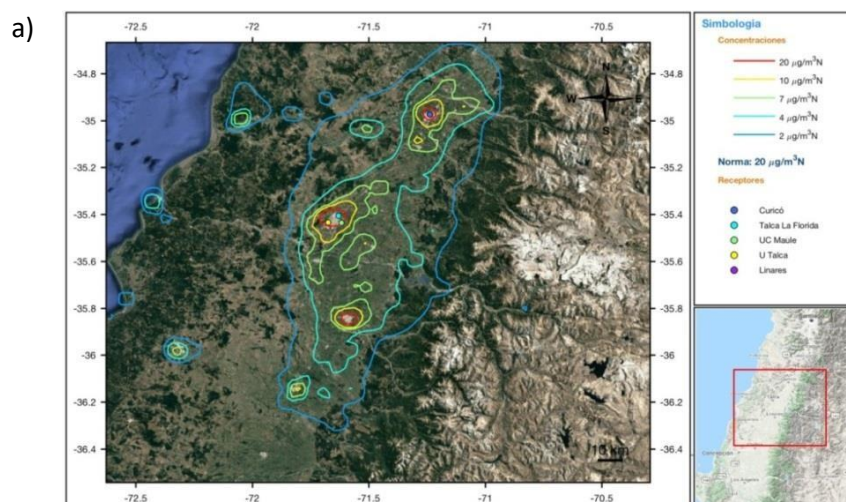
⁵ UNTEC (2014), Determinación de un índice de remoción de contaminantes atmosféricos para el territorio nacional

4.2. Modelación de la dispersión $MP_{2,5}$ en la Región del Maule

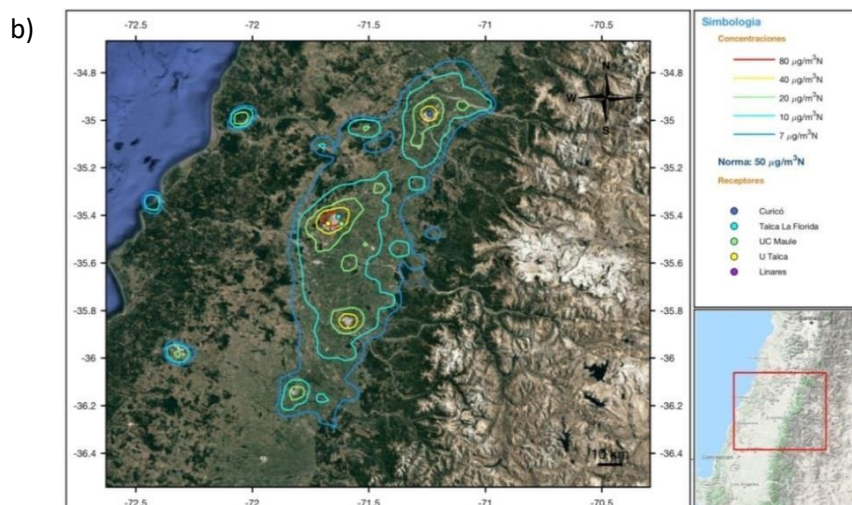
La aplicación del modelo WRF-Calpuff⁶, utilizando bases de datos de topografía, meteorología, el inventario de emisiones del mismo estudio y sus resultados validados con las concentraciones de $MP_{2,5}$ medidas en las estaciones de monitoreo de la Región, permitió obtener valores de concentración de $MP_{2,5}$ tanto para los promedio anuales como para el percentil 98 de los promedios diarios (ver figura N°8). Se puede observar que:

- La situación meteorológica es la que causa las mayores concentraciones durante la tarde/noche con vientos débiles y una atmósfera estable. Estos vientos débiles hacen que no se generen patrones alargados, sino que más bien bajo estas situaciones de calma los contaminantes se acumulan cerca de sus fuentes.
- Las fuentes que dominan por lejos son las que se ubican dentro de los límites urbanos. Debido a que, tal como se mencionó en el punto anterior, los contaminantes se acumulan cerca de sus fuentes, son justamente estos centros urbanos los que dominan también en dichas figuras.
- Las más altas concentraciones modeladas se ubican en el valle central de la Región del Maule.

Figura 8. Concentración para el promedio anual y para el percentil 98 diario de $MP_{2,5}$



⁶ Ver modelo (The Weather Research and Forecasting Model) del National Center for Atmospheric Research (NCAR) de, EEUU. Ver <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>. Ver Modelo de Calidad del Aire CALPUFF (<https://www3.epa.gov/scram001/models/calpuff/tracer.pdf>).



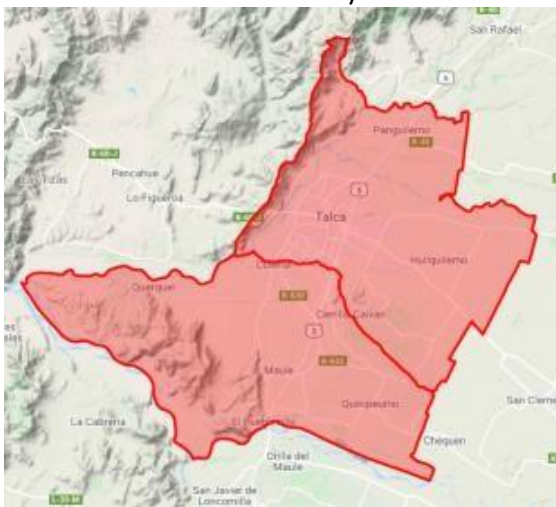
Fuente: Inventario de Emisiones, Modelación de Contaminantes Atmosféricos y Delimitación de Zona Saturada, para la Región del Maule (SISTAM, 2019).

Las isolíneas del promedio anual se muestran en el panel superior a) y las concentraciones de 24 horas en el panel inferior b).

4.3. Zonas saturadas vigentes en la Región del Maule

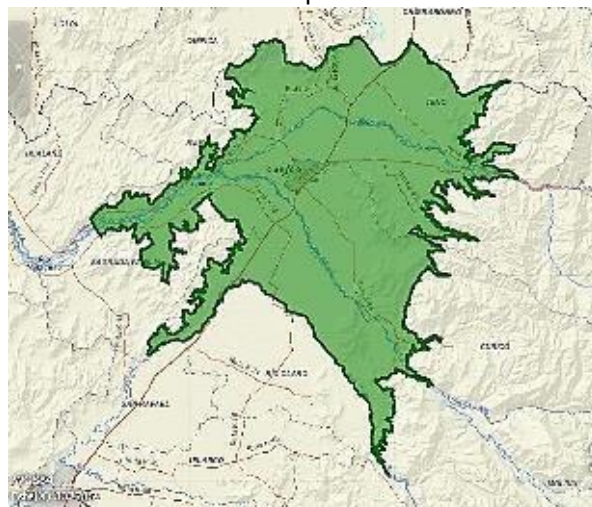
Actualmente en la Región de Maule, existen dos zonas saturadas vigentes: las comunas de Talca y Maule, zona saturada por MP_{10} (D.S. N°12/2010 MMA) y el valle central de la provincia de Curicó, zona saturada por $\text{MP}_{2,5}$, que incluye a parte del territorio de las comunas de Curicó, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno (D.S. N°53/2015 MMA). Ambos cuentan con un Plan de Descontaminación Atmosférica vigente.

Figura 9. Polígono zona saturada por MP_{10} comunas de Talca y Maule



Fuente: Portal de Planes de Descontaminación Atmosférica, MMA

Figura 10. Polígono zona saturada por $\text{MP}_{2,5}$ del Valle Central de la provincia de Curicó



Fuente: Informe Técnico de Declaración de Zona Saturada del Valle Central de la provincia de Curicó.

4.4. Descripción del área geográfica a declarar como zona Saturada

La zona delimitada se encuentra en el valle central de la Región del Maule e incluye las zonas con las más altas concentraciones de material particulado $MP_{2,5}$ y las fuentes emisoras. Las modelaciones de calidad del aire muestran resultados que contienen la mayor parte de valle central y sus ciudades. La zona saturada propuesta contiene a la zona saturada vigente de las comunas de Talca y Maule (MP_{10}) y limita al norte con la zona saturada del valle central de la Provincia de Curicó ($MP_{2,5}$), en la Región del Maule.

Los límites propuestos son:

- **Norte:** límite provincial con la provincia de Curicó (comunas de San Rafael y Río Claro)
- **Sur:** límite regional con la Región de Ñuble (comuna de Parral)
- **Este:** cotas 300 o 400 msnm en laderas ponientes de la cordillera de Los Andes
- **Oeste:** Límites comunales ponientes (San Rafael, Talca, Maule, Villa Alegre, Linares, Longaví, Retiro y Parral).. Eje central del Río Loncomilla en la comuna de San Javier.

Figura 11. Polígono de la zona saturada del Valle Central de la Región del Maule



Fuente: MMA; a partir de cartografía IGM 1:50.000

La zona propuesta tiene una superficie de 5.430 km² que equivale al 17,9 % de la superficie regional y cuyos límites se describen en el anexo de este informe.

5. Conclusiones

De la evaluación de los datos de calidad del aire para $MP_{2,5}$ y su comparación con la norma, es posible determinar que durante el período analizado se verificó la condición de Saturación durante los años 2017, 2018 y 2019.

Para Talca-Maule, respecto de la superación de la norma 24 horas para $MP_{2,5}$, el periodo 2019 alcanzó valores de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130%) en la estación U Talca, $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (126%) en la estación UC Maule y $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (184%) en la estación Talca-La Florida. Respecto de la norma anual, para el periodo trianual 2017-2019, se alcanzó un valor de saturación de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (130%) en la estación Talca-La Florida y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (100%) en la estación UC Maule, que corresponde a condición de latencia, al igual que la estación Universidad de Talca con una concentración de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (85%).

Linares por su parte, presenta valores de sobre la norma diaria y anual para el periodo 2017-2019, que solo para el año 2019 alcanzó $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (215%), mientras que el promedio trianual para el periodo de 2017 al 2019, fue de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalente a 143% de la norma anual.

Respecto a la comuna de Curicó, ésta se encuentra bajo la condición de saturación para $MP_{2,5}$, a través del D.S. N°53/2015 del MMA.

En este contexto, y considerando que la principal fuente de emisión de $MP_{2,5}$ corresponde a la combustión residencial de leña proveniente de actividades residenciales, que las comunas pertenecientes al Valle Central son las que han tenido un mayor aumento poblacional y por tanto mayor densidad poblacional, y que la condición deficiente de remoción de contaminantes debido a fenómenos de estabilidad atmosférica, se traduce en malas condiciones de ventilación, especialmente durante el periodo otoño -invierno, se concluye que en la Región del Maule debe ser declarada como Zona Saturada por dicho contaminante.

Con todos los antecedentes entregados, se puede concluir que, para las comunas situadas en el polígono del Valle Central, la norma primaria anual y diaria de calidad ambiental para $MP_{2,5}$, se encuentra con niveles por sobre el 100% de ésta, y por tanto, de acuerdo a la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente corresponde la declaratoria de zona saturada por este contaminante, para ambas normas.

Declarar el polígono del Valle Central de la Región del Maule como una zona saturada permitirá tomar medidas para mejorar la calidad del aire, en las comunas no contempladas en las actuales zonas saturadas, otorgando una herramienta de tipo legal para enfrentar el problema de contaminación por material particulado $MP_{2,5}$. Además permite complementar y actualizar los Planes de Descontaminación Atmosférica vigentes mejorando la gestión de la calidad del aire al consolidar los esfuerzos técnicos y administrativos para la implementación de medidas estructurales de reducción de emisiones y gestionar la ocurrencia de episodios críticos de contaminación a través de un único Plan de Descontaminación para toda la Región.

ANEXO N°1

Superficie regional y límites propuesta de Zona Saturada Valle Central de la Región del Maule

Límite Norte: Corresponde al límite comunal San Rafael – Sagrada Familia desde el punto de intersección de los límites comunales de Pencahue, San Rafael y Sagrada Familia (coordenadas UTM: 267337 mE, 6098805 mN) hasta el punto ubicado en el Río Claro correspondiente al límite de las comunas de San Rafael, Sagrada Familia y Molina (coordenadas UTM: 272650 mE, 6098042 mN); continua por el límite sur de la comuna de Molina (por el Río Claro), hacia el este hasta el punto ubicado en la cota 400 m.s.n.m. en el río Claro (coordenadas UTM: 305657 mE, 6092796 mN).

Límite Este: Curva de nivel 400 m.s.n.m hacia el oeste y luego al sur, desde el punto ubicado en las coordenadas UTM: 305657 mE, 6092796 mN (400 m.s.n.m), hasta el punto ubicado en las coordenadas UTM 297495mE, 6076683 mN (400 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el sur-oriente hasta punto ubicado en las coordenadas UTM 297615mE, 6076470 mN (300 m.s.n.m); continúa por la curva de nivel 300 m.s.n.m hacia el sur-oriente hasta el Río Lircay (coordenadas UTM: 295580 mE, 6064535 mN, 300 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el poniente hasta punto ubicado en las coordenadas UTM 294818 mE, 6064498 mN (400 m.s.n.m); continúa por la curva de nivel 400 m.s.n.m hasta el punto de coordenadas UTM 289053 mE, 6061292 mN (400 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el sur-poniente hasta punto ubicado en las coordenadas UTM 288008 mE, 6060725 mN (345 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el sur-poniente hasta punto ubicado en las coordenadas UTM 287817 mE, 6060306 mN (400 m.s.n.m); sigue por la curva de nivel 400 m.s.n.m hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 287128 mE, 6052076 mN (400 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el sur-poniente hasta el Río Maule (coordenadas UTM: 287000 mE, 6051942 mN, 300 m.s.n.m); continúa por la curva de nivel 300 m.s.n.m. hacia el sur-poniente hasta el punto de coordenadas UTM 283350 mE, 6052076 mN (300 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el sur-oriente hasta el punto de coordenadas UTM 283486 mE, 6032512 mN (300 m.s.n.m); sigue por la curva de nivel 300 m.s.n.m. hacia el nor-oriente hasta el punto de coordenadas UTM 283296 mE, 6030370 mN (300 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 283307 mE, 6030260 mN (300 m.s.n.m.); curva de nivel 300 m.s.n.m. hacia el sur-poniente hasta el punto de coordenadas UTM 274155 mE, 5998897 mN (300 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur poniente hasta el punto de coordenadas UTM 273642 mE, 5998678 mN; línea recta proyectada hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 273450 mE, 5997636 mN (300 m.s.n.m.); curva de nivel 300 m.s.n.m. hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 273150 mE, 5992038 mN (300 m.s.n.m); línea recta proyectada hacia el oriente hasta el punto de coordenadas UTM 273570 mE, 5991996 mN (400 m.s.n.m.); continúa por la curva de nivel 400 m.s.n.m. hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 273710 mE, 5991085 mN (400 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur-oriente hasta el punto de

coordenadas UTM 273977 mE, 5990675 mN (400 m.s.n.m.); curva de nivel 400 m.s.n.m. hacia el sur hasta el punto ubicado al norte del Embalse Digua (coordenadas UTM: 272122 mE, 5984591 mN, 400 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el poniente hasta la Ruta L-725 y represa del Embalse Digua (coordenadas UTM: 270950 mE, 5984250 mN); Ruta L-25 hasta punto ubicado al poniente del Embalse Digua (coordenadas UTM: 270450 mE, 5983633 mN); línea recta proyectada hacia el sur-orientado hasta el punto de coordenadas UTM 270562 mE, 5983534 mN (400 m.s.n.m.); curva de nivel 400 m.s.n.m. hacia el sur hasta el punto ubicado en las coordenadas UTM 270942 mE, 5982509 mN (400 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur-orientado hasta el punto de coordenadas UTM 271125 mE, 5982162 mN (400 m.s.n.m.); curva de nivel 400 m.s.n.m. hacia el sur hasta el punto de coordenadas UTM 270812 mE, 5980052 mN (400 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur-poniente hasta el punto de coordenadas UTM 270290 mE, 5979795 mN (400 m.s.n.m.); curva de nivel 400 m.s.n.m. hacia el poniente hasta el punto de coordenadas UTM 267030 mE, 5973222 mN (400 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur hasta el punto ubicado al norte del Estero Lavadero (coordenadas UTM: 267066 mE, 5973050 mN, 300 m.s.n.m.); curva de nivel 300 m.s.n.m. hacia el sur por el costado orientado del Estero Lavadero, hasta el punto de coordenadas UTM 266043 mE, 5970553 mN (300 m.s.n.m.); línea recta proyectada hacia el sur-poniente hasta el Río Perquilauquén (coordenadas UTM: 265940 mE, 5970540 mN).

Límite Sur: Corresponde al límite sur de la comuna de Parral (por el Río Perquilauquén), desde el punto ubicado en coordenadas UTM 265940 mE, 5970540 mN, hacia el oeste hasta el punto ubicado en el Río Perquilauquén (coordenadas UTM: 760743 mE, 5998435 mN), y que corresponde al límite de las comunas de Parral, Cauquenes y Ñiquén, esta última perteneciente a la Región de Ñuble.

Límite Oeste: Río Perquilauquén, desde el punto de intersección de los límites de las comunas de Parral, Cauquenes y Ñiquén (coordenadas UTM: 760743 mE, 5998435 mN), hacia el norte hasta la desembocadura del Río Achibueno (coordenadas UTM: 247232 mE, 6036627 mN); Río Loncomilla, desde la desembocadura del Río Achibueno (coordenadas UTM: 247232 mE, 6036627 mN), hacia el norte hasta su desembocadura en el Río Maule (coordenadas UTM: 250470 mE, 6059887 mN); Río Maule, desde la desembocadura del Río Loncomilla, hacia el nor-oeste hasta su confluencia con el Río Claro (coordenadas UTM: 238284 mE, 6071670 mN); Río Claro, desde la confluencia con el Río Maule, hacia el este hasta el punto correspondiente al límite de las comunas de Maule, Talca y Penco (coordenadas UTM: 252736 mE, 6073883 mN); límite comunal Penco – Talca, desde el Río Claro hasta el punto correspondiente al límite de las comunas de Penco, Talca y San Rafael (coordenadas UTM: 260496 mE, 6089140 mN); límite comunal Penco – San Rafael, hasta el punto de intersección de los límites comunales de Penco, San Rafael y Sagrada Familia (coordenadas UTM: 267337 mE, 6098805 mN).