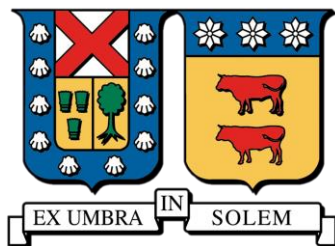


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE EFECTO DE LAS CUARENTENAS SOBRE LA  
CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TEMUCO**

**CATALINA GABRIELA PAREJA URZÚA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

PROFESORA GUÍA: MARÍA PAZ DOMÍNGUEZ

PROFESOR CO-REFERENTE: MAURICIO OSSES

SEPTIEMBRE-2022

## Resumen

La pandemia del COVID-19 aportó una gran cantidad de medidas de distanciamiento físico como restringir actividades y tránsito en las diferentes ciudades del país, aforo máximo, cuarentena y toques de queda. Esta implementación permitió estudiar los efectos de la cuarentena sobre la calidad del aire en localidades que tienen altos índices de contaminación como es el caso de la ciudad de Temuco.

La ciudad de Temuco ubicada en la zona sur de Chile en la región de la Araucanía se ha hecho reconocida por su mala calidad del aire por altas concentraciones de material particulado fino y grueso. Su problemática ambiental surge, especialmente en invierno, por el excesivo uso de leña para calefacción.

En la presente investigación se realiza una comparación de las concentraciones de material particulado (fino y grueso) en el mes de abril del año 2020 (año con cuarentena) y durante el mismo periodo en los años 2016 a 2019. Mediante las estaciones de monitoreo Las Encinas Temuco (LET) y Padre Las Casas (PLC) del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) se obtuvieron los datos mensuales horarios que se trabajaron con una certeza del 95%.

Los resultados obtenidos fueron analizados por día que se encontrara fuera del intervalo de confianza mediante parámetros meteorológicos como precipitación, temperatura y calidad del aire. Se determinó que entre el 40-50% de los datos salen de los límites, y la mayor cantidad de esos valores no supera el límite inferior.

Por último, se establece que si bien la cuarentena actuó positivamente sobre la calidad del aire de la ciudad de Temuco, no fue el único factor determinante para que las concentraciones fueran menores con respecto a los valores históricos. Tanto los parámetros meteorológicos como el respectivo plan de descontaminación de la ciudad fueron protagónicos en minimizar la concentración de material particulado.

## Abstract

The COVID-19 pandemic provided a large number of physical distancing measures such as restricting activities and traffic in the different cities of the country, maximum capacity, quarantine and curfews. This implementation made it possible to study the effects of quarantine on air quality in localities with high pollution indexes, as is the case of the city of Temuco.

The city of Temuco, located in the southern part of Chile in the Araucanía region, has become known for its poor air quality due to high concentrations of fine and coarse particulate matter. Its environmental problems arise, especially in winter, due to the excessive use of firewood for heating.

In the present research, a comparison of the concentrations of particulate matter (fine and coarse) in April 2020 (quarantine year) and during the same period in the years 2016 to 2019 is carried out. Monthly hourly data were obtained from the monitoring stations Las Encinas Temuco (LET) and Padre Las Casas (PLC) of the National Air Quality Information System (SINCA) and worked with a certainty of 95%.

The results obtained were analyzed by day that was outside the confidence interval using meteorological parameters such as precipitation, temperature and air quality. It was determined that between 40-50% of the data fall outside the limits, and most of these values do not exceed the lower limit.

Finally, it is established that although the quarantine had a positive effect on the air quality of the city of Temuco, it was not the only determining factor for the concentrations to be lower than historical values. Both meteorological parameters and the respective decontamination plan of the city played a leading role in minimizing the concentration of particulate matter.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer enormemente la ayuda de mi familia, mis padres y mis hermanas son mi gran apoyo a lo largo de esta vida universitaria. A mis hermanas les agradezco enormemente el ánimo que siempre me otorgaron cuando me vieron exhausta y deprimida, espero que no duden nunca de mi apoyo incondicional. A mi madre jamás terminaría de agradecerle todo lo que ha hecho por mi, es mi inspiración y en quién me quiero convertir algún día, todo este trabajo es por ti.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi pareja y mejor amigo que me otorgó la vida, te he dicho todo a lo largo de estos años así que creo que las palabras sobran, no obstante, no hace falta recordar que decirte te amo es una estrella cuando lo que siento es la galaxia entera.

En tercer lugar, quiero agradecer a mis amigos/hermanos por ser mi refugio siempre que lo he necesitado y a mis amigos/as de la época escolar por el apoyo incondicional. La vida me premió hace 13 años con ustedes y es algo que jamás dejaré de agradecer.

En cuarto lugar, creo que el amor de mis mascotas ha sido incondicional, por lo cual agradezco a todas las que he tenido en mi vida y en especial a los que me acompañaron en mi carrera universitaria. Mención honrosa a mi Lali, gracias por quedarte hasta tarde conmigo y ser la mejor compañía que puedo pedir.

En quinto lugar, quiero agradecer enormemente a mis amigos de la universidad, han sido el apoyo más directo para culminar esta etapa. Las tardes en el CIAC, los almuerzos, los viernes de cerrito y todas las salidas a comer papitas y pizza hicieron estos años mucho mejores de lo que hubieran sido.

Finalmente, quiero agradecer a mi profesora guía María Paz Domínguez por siempre otorgarme tiempo para consultas e inquietudes a pesar de tener muy pocos lapsos libres, su ayuda y apoyo fue fundamental para poder realizar esta investigación.

# Índice general

I.	Introducción .....	1
II.	Marco teórico.....	2
	Contaminación atmosférica .....	2
	Contaminación .....	2
	Fuentes de contaminantes .....	2
	Contaminantes .....	3
	Material particulado.....	4
	Distribución de tamaño del aerosol atmosférico.....	4
	Fuentes primarias del material particulado.....	5
	Efectos del material particulado en la salud del ser humano .....	5
	Efectos del material particulado en ecosistemas .....	5
	Legislación.....	6
	Ley 19.300 .....	6
	Normas de calidad del aire .....	6
	Normas de emisión del aire.....	7
	Temuco – Padre Las Casas IX Región .....	7
	Plan de descontaminación .....	7
	Características climáticas y meteorológicas de la zona .....	9
	Efectos del clima.....	9
III.	Estado del arte .....	10
	Incidencia de la cuarentena en la calidad del aire .....	10
	China .....	10
	Chile .....	12
IV.	Objetivos .....	14
	Objetivo general.....	14
	Objetivo específico.....	14
V.	Hipótesis.....	14
VI.	Metodología.....	15
	Selección de datos.....	15
	Determinación del periodo de estudio .....	15
	Determinación periodo comparativo .....	15

Sistema de Monitoreo Calidad del Aire (SINCA) /Red MMA.....	15
Selección de emplazamiento .....	16
Análisis de datos.....	17
Estadístico .....	17
Datos faltantes .....	17
Comparación y análisis de los resultados .....	17
VII.    Resultados y análisis.....	18
Estación Las encinas material particulado 2.5 .....	18
Comparación diaria mensual entre periodo histórico y año de estudio .....	18
Días fuera de los límites .....	20
Estación Las encinas material particulado 10 .....	29
Comparación diaria mensual entre periodo histórico y año de estudio .....	29
Días fuera de los límites .....	31
Estación Padre Las Casas material particulado 2.5 .....	40
Comparación diaria entre periodo histórico y año de estudio .....	40
Días fuera de los límites .....	41
Estación Padre Las Casas material particulado 10 .....	50
Comparación diaria entre periodo histórico y año de estudio .....	50
Días fuera de los límites .....	51
Comparación entre estaciones de monitoreo .....	59
Material particulado 2.5 .....	60
Material particulado 10 .....	60
Análisis comparado con el Estado del Arte.....	61
VIII.    Conclusiones y recomendaciones.....	63
Conclusiones .....	63
Según objetivo general.....	63
Según objetivos específicos.....	63
Recomendaciones .....	64
IX.    Referencias.....	65
X.    Anexos.....	67
Datos utilizados para la elaboración de gráficos mensuales diarios.....	67
Estación Las Encinas Temuco MP 2.5 .....	67

Estación Las Encinas Temuco MP 10 .....	68
Estación Padre Las Casas MP2.5 .....	69
Estación Padre Las Casas MP10 .....	70
Detalle del comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril para los años 2016-2020 .....	71
Detalle del comportamiento de la precipitación acumulada en abril de los años 2016-2020.....	73
Detalle por día de calidad del aire para MP2.5 y MP10 durante los años 2016 a 2020 entregado por el Ministerio del Medio Ambiente .....	76
Detalle temperatura media diaria .....	80
Detalle precipitación diaria .....	81
Información y ubicación de estación climatológica utilizada.....	82

## Índice de Figuras

Figura 1: Zona de aplicación del plan de descontaminación. ....	8
Figura 2: Ubicación de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Temuco.....	16
Figura 3: Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Las Encinas Temuco. ....	18
Figura 4: Gráfico de temperaturas mínimas, máximas y medias para los años 2016 a 2020.....	19
Figura 5: Gráfico de precipitaciones para los años 2016 a 2020.....	19
Figura 6: Episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas del mes de abril para los años 2016 a 2020. ....	20
Figura 7: Gráfico de temperaturas medias diarias para el mes de abril. ....	21
Figura 8: Gráfico de precipitaciones diarias para el mes de abril. ....	22
Figura 9: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 13 de abril.....	22
Figura 10: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 15 de abril.....	23
Figura 11: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 16 de abril.....	23
Figura 12: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 22 de abril.....	24
Figura 13: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 3 de abril.....	25
Figura 14: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 18 de abril.....	25
Figura 15: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 27 de abril.....	26
Figura 16: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 2 de abril.....	27
Figura 17: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 4 de abril.....	27
Figura 18: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 6 de abril.....	28
Figura 19: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 24 de abril.....	28
Figura 20: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 25 de abril.....	29
Figura 21: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 26 de abril.....	29
Figura 22: Gráfico de concentraciones diarias de MP10 en la estación Las Encinas Temuco. ....	30
Figura 23: Episodios críticos en el mes de abril para los años 2016-2020 por mp10.....	30
Figura 24: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 13 de abril.....	31

Figura 25: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 15 de abril.....	32
Figura 26: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 16 de abril.....	32
Figura 27: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 22 de abril.....	33
Figura 28: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 18 de abril.....	34
Figura 29: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 1 de abril.....	35
Figura 30: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 3 de abril.....	35
Figura 31: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 11 de abril.....	36
Figura 32: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 26 de abril.....	36
Figura 33: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 2 de abril.....	37
Figura 34: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 4 de abril.....	38
Figura 35: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 5 de abril.....	38
Figura 36: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 19 de abril.....	39
Figura 37: Gráfico de concentraciones horarias de MP 10 para el día 24 de abril.....	39
Figura 38: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 25 de abril.....	40
Figura 39: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 27 de abril.....	40
Figura 40: Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Padre Las Casas.....	41
Figura 41: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 15 de abril.....	42
Figura 42: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 21 de abril.....	43
Figura 43: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 22 de abril.....	43
Figura 44: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 2 de abril.....	44
Figura 45: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 3 de abril.....	45
Figura 46: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 18 de abril.....	45
Figura 47: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 19 de abril.....	46
Figura 48: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 4 de abril.....	47
Figura 49: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 7 de abril.....	47
Figura 50: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 24 de abril.....	48
Figura 51: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 26 de abril.....	48
Figura 52: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 25 de abril.....	49
Figura 53: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 27 de abril.....	50
Figura 54: Gráfico de concentraciones diarias de MP10 en la estación Padre Las Casas.....	50
Figura 55: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 15 de abril.....	52
Figura 56: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 21 de abril.....	52
Figura 57: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 22 de abril.....	53
Figura 58: Gráfico de concentraciones horarias MP10 para el día 2 de abril.....	54
Figura 59: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 17 de abril.....	54
Figura 60: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 18 de abril.....	55
Figura 61: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 19 de abril.....	55
Figura 62: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 3 de abril.....	56
Figura 63: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 4 de abril.....	56
Figura 64: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 5 de abril.....	57
Figura 65: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 11 de abril.....	57
Figura 66: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 24 de abril.....	58

Figura 67: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 26 de abril.....	58
Figura 68: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 25 de abril.....	59
Figura 69: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 27 de abril.....	59
Figura 70: Gráfico de MP2.5 en ambas estaciones de monitoreo. ....	60
Figura 71: Gráfico de MP10 en ambas estaciones de monitoreo. ....	60
Figura 72: Comparación de la evolución temporal de MP10 ug/m3, promedio de 8 horas (de 08 a 16 horas) para los meses de marzo y agosto 2019 y 2020. ....	61
Figura 73:Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2016.....	71
Figura 74: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2017.....	71
Figura 75: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2018.....	72
Figura 76: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2019.....	72
Figura 77: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2020.....	73
Figura 78: Precipitación acumulada para abril año 2016.....	73
Figura 79: Precipitación acumulada para abril año 2017.....	74
Figura 80: Precipitación acumulada para abril año 2018.....	74
Figura 81: Precipitación acumulada para abril año 2019.....	75
Figura 82: Precipitación acumulada para abril año 2020.....	75
Figura 83: Ubicación de estación climatológica.....	82

## Índice de Tablas

Tabla 1: Información general de la estación de monitoreo Las Encinas Temuco. ....	16
Tabla 2: Información general de la estación de monitoreo Padre Las Casas II. ....	17
Tabla 3: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación LET MP2.5.....	67
Tabla 4: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación LET MP10.....	68
Tabla 5: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación PLC MP2.5. ....	69
Tabla 6: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación PLC MP10. ....	70
Tabla 7: Condición de calidad del aire para MP 2.5.....	76
Tabla 8: Condición de calidad del aire para MP 10.....	78
Tabla 9: Valores utilizados para realizar el gráfico diario de temperaturas medias para el mes de abril en los años 2016 a 2020.....	80
Tabla 10: Valores utilizados para realizar el gráfico diario de precipitaciones para el mes de abril en los años 2016 a 2020. ....	81
Tabla 11: Información sobre estación climatológica. ....	82

## I. Introducción

La contaminación atmosférica ha cobrado gran reconocimiento mundial debido a las consecuencias que repercuten en la salud humana. En todo el mundo, cerca de 7 millones de muertes prematuras se deben a la contaminación del aire y, en América Latina, más de 150 millones de personas viven en ciudades que exceden las guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Organización Panamericana de la Salud, [paho.org](http://paho.org), 2022). Las directrices mundiales sobre la calidad del aire utilizan evidencia científica para recomendar valores objetivo para 6 contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, O3, NO2, y CO) con el fin de lograr una calidad del aire que proteja la salud de la población (Organización Panamericana de la Salud, [paho.org](http://paho.org), 2022).

Pese al gran avance y preocupación existente sobre la calidad del aire, ciudades como Temuco, ubicada en la zona sur de Chile, es reconocida por superar la concentración y permanencia de contaminantes según la legislación vigente. Esta ciudad se declara zona saturada el año 2005 por MP 10 al exceder la norma diaria de calidad primaria para este contaminante durante los años 2001, 2003 y 2004 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2005). Luego, el año 2013, se declara zona saturada por MP2.5 al sobrepasar la concentración diaria los años 2008, 2009, 2010 y 2011 (Ambiente, 2013). En consecuencia, el año 2015 se implementa un plan de descontaminación para reducir la presencia del material particulado 10 y 2.5 a los niveles fijados por las normas primarias y se modifica el año 2017 para los mismos contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente, [ppda.mma.gob](http://ppda.mma.gob), 2022).

La principal fuente emisora de material particulado en la ciudad de Temuco corresponde al uso domiciliario de combustible leña utilizado para calefacción y preparación de alimentos, correspondiente a más del 90% de las emisiones (Municipalidad de Temuco & Territorio Mayor, 2022). Como resultado del contexto actual por la pandemia de coronavirus, se incrementó considerablemente la permanencia en las residencias particulares y, por lo tanto, el uso de fuentes estacionarias residenciales.

Las investigaciones actuales sobre la influencia de la cuarentena sobre la calidad del aire son centradas en grandes ciudades, lo cual se ve reflejado en una clara disminución de la concentración de contaminantes por ser emitidos principalmente por fuentes móviles. Por otro lado, las características de la ciudad de Temuco la transforman en una localidad de gran interés para analizar por el principal origen de sus emisiones y tener tanto sector urbano como rural.

## II. Marco teórico

### Contaminación atmosférica

#### Contaminación

La contaminación atmosférica tiene muchas definiciones una de ellas es la presencia de contaminantes en la atmósfera, tales como polvo, gases o humo en cantidades y durante períodos de tiempo tales que resultan dañinos para los seres humanos, la vida silvestre y la propiedad. Estos contaminantes pueden ser de origen natural o producidos por el hombre directa o indirectamente (Ministerio del Medio Ambiente, SINCA, 2022). En general, la contaminación atmosférica se puede definir como la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción superior a ella (Orozco, 2011).

#### Fuentes de contaminantes

La sección a continuación se encuentra basada en el libro “Contaminación Ambiental de Carmen Orozco” (Orozco, 2011). Las fuentes de contaminantes pueden tener origen natural como erupciones volcánicas, meteoritos, fuegos, entre otros, y artificial o antropogénica provocada por actividades humanas, como el transporte, combustiones y procesos industriales.

- Fuente natural

Gran parte de las especies consideradas contaminantes atmosféricos tienen origen natural, en ciertos casos su presencia en proporciones altamente anormal ha sido causa de graves episodios y alteraciones en la climatología y contaminación global. En este tipo de fuente se encuentran los compuestos orgánicos, inorgánicos y partículas.

Con respecto a los compuestos orgánicos, alrededor del 85% de hidrocarburos son de origen natural y el principal responsable de esto es por la gran cantidad de metano que proviene por la descomposición anaerobia de materia orgánica. Por otro lado, la vegetación es una importante fuente de emisión, puesto que muchas plantas liberan etileno y árboles liberan terpenos, los cuales, por la presencia de doble enlace, reaccionan con agentes oxidantes atmosféricos formando aerosoles. En océanos, se puede señalar la presencia de cloruro, fluoruro y yoduro de metilo por la presencia de algas.

En cuanto a los compuestos inorgánicos, las principales causas de su presencia son las erupciones volcánicas, distintos procesos de combustión y fenómenos de erosión. En las erupciones volcánicas se emiten importantes cantidades de compuestos azufrados, cloruros, fluoruros y multitud de aerosoles inorgánicos. En lo referente a la combustión, producen emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COS y partículas. Con respecto a la emisión de gases nitrogenados, estos son producto de descargas eléctricas en tormentas y procesos biológicos en el suelo.

En relación con las partículas, estas tienen su origen en fenómenos naturales como erupciones volcánicas, incendios forestales, erupción de suelos y rocas, polen de plantas, entre otros.

- Fuente artificial o antropogénica

Las emisiones producidas por este tipo de fuentes son generadas por las actividades humanas, principalmente la extracción, distribución y uso de combustibles fósiles para la generación de energía o el transporte, la actividad industrial, la gestión de los residuos, la agricultura, entre otras (Gallego Picó, y

otros, 2012). En esta categoría las fuentes de emisión de agentes contaminantes se clasifican según su localización:

- Fija: se refiere a toda fuente diseñada para operar en lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento (Ministerio del Medio Ambiente, SINCA, 2022). Hay de tipo industrial, doméstico, vertederos, entre otros tipos.
- Móvil: se refiere a toda fuente que tiene un elemento propulsor propio (motor), que es capaz de desplazarse entre distintos puntos pudiendo utilizar las vías públicas y que genera contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente, SINCA, 2022).

### Contaminantes

La sección a continuación se encuentra basada en el libro “Contaminación Ambiental de Carmen Orozco” (Orozco, 2011). Además del tipo de fuente del cual provienen ciertos contaminantes, otra manera de clasificarlos es según la forma en la cual se emiten a la atmósfera. Así se puede discernir entre contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera, son de naturaleza diversa y provienen de una gran variedad de fuentes de emisión. Mientras que los contaminantes secundarios, son el resultado de transformaciones químicas de los contaminantes primarios después de ser emitidos mediante reacciones con otras sustancias gaseosas, con el agua de la atmósfera o radiación solar. Se forman a partir de precursores, es decir, sustancias químicas que en las condiciones correctas reaccionan para generar otro contaminante que se denomina secundario.

Como los contaminantes primarios cuantitativamente constituyen más del 90% del problema siendo mayoritarios de la atmósfera (Orozco, 2011), son estos los que se definirán a continuación.

- Monóxido de carbono

Es un gas incoloro, puro e insípido con una densidad del 96,5% de la del aire y muy poco soluble en agua. En términos de masa es el contaminante más abundante y ampliamente distribuido. Con respecto a su fuente mayoritaria en la atmósfera es de origen natural, no obstante, en fuentes antropogénicas se produce por el transporte principalmente. Los principales procesos químicos en los que se forma monóxido de carbono son por combustión incompleta de compuestos que contengan carbono y por la reacción entre el dióxido de carbono formado en la combustión y el carbono del combustible aún quemado.

- Óxidos de nitrógeno

Esta categoría abarca el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno, la razón es que únicamente estos se encuentran en la atmósfera, los demás resultan ser inestables y se disocian.

1. Monóxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O): es un gas incoloro, no tóxico y no interviene en procesos fotoquímicos troposféricos.
2. Monóxido de nitrógeno (NO): es un gas incoloro, tóxico e interviene en procesos fotoquímicos troposféricos donde se produce un equilibrio de interconversión entre NO y NO<sub>2</sub>.
3. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>): es un gas pardo-rojizo, tóxico que interviene en procesos fotoquímicos troposféricos.

En cuanto a las fuentes asociadas, el monóxido de dinitrógeno proviene en gran medida de fuentes naturales y actividades agrícolas, mientras que los demás tienen fundamentalmente un origen antropogénico, proviniendo principalmente del transporte y otros procesos que tengan combustión a altas temperaturas. Por consiguiente, la formación principal de óxidos de nitrógeno es por procesos de combustión tanto en fuentes móviles como fijas.

- Óxidos de azufre

En esta categoría se encuentra el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), donde el que se emite con mayor cantidad hacia la atmósfera es el SO<sub>2</sub>. Ambos gases son incoloros, teniendo el dióxido de azufre un olor a acre en concentraciones superiores a 3ppm. Las emisiones naturales constituyen un poco más del 50% de las emisiones totales de los óxidos de azufre, los cuales provienen de la oxidación del sulfuro de hidrógeno originado por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanos, lodazales, océanos, fuentes biológicas terrestres, entre otros. Con respecto a fuentes antropogénicas, se originan principalmente por la combustión de carburantes que contienen azufre siendo los principales puntos emisores los focos de combustión estacionaria de plantas termoeléctricas y focos industriales de combustión o calefacción domésticas.

- Hidrocarburos

Los compuestos orgánicos volátiles o hidrocarburos son contaminantes primarios del aire y son emitidos directamente hacia la atmósfera. Una gran cantidad de estos evolucionan posteriormente transformándose en oxidantes fotoquímicos, es decir, contaminantes secundarios causantes de efectos mucho más graves que los ocasionados por los hidrocarburos. Estos se pueden encontrar en compuestos alifáticos (saturados e insaturados), aromáticos, entre otros. El mayor porcentaje corresponde a metano que es emitido principalmente por fuentes naturales, este proviene de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Además, con respecto a los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVNM) la naturaleza es una fuente importante de emisión pues las plantas liberan hidrocarburos.

- Partículas

En esta categoría se engloba el conjunto de diminutas partículas sólidas y pequeñas gotas de líquido que se encuentran en el aire y son causa en variadas ocasiones de graves problemas de contaminación. Se encuentran partículas primarias y secundarias, las cuales se diferencian por emitirse directamente a la atmósfera y las que se forman como consecuencia de reacciones que tienen lugar en la atmósfera, respectivamente. Más del 80% de las partículas presentes en el aire tienen un origen natural: aerosoles marinos, arrastre de polvo por el viento, incendios forestales, entre otros. Con respecto al origen antropogénico, las fuentes emisoras son variadas, pero se destaca la emisión de partículas en los procesos de combustión y las pérdidas en procesos industriales.

### **Material particulado**

#### Distribución de tamaño del aerosol atmosférico

Para caracterizar el material particulado es de suma importancia considerar el tamaño que posee, puesto que en conjunto de su respectiva composición química permite determinar el origen, propiedades e impacto que provoquen en la salud. El tamaño se describe generalmente mediante el diámetro de las partículas, el cual se determina geoméricamente por análisis microscópico, por su comportamiento físico como la velocidad de sedimentación, la movilidad eléctrica, entre otros (Jorquera González, 2015). De

acuerdo con las características mencionadas anteriormente se dividen principalmente en fracción gruesa, es decir, el material particulado mayor a 2,5 micrómetros y menor o igual a 10 micrómetros, y en fracción fina, la cual corresponde a un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrómetros (Ministerio del Medio Ambiente, Conceptos de calidad del aire, 2022).

#### Fuentes primarias del material particulado

El origen de estas partículas puede ser de tipo natural o antropogénico, y ser emitido de manera directa o formarse en la atmósfera por precursores gaseosos. El proceso asociado a las principales fuentes antropogénicas estacionarias sería la combustión y en el caso de las fuentes móviles sería la quema de biomasa y residuos. Con respecto a las fuentes naturales se encuentra la erosión por el viento, incendios forestales, aerosol marino y erupciones volcánicas (Jorquera González, 2015).

#### Efectos del material particulado en la salud del ser humano

La exposición a contaminación atmosférica se ha vinculado a numerosos efectos negativos sobre la salud de las personas, comenzando por molestias transitorias en las vías respiratorias y reducción de la capacidad pulmonar, continuando con la disminución de la actividad laboral, visitas a salas de emergencia, admisiones hospitalarias, enfermedades respiratorias agudas, enfermedades crónicas, hasta llegar a la mortalidad prematura (Jorquera González, 2015). En el caso del material particulado existen efectos por:

- Exposición de corto plazo: reacciones inflamatorias en el pulmón, síntomas respiratorios, efectos adversos en el sistema cardiovascular, incremento en admisiones hospitalarias y crecimiento en mortalidad.
- Exposición de largo plazo: Incremento de síntomas en vías respiratorias inferiores, reducción de la capacidad pulmonar en niños, incremento en obstrucción pulmonar, disminución de la capacidad pulmonar en adultos, mortalidad cardiopulmonar y probablemente cáncer pulmonar

#### Efectos del material particulado en ecosistemas

La contaminación por material particulado causa muchos daños sobre el medio ambiente, tales como el daño de materiales, reducción de la visibilidad, cambios climáticos, daños sobre las plantas y ecosistemas (Jorquera González, 2015).

Las partículas tienen la capacidad de absorber y dispersar la radiación solar, lo cual afecta directamente el balance de energía radiactiva de la tierra. Además, actúan como núcleos de condensación del vapor de agua e influyen en la formación de nubes lo cual implica en una alteración en los patrones de precipitación. Otro aspecto importante es que actúan como núcleos de congelación acelerando los procesos de precipitación de nieve. En consecuencia, las emisiones de material particulado tienen el potencial de afectar el clima de la tierra (Jorquera González, 2015).

La vegetación también se ve bastante afectada por la presencia de estos contaminantes, puesto que las partículas recubren las hojas tapando las estomas lo cual provoca la detención del crecimiento de las plantas y una baja del rendimiento de las cosechas (Jorquera González, 2015).

Otro efecto muy evidente es la reducción de visibilidad, lo cual afecta el bienestar de la población, generalmente en su trabajo y recreación. Estos efectos se producen como daños locales causados por grandes fuentes puntuales y por nubosidad regional producida por múltiples fuentes en una vasta área.

La eficiencia con la cual el material particulado causa la pérdida de visibilidad depende de su diámetro, forma y composición (Jorquera González, 2015).

### **Legislación**

La recuperación de la calidad del aire en los centros urbanos ha sido una de las prioridades gubernamentales de los últimos quince años. Se han realizado diagnósticos e inventarios de emisiones en las principales ciudades del país con el objetivo de gestionar soluciones para problemas como la combustión generada por leña (Ministerio del medio ambiente, Planes y normas, 2022). A continuación se detalla la ley y normas asociadas:

#### Ley 19.300

La ley sobre bases generales del medio ambiente tiene por objeto dar un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Los principios de esta ley son:

1. El principio preventivo: mediante esto se pretende evitar que se produzcan los problemas ambientales.
2. El segundo principio es el que contamina paga. El propósito es el que actualmente contamina o que lo haga en el futuro debe incorporar en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitar la contaminación, por lo tanto, los primeros responsables por disminuir la contaminación corresponderán a los particulares.
3. En tercer lugar, el proyecto tiene como principio el gradualismo. La ley no pretende exigir de manera inmediata los estándares ambientales más exigentes, ni someter a todas las actividades del país a los procedimientos de evaluación ambiental.
4. En cuarto lugar, el proyecto establece el principio de responsabilidad, con el cual se pretende que los responsables por los daños ambientales reparen a sus víctimas de todo daño.

#### Normas de calidad del aire

- Primarias: son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinaciones de ellos cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia. Tales normas se establecerán mediante el decreto supremo dictado por el Ministerio que llevará las firmas del Ministro del Medio Ambiente, en adelante el Ministro, y del Ministro de Salud, y serán publicadas en el Diario Oficial. Estas se aplican en todo el territorio de la República.
- Secundarias: son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. El decreto supremo que establece estas normas señalará el ámbito territorial de su aplicación, el que podrá ser todo el territorio de la República o una parte de él. Las normas secundarias se dictarán mediante decreto supremo del Ministerio y serán suscritas por el Ministro y el o los ministros sectoriales competentes que corresponda, en su caso, y se publicarán en el Diario Oficial.

### Normas de emisión del aire

Las normas de emisión son aquellas que establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

Tales normas señalarán su ámbito territorial de aplicación. Se deberán, además, considerar las condiciones y características ambientales propias de la zona en que se aplicarán dichas normas de emisión, pudiendo utilizarse las mejores técnicas disponibles a la época de su dictación, como criterio para determinar los valores o parámetros exigibles en la norma, cuando corresponda.

El decreto supremo que la contenga será dictado por el Ministerio y serán suscritas por el Ministro y el o los ministros sectoriales competentes, según la materia de que se trate, si corresponde, debiendo publicarse en el Diario Oficial.

Para efectos de este reglamento, el efluente de la fuente emisora considerará no sólo lo emitido o descargado por los caños, ductos o chimeneas de la fuente, sino que abarcará lo emitido o descargado por cualquier otra vía, siempre que sea posible calcularlo e imputarlo a la fuente emisora.

### **Temuco – Padre Las Casas IX Región**

La comuna de Temuco, capital regional y provincial, está ubicada a 38°44' Latitud Sur y 72°35' Longitud Oeste, a una distancia de 667 Km al sur de Santiago, con una superficie total de 464 Km<sup>2</sup>, distribuidos en 32,54 Km<sup>2</sup> en el territorio urbano y 431,46 Km<sup>2</sup> en el territorio rural. Limita al norte con las comunas de Lautaro, Galvarino y Chol Chol, al sur con la comuna de Padre Las Casas, al oeste con la comuna de Nueva Imperial y al este con las comunas de Lautaro y Vilcún (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

La comuna de Padre Las Casas, se localiza entre los 38°41' Latitud Sur y 72°22' Longitud Oeste con una superficie total de 465,50 km<sup>2</sup>, de los cuales sólo el 1% aproximadamente corresponde actualmente a superficie urbana, y el 99% restante corresponde a superficie del área rural. Limita, al norte con las comunas de Temuco, al sur con la comuna de Freire, al oeste con la comuna de Nueva Imperial y al este con las comunas de Vilcún y Cunco (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

En la ciudad de estudio el 75% de la leña es usada en invierno; el 35% de los hogares tienen una cocina a leña y el 30% una estufa de combustión lenta. En promedio, el consumo de leña es de 5,8 metros cúbicos anuales y el 48% del consumo se concentra en la población de menores ingresos. Considerando lo anterior, es importante señalar que del total de emisiones de material particulado el 87% corresponde por el uso residencial de leña (Cortés, 2013). Lo anterior ocasionó que la ciudad fuera declarada como zona saturada de MP 10 en el año 2005, MP2.5 en el año 2013 y 2 años después se aplicara su respectivo plan de descontaminación (2015) (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

### Plan de descontaminación

El plan de descontaminación que regirá en las comunas de Temuco y Padre Las Casas tiene como objetivo dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable mp10 y a

la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable fino mp2.5 en un plazo de 10 años.

Dado que en el sector estudiado la principal fuente emisora es el uso de leña para calefacción, la estrategia está enfocada en promover una calefacción sustentable, es decir, las medidas tienen por objetivo diversificar la matriz energética de la calefacción domiciliar, comercial y pública.

Considerando lo mencionado, el plan considera dos medidas estructurales: 1) el acondicionamiento térmico de viviendas, con el fin de disminuir el requerimiento energético de la población, y 2) la sustitución de sistemas de calefacción contaminantes por sistemas eficientes y con menos emisiones, el cual tiene por objetivo reducir las emisiones a la atmósfera pero también las intradomiciliarias. La implementación de las medidas descritas propone una versión integral del problema considerando la economía local en torno a la leña, el arraigo cultural del uso de calefacción tradicional y el problema social asociado a los costos de la calefacción.

Las principales acciones del plan de descontaminación para afrontar la combustión residencial son:

1. Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de la leña: la leña deberá cumplir con los estándares establecidos por el Sistema Nacional de Certificación de Leña<sup>26</sup>. Esta iniciativa tiene por objetivo reducir la deforestación y la polución ambiental y controlar el mercado informal de la leña (Cortés, 2013).
2. Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda: a través del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, con el Subsidio para Acondicionamiento Térmico de la Vivienda, que permite mejorar la aislación térmica de viviendas sociales (Cortés, 2013).
3. Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos residenciales que usan a leña: se realiza mediante la certificación de los artefactos comercializados en la ciudad y la promoción del recambio voluntario, que compromete subsidios del gobierno (Cortés, 2013).

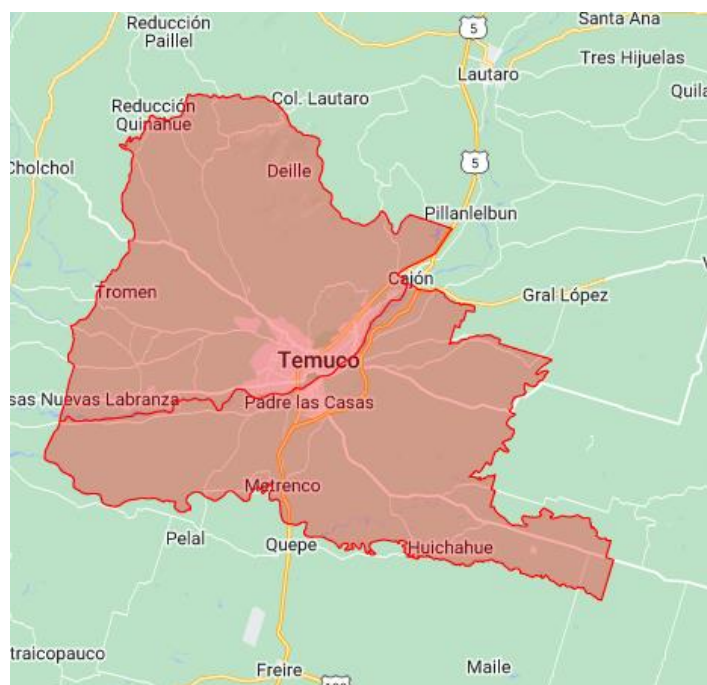


Figura 1: Zona de aplicación del plan de descontaminación.

### Características climáticas y meteorológicas de la zona

Temuco y Padre Las Casas se caracterizan por un tipo de clima templado lluvioso con influencia mediterránea, presentando temperaturas promedio cercanas a los 12°C y precipitaciones de más de 1.000 mm al año. Durante el invierno, sucesivas perturbaciones frontales generan gran parte de las precipitaciones registradas en la zona. En el caso del verano se registran precipitaciones superiores a los 50 mm, por lo que no se puede hablar de estaciones secas (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

Durante el año se presentan marcadas diferencias de temperatura mostrando una variación anual de unos 9°C entre enero y julio, para los valores medios. Por otra parte, las extremas absolutas pueden variar entre los -5°C (junio) y 37°C (febrero). Precisamente, son las temperaturas extremas de los meses invernales las que provocan un intensivo uso de calefacción residencial en la ciudad (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

### Efectos del clima

Los altos niveles de concentraciones de material particulado (fino y grueso) presentan una marcada estacionalidad y un ciclo diario característico. Para el ciclo anual, las concentraciones promedio diarias se incrementan entre los meses de abril a septiembre, ocurriendo en este periodo los casos en los que se supera el valor establecido por la norma diaria. Tanto el ciclo diario como anual están asociados a condiciones meteorológicas que determinan la mala dispersión de contaminantes, estabilidad atmosférica y bajas temperaturas, así como también al aumento en las emisiones producto de la calefacción residencial. Además, las características topográficas de la ciudad propician que altos niveles de material particulado se concentren en las áreas de planicie y terraza inferior del río Cautín, las que por su condición de ribera favorecen la presencia de neblina en épocas invernales, empeorando la calidad del aire. Por otro lado, se debe mencionar que en meses fríos se incrementa de manera significativa la proporción de mp 2.5 en el mp 10 llegando hasta el 80% en algunos casos (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

### III. Estado del arte

#### **Incidencia de la cuarentena en la calidad del aire**

La contaminación del aire repercute en el bienestar de los seres vivos, en sus ecosistemas y en el medioambiente. Además, incide directamente en la salud humana y afecta el rendimiento de la agricultura, la economía y la biodiversidad (Otero, Casasola, Prieto, Pereyra, & Brusca, 2021). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y alrededor de 83 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire debido al uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016 (Organización Panamericana de la Salud, paho.org, 2022).

Durante los primeros meses de la cuarentena se observó en varias ciudades del mundo una reducción importante de la presencia de contaminantes ambientales, uno de ellos corresponde a material particulado en suspensión. Esto fue a causa de las reducciones de viajes a escala mundial y local, cierre de escuelas y empresas, y detención de parte de la actividad industrial (Otero, Casasola, Prieto, Pereyra, & Brusca, 2021).

En la investigación “Mediciones de PM10 y NO2 durante los primeros meses de la cuarentena de covid-19 en el 2020 en ciudad de Buenos Aires, Argentina” (Otero, Casasola, Prieto, Pereyra, & Brusca, 2021) se analizan los efectos de la cuarentena sobre mediciones de material particulado y dióxido de nitrógeno mediante datos de la Estación de Monitoreo de la Avenida Córdoba de la Ciudad de Buenos Aires y datos satelitales del sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument).

En el estudio se observa reducciones de niveles de pm10 y NO2 los primeros días de la cuarentena y, en el caso de NO2, se logra determinar un umbral natural de abundancia en la atmósfera. Los niveles de los contaminantes mencionados en ciudad de Buenos Aires durante julio y agosto se vieron influenciados por el transporte de los vientos de columnas de humo de las quemadas de biomasa que se registraron, lo cual pone de manifiesto que los aerosoles pueden recorrer cientos de kilómetros desde su origen afectando el clima, calidad de aire y visibilidad de otras zonas muy distantes desde su fuente de emisión.

Considerando todo el análisis se concluye que la cuarentena por COVID-19 ofreció solo un respiro temporal de la contaminación del aire. Marcó que las acciones para restringir la propagación de COVID-19 dieron una solución temporal, que podrían ser el inicio de hábitos renovados para demandas de aire más limpio a largo plazo (Otero, Casasola, Prieto, Pereyra, & Brusca, 2021).

Esta investigación entrega información fundamental entre la relación de calidad de aire y restricción de la movilidad ocasionada durante la pandemia por COVID-19. Queda en evidencia que una reducción en la movilidad de la población genera una tendencia de disminución en los contaminantes atmosféricos, no obstante, es importante destacar que todo el comportamiento evidenciado depende principalmente del lugar que esté en estudio. A lo largo del artículo queda en evidencia que las fuentes móviles son la principal razón de contaminación en ciudad de Buenos Aires, seguidas por las industrias y combustión de biomasa, por lo tanto, es lógica la relación planteada entre la calidad del aire y la cuarentena para ese lugar en específico.

#### **China**

La epidemia de COVID-19 estalló en Wuhan, Hubei en diciembre de 2019 y en enero de 2020 para luego transmitirse a todo el país y el mundo. Un estudio nombrado: “Impacto de las medidas de cuarentena en

las composiciones químicas de PM<sub>2.5</sub> durante la epidemia de COVID-19 en Shanghai, China” (Hui Chen, 2020) entrega información parecida al artículo de Otero, Casasola, Prieto, Pereyra y Brusca, pero en otra ubicación.

En esta investigación se presenta la composición química principal de material particulado 2.5 y las concentraciones de contaminantes gaseosos en un sitio urbano en Shanghai antes y durante el periodo de cuarentena de la epidemia de COVID-19. Los resultados muestran que la reducción de PM<sub>2.5</sub> puede atribuirse principalmente a la disminución de las concentraciones de nitrato y aerosoles primarios.

Para frenar la propagación de COVID-19 el gobierno chino emitió estrictas medidas de cuarentena (bloqueo) en Wuhan el 23 de enero de 2020 y promulgó las medidas restrictivas correspondientes en diferentes regiones según el nivel de la epidemia. Estas medidas incluyeron la reducción del transporte público y el cierre de escuelas y centros comerciales. Estas medidas de cuarentena aliviaron efectivamente la propagación de la epidemia de COVID-19 en China pero también suprimió en gran medida las emisiones antropogénicas. Sin embargo, la reducción de emisiones no evitó la aparición de neblina severa en China, y una explicación para esto se deriva de un estudio modelo que mostró que una gran reducción de emisiones en el transporte y una ligera reducción en la producción industrial son insuficientes para prevenir la neblina en China en el invierno (Hui Chen, 2020).

La calidad del aire en Shanghai ha experimentado una mejora continua y sustancial a través de la reducción de las emisiones industriales. La variación en los niveles de contaminación durante el Año Nuevo Chino (CNY) ha llamado mucho la atención debido al complejo efecto de las actividades antropogénicas sobre las emisiones. Cercano a esta fecha un gran porcentaje de la población viajan a reunirse en familia provocando flujos de tráfico extremadamente altos. Mientras tanto, las emisiones antropogénicas se reducen en cierta medida por el cierre temporal y parcial de las fábricas. La concentración de contaminantes cae durante esta celebración, pero se recupera rápidamente posterior a CNY (Hui Chen, 2020).

Debido al efecto conjunto de las medidas de cuarentena y las vacaciones del Año Nuevo Chino la reducción de emisiones duró lo suficiente en el año 2020 y su impacto en la calidad del aire fue clara (Hui Chen, 2020), demostrando que para esta ciudad la restricción de movilidad ayuda positivamente en la calidad del aire.

Por otro lado, en la investigación titulada: “Mayor exposición a la contaminación del aire entre la población china durante la cuarentena nacional en 2020” (Huizhong Shen, 2021) se postula que la exposición general de la población también depende de la calidad de aire interior y de la movilidad y de las actividades humanas. Integrando datos de movilidad en tiempo real y una encuesta de cuestionario sobre patrones de tiempo-actividad durante la pandemia se muestra que a pesar de una disminución en el material particulado ambiental durante la cuarentena, la exposición total de la población considerando ambientes interiores y exteriores aumentó (utilizando un intervalo de confianza de 95% de certeza). El aumento en la exposición ponderada fue impulsado principalmente por una migración de población urbana a rural a nivel nacional antes del Festival de Primavera (Año Nuevo Chino), junto con el congelamiento de la migración hacia atrás debido a la cuarentena, que aumentó el consumo de energía de los hogares y la fracción de personas expuestas a la energía rural. Este análisis revela una mayor desigualdad en la exposición a la contaminación del aire durante la cuarentena y destaca la importancia de la contaminación del aire en los hogares para la salud de la población en China (Huizhong Shen, 2021).

Debido al brote de COVID-19 y el festival la población estuvo más tiempo en sectores rurales donde la contaminación del aire doméstico es más severa debido al uso frecuente de combustibles sólidos (carbón y biomasa) para cocinar. Además, durante esa temporada, todavía había calefacción ambiental sustancial en los hogares en gran parte del país, lo que es incluso más probable que se haga con combustibles sólidos.

Ambos estudios entregan información relevante, si bien la mejora de la calidad del aire durante cuarentena se observó en varias localidades, se debe tener en cuenta características meteorológicas y económicas para saber si efectivamente disminuyó la contaminación. En el artículo de Huizhong Shen se realiza una diferencia entre sector urbano y rural, teniendo en cuenta que en este último se utiliza mucho más el uso de combustibles sólidos para cocinar y enfrentarse a bajas temperaturas. Por otro lado, en grandes ciudades la mayor fuente de contaminación es por transporte y movilización en general, lo cual efectivamente se ve beneficiado por una restricción de movilidad.

Otro punto importante en la investigación de Huizhong Shen es que toma en consideración las bajas temperaturas y las medidas para mitigarlo de la población con bajos recursos. Esta problemática también es enfrentada por la ciudad de Temuco, puesto que el gran uso de leña en la localidad ocasiona una mayor contaminación de material particulado. En ambos lugares el gobierno de los respectivos países optó por incentivar a la población con planes de calefacción limpia.

## **Chile**

En el caso de Chile el COVID-19 llegó meses más tarde que en China, pero en la investigación titulada: “Contaminación del aire y confinamiento por COVID-19 en una gran ciudad sudamericana: Área Metropolitana de Santiago, Chile” (Toro, y otros, 2021) se realiza un estudio detallado sobre como afectó.

La investigación se centra en Santiago de Chile, en donde se realiza una comparación entre las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y O<sub>3</sub> durante los meses de marzo a mayo de 2020 y las concentraciones correspondientes durante el mismo período en 2017-2019. Una combinación de mediciones de superficie de la red de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, mediciones satelitales remotas y simulaciones de la actividad del tráfico y las emisiones del transporte por carretera permitió cuantificar el cambio en las concentraciones promedio de cada contaminante (Toro, y otros, 2021).

En este estudio se utiliza una base de datos proporcionada por el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Las estaciones de vigilancia están distribuidas por toda la ciudad y miden concentraciones de aerosoles atmosféricos y contaminantes, además de datos meteorológicos (Toro, y otros, 2021).

La calidad del aire de la región metropolitana está influenciada por emisiones locales de corto plazo y por variaciones meteorológicas locales y sinópticas con marcada estacionalidad y comportamiento diurno. Por lo tanto, una comparación de las concentraciones de contaminantes en tres años históricos en los meses de marzo, abril y mayo con las correspondientes del año 2020 mostraría el efecto de las medidas de distanciamiento físico sobre la calidad del aire de Santiago durante la pandemia de COVID-19. Se menciona además que el promedio de un periodo de referencia de tres años es suficientemente largo para ser utilizado como referencia luego de minimizar la variabilidad interanual de los niveles de contaminación del aire (Toro, y otros, 2021).

Los cambios relativos durante el año de pandemia indican que las medidas de confinamiento y distanciamiento físico incidieron en las principales fuentes de contaminantes en Santiago. Las principales

fuentes emisión de la localidad son las fuentes móviles de transporte y las emisiones domiciliarias, las cuales contribuyen aproximadamente con el 40% y 30% del presupuesto anual respectivamente, pero aumentan en la temporada de invierno alcanzado valores superiores al 50%. El efecto positivo de las reducciones en las emisiones puede ser contrarrestado por el aumento en las emisiones residenciales debido al confinamiento parcial y total implementados. Si bien para el material particulado grueso la disminución no fue significativa, para el material fino si lo fue. Esto puede atribuirse a factores locales combinados, como una disminución en las emisiones de fuentes móviles y condiciones de viento relativamente similares a lo largo de los años (Toro, y otros, 2021).

Las medidas de confinamiento y distanciamiento físico implementadas en ciudad a partir de marzo de 2020 por el gobierno de Chile en respuesta a la pandemia del COVID-19, tales como la suspensión de clases en colegios y universidades, restringiendo el movimiento de personas dentro y fuera de un área geográfica definida durante cierres parciales y luego totales, toques de queda nocturnos y reuniones limitadas de más de 50 personas en espacios cerrados como restaurantes y espectáculos, han resultado en grandes reducciones en las emisiones de tráfico y reducciones estadísticamente significativas en las concentraciones ambientales promedio de PM10, PM2.5, NO2, NO y CO en el período de marzo a mayo de 2020 en comparación con las concentraciones promedio en el mismo período en 2017, 2018 y 2019 (Toro, y otros, 2021).

En el contexto entregado en el marco teórico y estado del arte, surge la principal motivación de la presente investigación, estudiar la relación del periodo de cuarentena con respecto a la calidad del aire centrándose en una localidad que posee principalmente fuentes fijas como fuentes de emisión de contaminantes.

## IV. Objetivos

### Objetivo general

- Analizar el efecto de las cuarentenas sobre la calidad del aire en la ciudad de Temuco, región de la Araucanía.

### Objetivo específico

- Determinar criterios para análisis temporal de calidad del aire en periodos sin y con cuarentena.
- Identificar contaminantes principales de la ciudad de Temuco.
- Analizar la relación de las cuarentenas respecto a la concentración de contaminantes presentes en la ciudad de Temuco.
- Estudiar el comportamiento histórico de los contaminantes principales de la ciudad de Temuco en periodos sin y con cuarentena.

## V. Hipótesis

Como hipótesis de la presente Tesis, se postula que la disminución en la movilidad generará un aumento en las emisiones de fuentes fijas residenciales, provocando un impacto negativo en la calidad del aire en la ciudad de Temuco.

## VI. Metodología

### Selección de datos

#### Determinación del periodo de estudio

Para identificar los meses del año 2020 en donde fueron implementadas cuarentenas en la ciudad de Temuco se utilizó el Diario Oficial de la República de Chile, institución encargada de la publicación de las normas jurídicas que rigen al país. En el año de estudio solamente se identificaron dos posibles periodos para seleccionar, el mes de abril y del primero de noviembre hasta el 20 de diciembre. La manera de discernir entre estos radicó en la temporada que está en dichas fechas, puesto que la investigación va dirigida a material particulado emitido por el uso domiciliario de combustible leña utilizado para calefacción y preparación de alimentos, la época donde tiene su mayor funcionamiento es con bajas temperaturas, es decir, otoño-invierno. Considerando lo mencionado, el periodo seleccionado es desde el primero hasta el último día de abril del año 2020.

#### Determinación periodo comparativo

La calidad del aire del área metropolitana de Temuco se ve determinada principalmente por la utilización de combustible de leña como combustible en cocinas y calefactores domésticos. Las emisiones de esta fuente que aporta un 94% del total de las emisiones de material particulado (fino y grueso) se concentran mayoritariamente en meses fríos (abril a agosto) debido a bancos de niebla, bajas temperaturas y ausencia de viento (Ministerio del Medio Ambiente, SINCA, 2022). Además, como se menciona en el estudio realizado por Mauricio Osses citado en la sección del Estado del Arte, la determinación del periodo comparativo se realiza basándose en la temporada de interés con respecto a la calidad del aire de la zona. Por lo tanto, la presente investigación establece que un periodo de referencia de cuatro años (2016-2019) es suficiente para mostrar el efecto de las medidas de distanciamiento implementadas durante el año 2020 (Toro, y otros, 2021).

#### Sistema de Monitoreo Calidad del Aire (SINCA) /Red MMA

El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente tiene como objetivo entregar información de calidad de aire de todo el país para mejorar el conocimiento, la vigilancia y la gestión de la calidad del aire existente en el país. De esta manera, en el portal mencionado se encontrarán mediciones de calidad del aire en línea, seguimiento histórico de las mediciones de calidad del aire y meteorología, antecedentes de las estaciones de monitoreo, documentación relacionada con calidad de aire y monitoreo y enlaces a sitios web de interés, nacionalidad e internacionales.

La información que se presenta se encuentra agrupada en 3 categorías diferentes:

- Registros no validados: corresponde a la información recibida en línea, de forma automática, desde las estaciones de monitoreo que se encuentren conectadas al sistema.
- Registros preliminares: corresponden a datos validados en una primera instancia, efectuada por los operadores de la estación donde se corrigen los datos desfasados o se eliminan aquellos que corresponden a fallas o mantenciones como las calibraciones de los instrumentos.
- Registros oficiales: corresponden a los datos validados previamente por los operadores de las estaciones, que pasan por un segundo proceso de validación por algún organismo estatal que tenga competencia sobre los datos.

Es importante mencionar que los registros no validados o registros preliminares no pueden ser utilizados para la verificación de la normativa vigente, sino que únicamente como referencia al estado de la calidad del aire, debiendo confirmar la información acá presentada, con la autoridad competente que corresponda.

Por consiguiente, mediante el portal de la red del MMA se extrajeron los datos validados de las concentraciones de material particulado para todos los días y horas del mes de abril desde el año 2016 al 2020. Los datos seleccionados se ordenan de manera cronológica utilizando la herramienta Microsoft Excel con el fin de realizar un análisis estadístico de intervalos de confianza con una certeza del 95%.

### Selección de emplazamiento

Temuco posee actualmente una red con 3 estaciones de monitoreo de distintas fechas de instalación y puesta en marcha, contándose con data de mp10 a partir del año 2001 y para el caso del mp2.5 se cuenta con información continua desde el año 2008 en adelante (Ministerio del medio ambiente, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015). Las estaciones mencionadas corresponden a: Las Encinas Temuco, Padre Las Casas II y Ñielol. Considerando que la investigación busca realizar comparaciones entre la zona urbana y rural de las concentraciones de material particulado las estaciones que se utilizarán para exportar los datos corresponden a Las Encinas Temuco y Padre Las Casas II.



Figura 2: Ubicación de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Temuco.

- Estaciones de monitoreo
- 1. Las Encinas Temuco

Tabla 1: Información general de la estación de monitoreo Las Encinas Temuco.

Propietario	Ministerio del Medio Ambiente
Operador	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
Coordenadas UTM	706767 E 5708420 N
Huso horario	18
Inicio de operación reportada	1996-12-31

- 2. Padre Las Casas II

Tabla 2: Información general de la estación de monitoreo Padre Las Casas II.

Propietario	Ministerio del Medio Ambiente
Operador	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
Coordenadas UTM	708625 E 5706593 N
Huso horario	18
Inicio de operación reportada	2012-04-20

## **Análisis de datos**

### Estadístico

Luego de determinar el periodo de estudio y comparativo, los tipos de datos a exportar y la selección de emplazamiento comienza el tratamiento de datos. Lo anterior se lleva a cabo utilizando intervalos de confianza con certeza del 95%, es decir, con los años previos a la cuarentena (2016-2019) se obtienen límites superiores e inferiores en donde se encontrarán los valores del año 2020 con una certeza del 95%. Por lo tanto, el 5% restante que no se encuentre dentro de los límites corresponden a los días que serán analizados con intervalo de confianza de manera horaria. El objetivo de identificar los días que se encuentren fuera de los límites es que si sus valores se encuentran sobre el límite superior se cumple la hipótesis planteada en la investigación, puesto que habría un aumento en las emisiones durante el periodo de cuarentena. En caso contrario de encontrar bajo el límite inferior, no se cumpliría la hipótesis presentada. De todas maneras, en ambos casos de valores fuera del intervalo se analizaría si efectivamente el comportamiento es consecuencia del confinamiento contrastando los días con parámetros meteorológicos.

### Datos faltantes

Los datos tratados cuentan con cierta antigüedad que tiene como problemática la posible falta de valores validados. En el caso de enfrentarse a un análisis con falta de valores no se considerará correcto tratar los datos con una cantidad significativa de casillas vacías, puesto que habría una disminución importante de la representatividad de la muestra. No obstante, la data tratada tiene una despreciable cantidad de valores faltantes, por lo tanto, estos se estimarán en base a los datos válidos de la muestra mediante una sustitución por la media horaria mensual.

### Comparación y análisis de los resultados

La manera de saber qué tan precisa es la estimación entre las medias aritméticas de los años históricos y el año con cuarentena será utilizando un intervalo de confianza con un 95% de certeza. Considerando que el tamaño de la muestra es grande, la longitud del intervalo es pequeña, es decir, tiene una mayor precisión. Esta herramienta será aplicada de manera horaria y diaria durante todo el mes con el objetivo de identificar los días que se encuentren fuera del intervalo. En el caso de los días encontrados, tanto para MP2.5 como MP10, serán analizados particularmente identificando las horas en donde no se encuentran en el intervalo.

Con respecto a los días que no estén dentro de la longitud del intervalo de confianza se analizará la posible razón de su comportamiento basándose en parámetros meteorológicos tales como la calidad del aire, temperatura y precipitaciones en la zona obtenidos de la estación climatológica Maquehue (Información y ubicación de estación climatológica utilizada). Primeramente, se realizará un análisis con respecto a la

tendencia mensual para posteriormente dar inicio a un estudio más detallado para cada día que tuvo un comportamiento fuera del intervalo de confianza.

## VII. Resultados y análisis

### Estación Las encinas material particulado 2.5

#### Comparación diaria mensual entre periodo histórico y año de estudio

La Figura 3 detalla el gráfico elaborado con los resultados obtenidos (Estación Las Encinas Temuco MP 2.5) para la concentración de MP2.5 en la estación de monitoreo Las Encinas Temuco. Se aprecia que la tendencia general es que el año 2020 se encuentre al interior del intervalo de confianza (IC) a excepción de trece días del mes donde sufre aumentos o disminuciones significativas con respecto a los límites de este. Además, al realizar una comparación con el promedio histórico, es posible notar que comienza el mes con menores concentraciones de MP hasta el día 12 donde comienza un aumento hasta el día 16, luego en el día 19 se repite el mismo comportamiento mencionado.

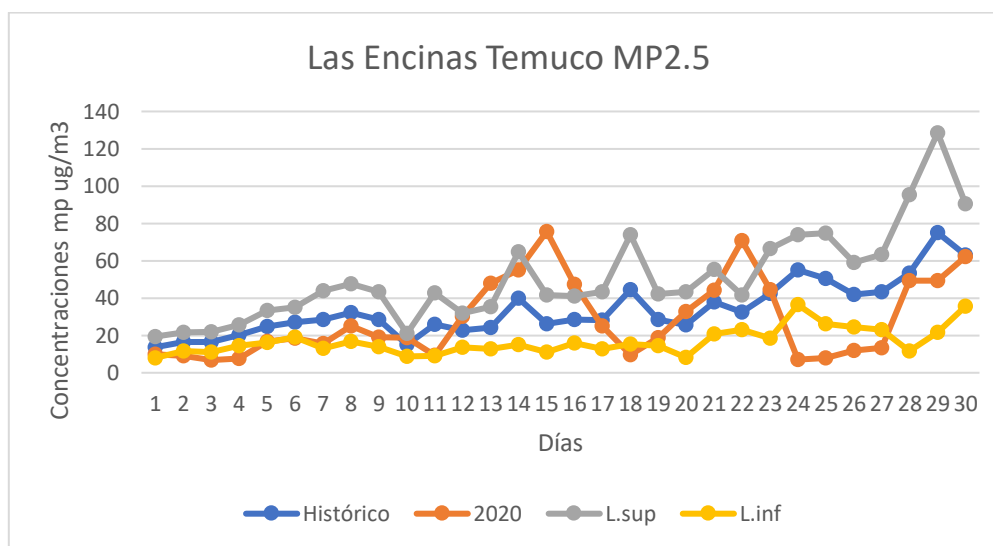


Figura 3: Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Las Encinas Temuco.

La tendencia que tiene el gráfico anterior puede explicarse mediante parámetros meteorológicos tales como la temperatura, precipitaciones y calidad del aire.

Con respecto a la temperatura se puede observar en la Figura 4 (Detalle del comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril para los años 2016-2020) que, si bien la temperatura mínima en el año 2020 es menor que para los años anteriores, la máxima también es mayor con respecto a los valores históricos, por lo tanto, la temperatura media mantiene la tendencia normal con un leve aumento lo cual indicaría que no es un factor que implique un alza en el uso de calefacción. Incluso podría significar una disminución en este tipo de fuente por no enfrentarse a temperaturas medias tan bajas como los años anteriores.

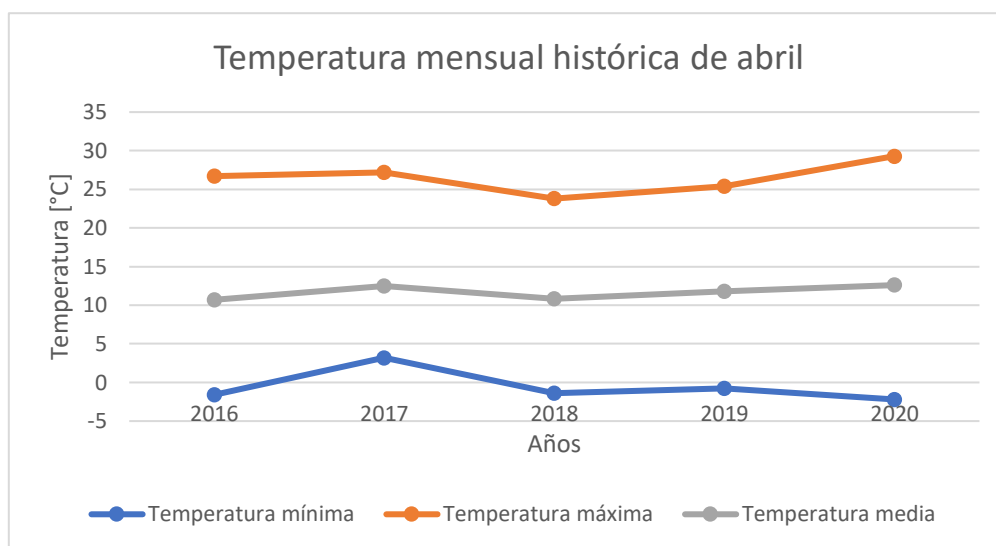


Figura 4: Gráfico de temperaturas mínimas, máximas y medias para los años 2016 a 2020.

Las precipitaciones constituyen un mecanismo importante y muy eficiente para la remoción de contaminantes desde la atmósfera (Rubio, Lissi, Riveros, & Paez, 2001). En el caso de estudio, las precipitaciones graficadas en la Figura 5 (Detalle del comportamiento de la precipitación acumulada en abril de los años 2016-2020) muestran que en el mes de abril del año 2020 hubo menor volumen de lluvia con respecto a los años históricos. Lo anterior indicaría menor dispersión en los contaminantes lo cual podría interpretarse como una mayor acumulación de MP2.5 en el ambiente y explicaría los días que se encuentran sobre el límite superior del intervalo de confianza.

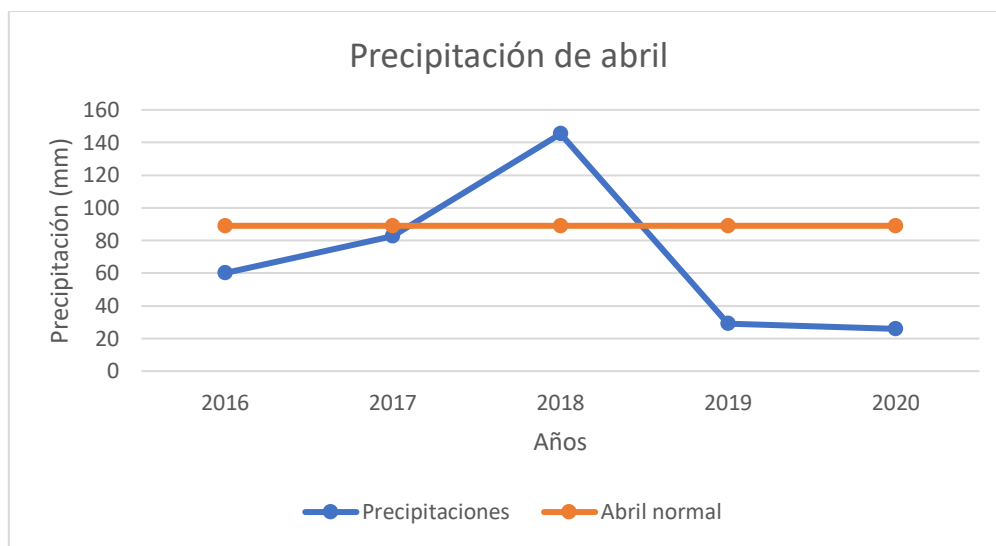


Figura 5: Gráfico de precipitaciones para los años 2016 a 2020.

La calidad del aire es determinada de acuerdo a la legislación chilena vigente según los datos que entreguen las estaciones de monitoreo del Ministerio del Medio Ambiente. Esta entidad mediante Aire Chile (Ministerio del Medio Ambiente, Aire Chile, 2022) entrega información según región del país sobre

la calidad del aire diaria en las localidades y realiza informes anuales por episodios críticos durante cada mes. Los episodios críticos son de tres tipos, alerta ambiental (nivel 1), preemergencia ambiental (nivel 2) y emergencia ambiental (nivel 3) y dependiendo de qué tipo sea se implementan medidas para enfrentarlos.

Considerando lo mencionado, a continuación se detallan los episodios críticos a lo largo de los años en el mes de abril para Temuco y Padre Las Casas:

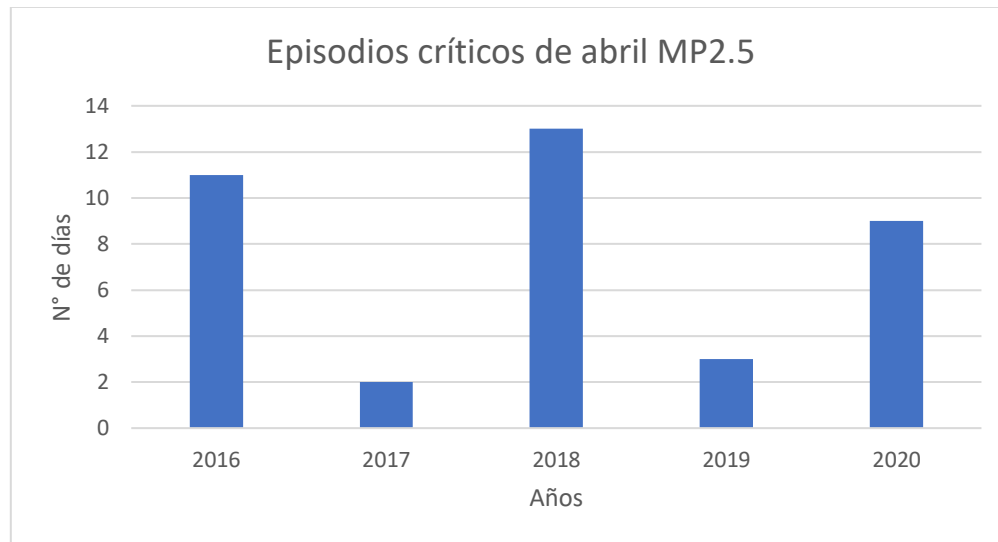


Figura 6: Episodios críticos en Temuco y Padre Las Casas del mes de abril para los años 2016 a 2020.

Como se muestra en la Figura 6 (Detalle por día de calidad del aire para MP2.5 y MP10 durante los años 2016 a 2020 entregado por el Ministerio del Medio Ambiente) la cantidad de episodios críticos del año 2020 se encuentra cercano al promedio de los años históricos, esto en términos generales podría explicar tanto los días en donde los valores se encuentren fuera del límite superior como los días donde los valores se encuentren bajo el límite inferior. Como interpretación a grandes rasgos al ser una cantidad de episodios críticos correspondiente al 30% del total la calidad del aire en general fue relativamente buena, por lo tanto, los datos bajo el intervalo de confianza se verían respaldados por esta condición.

#### Días fuera de los límites

Mediante la Figura 3 se identifican todos los días encontrados fuera del intervalo de confianza, siendo para este caso un total de trece días donde cuatro superan el límite superior y nueve están bajo el límite inferior.

Los gráficos se agrupan de la manera descrita anteriormente (sobre límite superior y bajo límite inferior), puesto que presentan características similares y se analizarán de manera general por los parámetros mencionados con anterioridad a menos que presenten aspectos únicos los cuales se abordarán de manera específica por día.

- Sobre límite superior del IC

En los próximos cuatro gráficos la tendencia en general es que el año 2020 supera una gran o toda cantidad de horas el límite superior del intervalo de confianza. El día 13 de abril es el único que posee un rango

horario que se encuentra bajo el límite superior desde las 11 am hasta las 9 pm para luego volver a la tendencia original.

Con respecto a la temperatura se identifica que el único día fuera del IC es el 13 de abril el cual desciende aún más que el límite inferior, mientras que los demás se encuentran dentro de este con una tendencia ascendente clara. De esta manera, el factor temperatura solo explicaría el comportamiento del día 13, puesto que una menor temperatura provocaría un aumento en el uso de calefacción en la población. A continuación se encuentra el gráfico para las temperaturas medias de abril utilizado para este y los próximos análisis (Detalle temperatura media diaria):

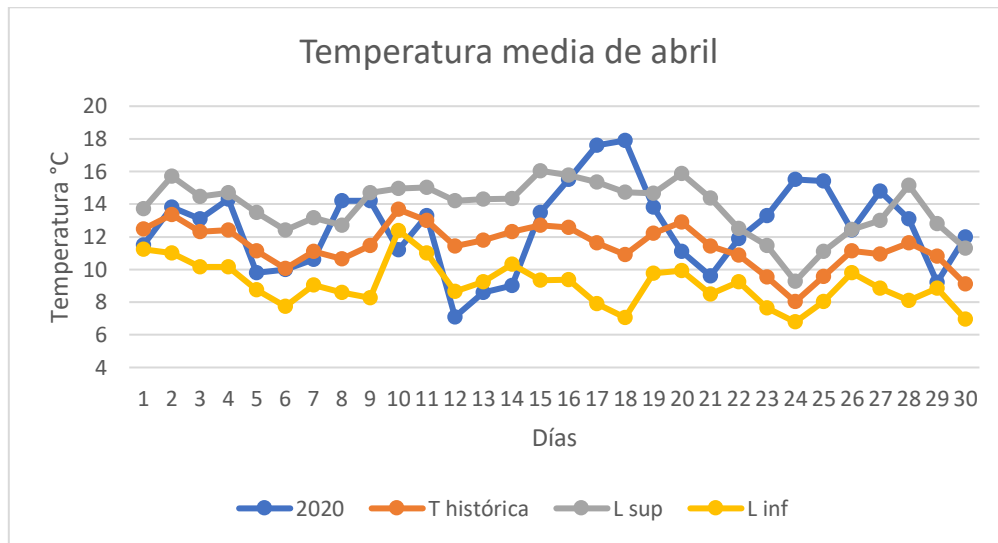


Figura 7: Gráfico de temperaturas medias diarias para el mes de abril.

En cuanto a las precipitaciones se observa que los cuatro días no exceden ningún límite del intervalo, por lo tanto, su comportamiento no puede ser explicado con seguridad bajo este parámetro. Sin embargo, es importante mencionar que el año 2020 fue el que tuvo menor precipitación con respecto al periodo histórico, por lo tanto, a pesar de encontrarse dentro del IC las precipitaciones siguen siendo bajas lo cual influiría en una atmósfera más contaminada. A continuación se encuentra el gráfico para las precipitaciones de abril utilizado para este y los próximos análisis (Detalle precipitación diaria):

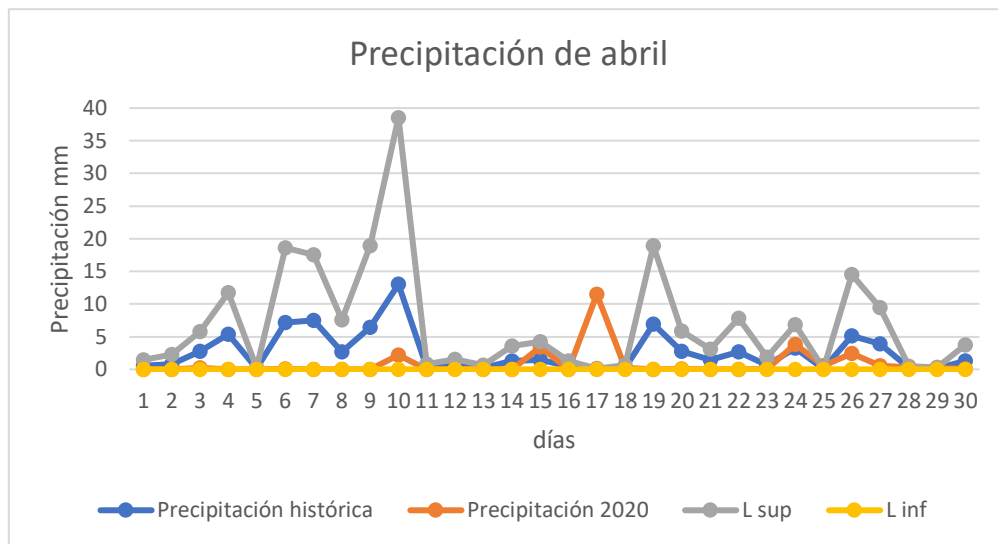


Figura 8: Gráfico de precipitaciones diarias para el mes de abril.

La calidad del aire se observará por día:

Para el día 13 de abril hubo condición buena-regular para todos los años, por lo tanto, al no registrar ningún episodio crítico este parámetro no explica el comportamiento fuera del límite de este día.

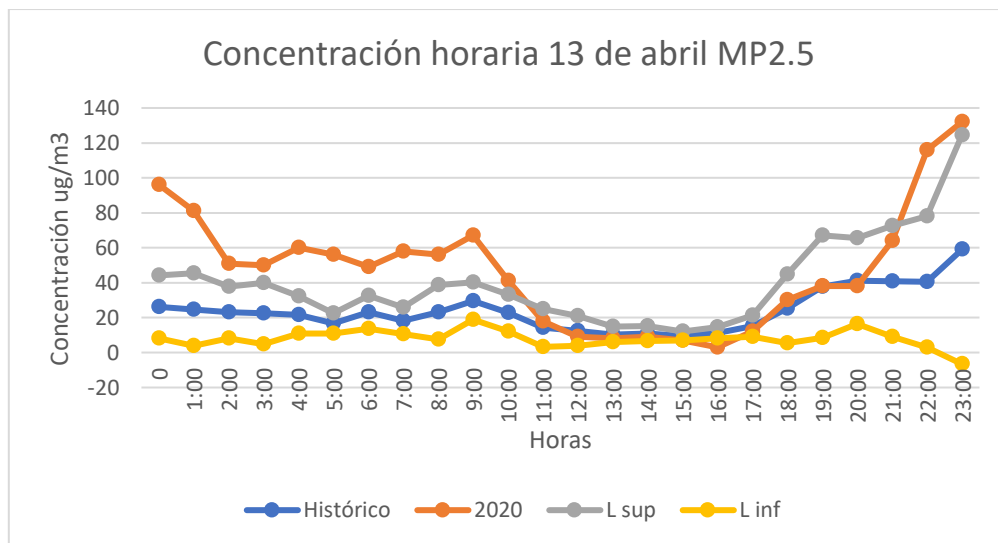


Figura 9: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 13 de abril.

Para el día 15 de abril hubo condición buena para el año 2016, regular para el 2017 y alerta para los demás años, es decir, se registran 3 episodios críticos los últimos años lo cual se entiende como calidad del aire no óptima y explicaría el comportamiento sobre el límite superior observada en el gráfico mensual. En cuanto al comportamiento diario, se presenta a continuación las horas donde la concentración de MP2.5 superó el límite del IC:

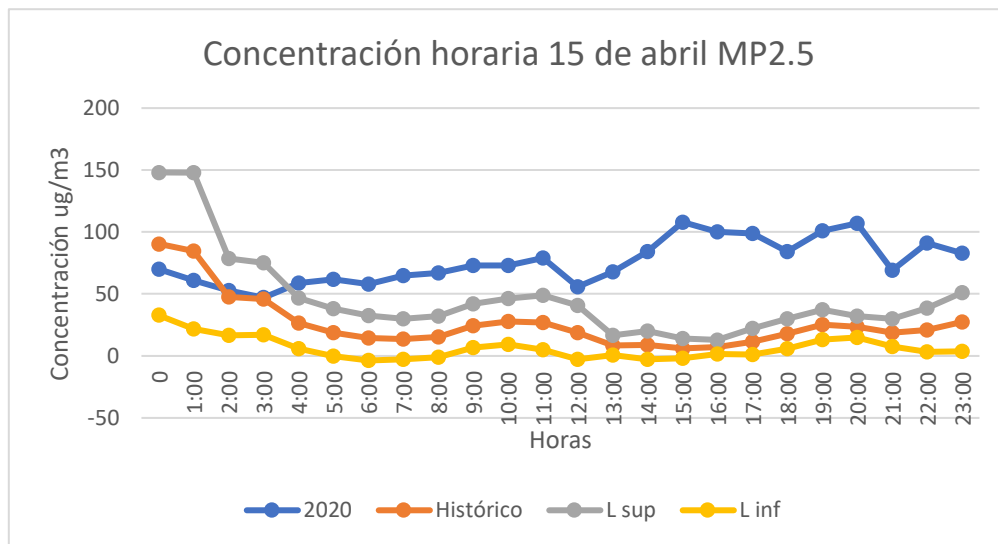


Figura 10: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 15 de abril.

Para el día 16 de abril hubo condición buena para el año 2016-2017, regular para el 2019 y alerta para 2018 y 2020, es decir, la tendencia histórica tendría una mejor calidad del aire que el año 2020 y explicaría de esta manera la tendencia fuera del límite observada en el gráfico mensual. El detalle del día según horario se encuentra a continuación:

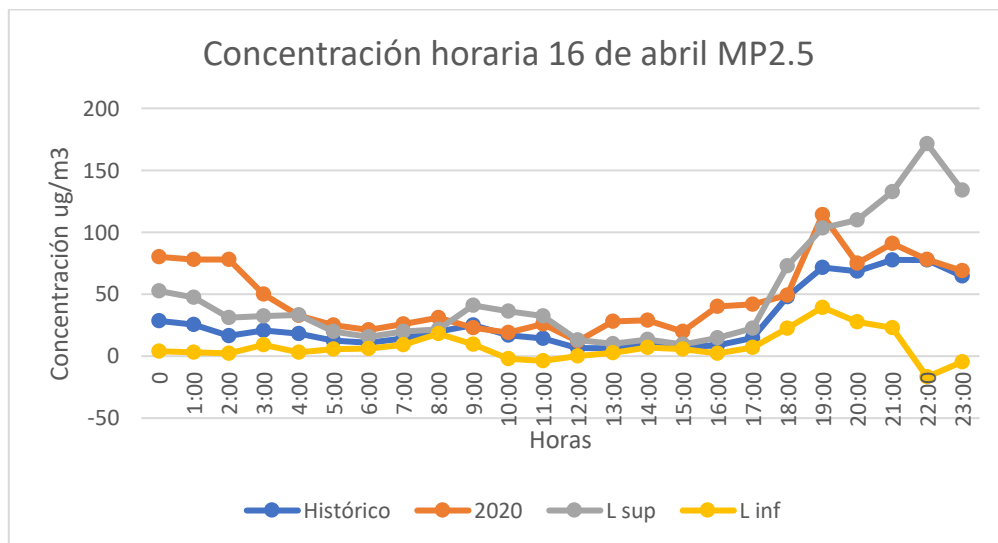


Figura 11: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 16 de abril.

Para el día 22 de abril hubo condición buena para el año 2019, regular para el 2017-2018 y alerta para el 2016 y 2020. Considerando lo anterior la calidad del aire histórica es mejor que la del año en estudio, por lo tanto, es predecible que la tendencia del año 2020 sea mayor al límite superior.

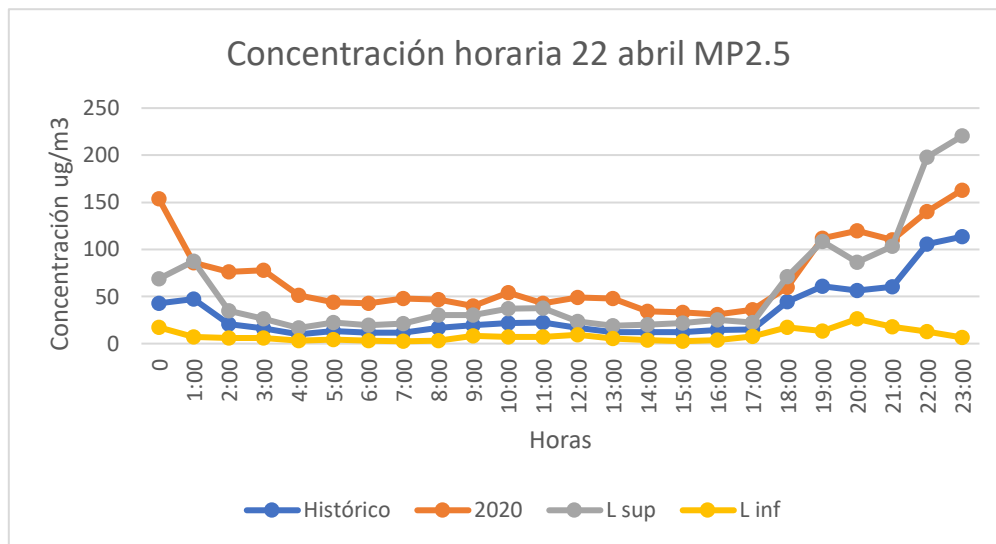


Figura 12: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 22 de abril.

- Bajo límite inferior del IC

Como los días bajo el límite son de una mayor cantidad se analizarán agrupándolos según las horas en donde las concentraciones estén bajo su respectivo límite inferior. La agrupación anterior se realiza con el fin que estos días comparten características similares según los parámetros a analizar.

- Rango 1 (8:00 a 15:00 hrs)

El comportamiento horario de estos días corresponde a estar bajo el límite inferior continuamente desde las 8:00 hrs hasta que a las 21 hrs vuelve a estar en el IC.

Durante estos tres días la temperatura media es mayor que la histórica con auges notables en la Figura 7. Además, los días 18 y 27 superan incluso el límite superior del intervalo de confianza en este horario. El tener un mayor valor de temperatura media para este rango explicaría una baja en el consumo de calefacción en la población y esto se puede interpretar como valores de concentración de MP2.5 bajo el límite inferior.

En el caso de las precipitaciones no tienen incidencia en los resultados para estos días, puesto que a pesar de que el año 2020 registró los menores valores de lluvias, estas tienen valores de acuerdo a la tendencia normal y respetan ambos límites del IC.

Con respecto a la calidad del aire para el día 3 de abril hubo condición buena tanto para los años históricos como para el año en estudio, por lo tanto, explicaría su tendencia bajo el límite inferior al tener una calidad de aire óptima. El comportamiento de este día se observada en la siguiente figura:

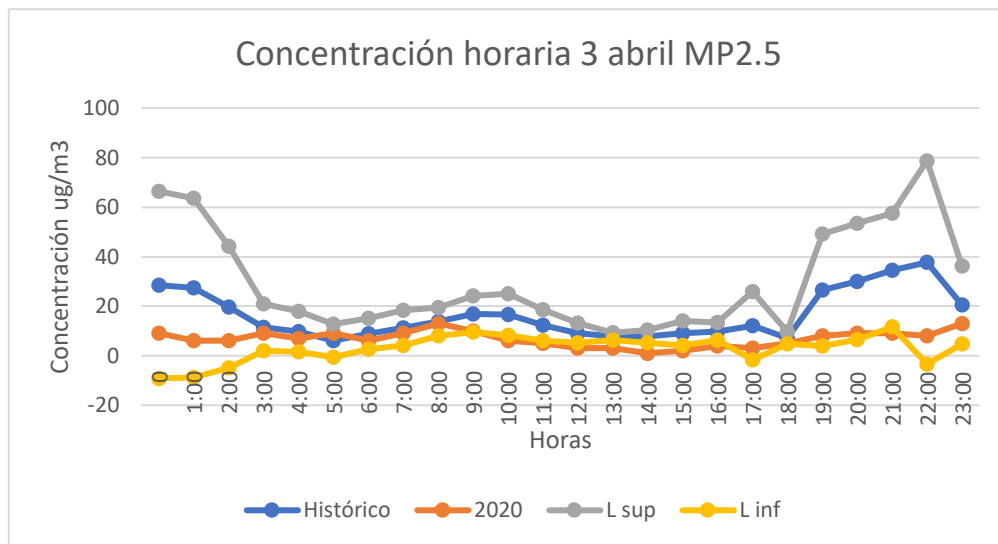


Figura 13: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 3 de abril.

Para el día 18 de abril hubo condición buena para los años 2017, 2019 y 2020, alerta para el 2018 y preemergencia para el 2016, en general la tendencia histórica contiene los dos únicos episodios críticos lo cual se ve reflejado al observar que el año 2020 esté mayormente bajo su curva y mediante el comportamiento general bajo el límite inferior. Esto está representado a continuación:

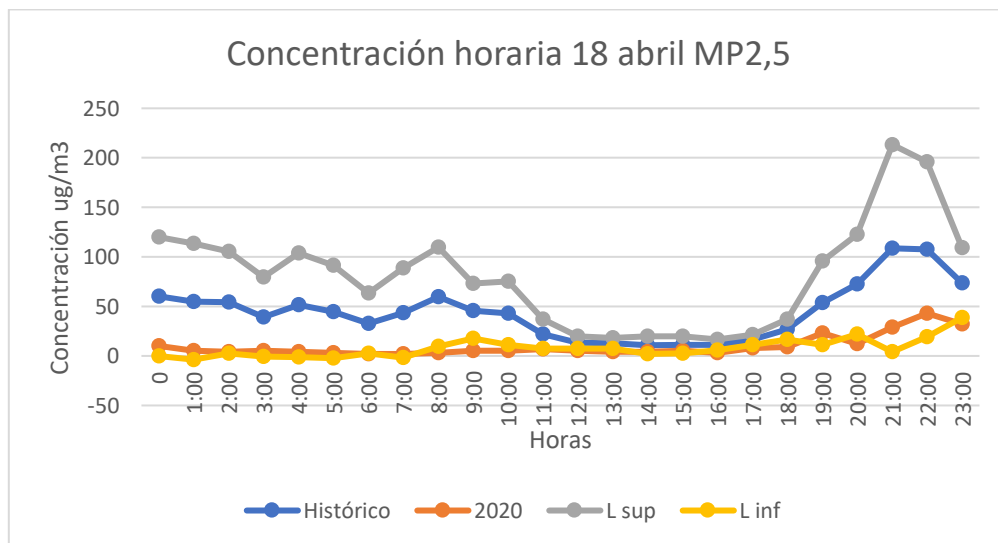


Figura 14: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 18 de abril.

Para el día 27 de abril hubo condición buena para los años 2017 y 2020, regular para el 2019, alerta para el 2018 y preemergencia para el 2016, la tendencia histórica revela una mala calidad del aire lo cual se ve reflejado en que la curva del año 2020 esté bajo la histórica en el horario estudiado. En general, la buena calidad del último año ayudaría a estar incluso bajo el límite inferior. El comportamiento se detalla en el siguiente gráfico:

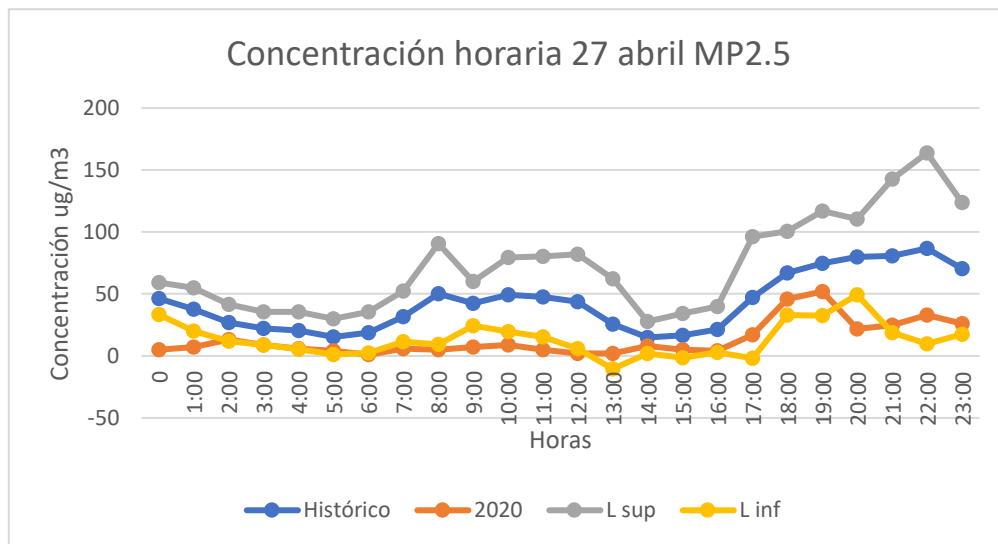


Figura 15: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 27 de abril.

➤ Rango 2 (16:00 a 23:00 hrs)

El comportamiento horario de estos días corresponde a estar bajo el límite inferior desde las 16:00 hrs. Se observa que si bien hay días que están continuamente bajo el límite, hay otros como el 2 y 6 de abril que se vuelven a incorporar dentro del intervalo de confianza.

Los días siguientes tienen en común que la temperatura diaria se encuentra dentro de los límites a excepción de los días 24 y 25 en donde excede el límite superior. Para los dos días mencionados es importante mencionar este parámetro, puesto que con un alza en la temperatura existe menos necesidad de utilizar calefacción, reflejando coincidentemente un comportamiento bajo el límite inferior en estos días.

La precipitación se encuentra dentro del intervalo para los días de este rango horario con excepción del 25 de abril donde supera el límite superior indicando una atmosfera con dispersión de contaminantes, es decir, se esperaría una disminución para el valor de concentración del contaminante.

Para el día 2 de abril hubo condición buena para todos los años, por lo tanto, un comportamiento bajo el límite inferior es previsible para este día. A continuación se detalla la tendencia horaria:

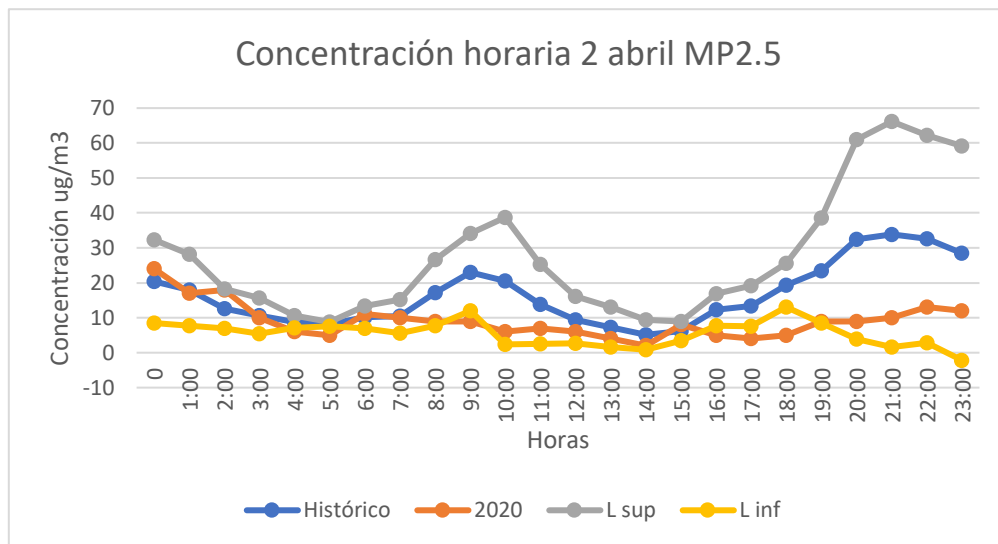


Figura 16: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 2 de abril.

Para el día 4 de abril hubo una buena condición para todos los años excepto para el 2017 donde se registró una condición regular. En general la calidad de aire para este día tanto para el periodo histórico como para el 2020 fue bueno, por lo tanto, es coincidente observar una tendencia menor al límite inferior. A continuación el detalle horario del día:

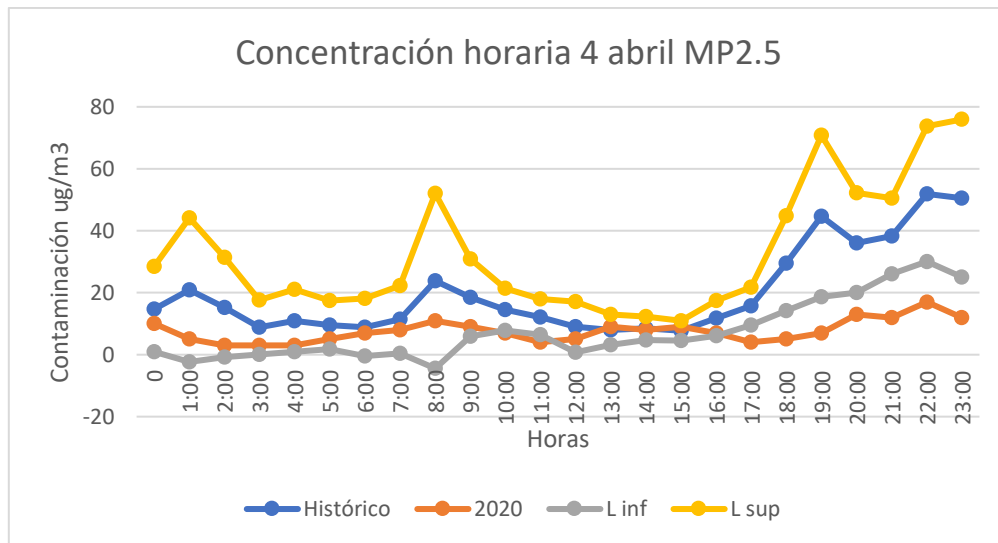


Figura 17: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 4 de abril.

Para el día 6 de abril hubo condición buena para todos los años excepto para el 2017 donde se registró una condición regular. En general la calidad de aire para este día tanto para el periodo histórico como para el 2020 fue bueno, de esta forma se espera una tendencia menor al límite inferior. A continuación el detalle horario del día:

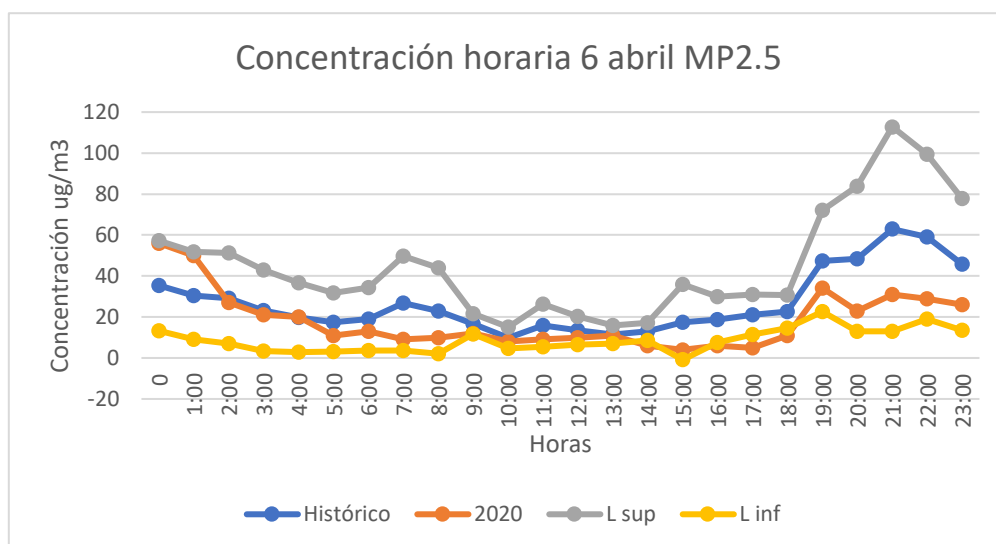


Figura 18: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 6 de abril.

Para el día 24 de abril hubo condición buena para el año 2020, regular para el 2017, alerta para 2016 y 2018 y preemergencia para el 2016 y 2019, es decir, se cuantifican tres episodios críticos en el periodo histórico, mientras que el año en estudio no tuvo problemas de calidad del aire. Considerando lo anterior, se espera que el 2020 esté bajo el límite inferior, puesto que el valor histórico tiende a tener una mayor carga de contaminantes.

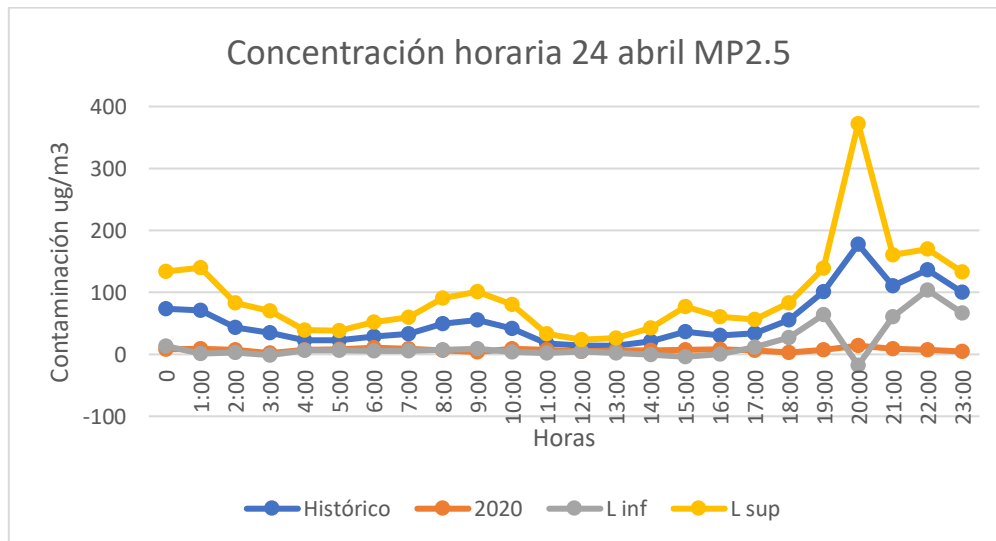


Figura 19: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 24 de abril.

Para el día 25 de abril hubo condición buena para los años 2017 y 2020, alerta para 2018 y 2019 y preemergencia para el 2016, es decir, se contemplan 3 episodios críticos en el periodo histórico, mientras que el año en estudio tuvo una buena calidad de aire. Según este parámetro se ve explicado el comportamiento de disminución en la concentración de MP2.5.

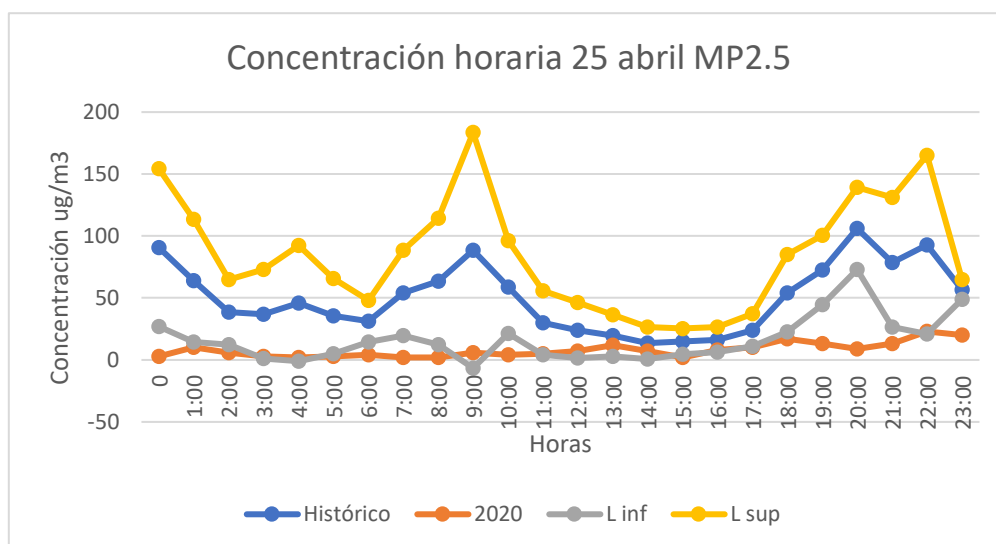


Figura 20: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 25 de abril.

Para el día 26 de abril hubo condición buena para los años 2017 y 2020, regular para el 2018 y 2019 y alerta para el año 2016, es decir, se identifica solo 1 episodio crítico en el periodo histórico, mientras que el año en estudio tuvo una buena calidad de aire. Considerando lo mencionado, la tendencia de este día correspondería a ser menor que el histórico y, por tanto, que el límite inferior.

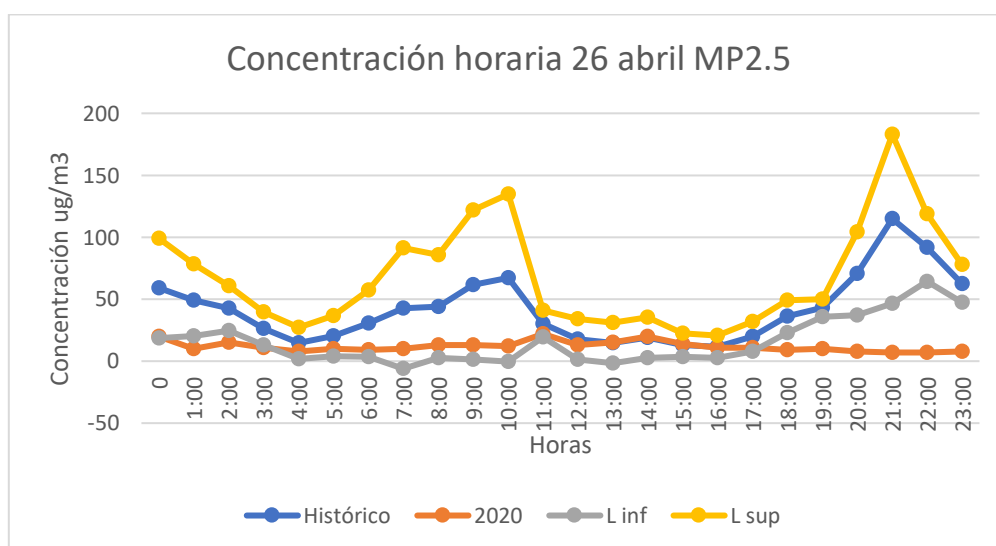


Figura 21: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 26 de abril.

### Estación Las encinas material particulado 10

#### Comparación diaria mensual entre periodo histórico y año de estudio

La Figura 22 detalla los resultados obtenidos para la concentración de MP10 en la estación de monitoreo Las Encinas Temuco. Se aprecia que la tendencia general es que el año 2020 se encuentre al interior del intervalo de confianza (IC) a excepción de dieciséis días del mes donde sufre aumentos o disminuciones significativas con respecto a los límites de este. Además, al realizar una comparación con el

promedio histórico, es posible notar que tiene una tendencia muy parecida al del MP2.5 de esta estación de monitoreo.

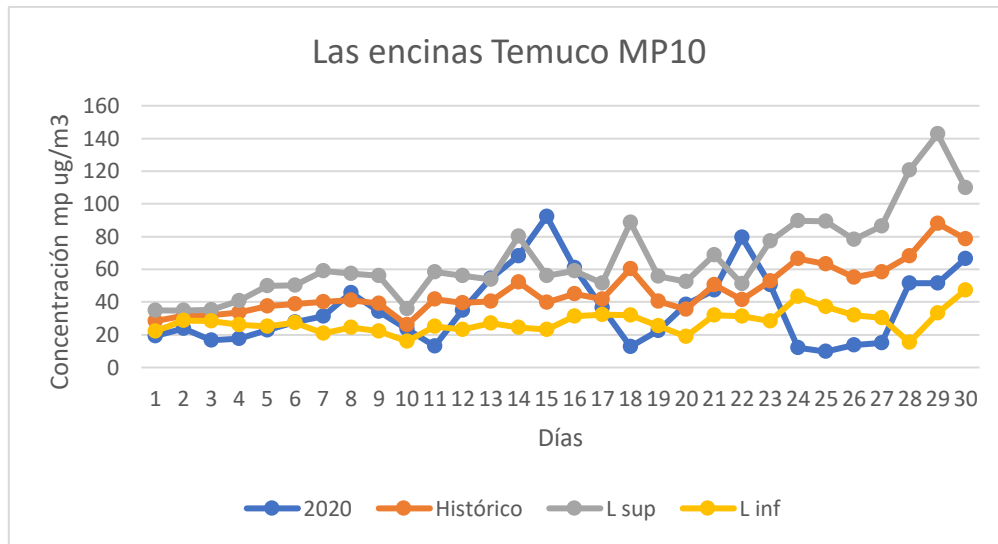


Figura 22: Gráfico de concentraciones diarias de MP10 en la estación Las Encinas Temuco.

Con respecto a la temperatura se puede observar la misma relación entre la Figura 4 y el Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Las Encinas Temuco. Por lo tanto, se determina que como este parámetro se mantiene con la tendencia general no se puede considerar como un factor que implique un alza en la calefacción.

En el caso de las precipitaciones, la Figura 5 muestra que en el mes de abril del año 2020 hubo menor volumen de lluvia con respecto a los años históricos. Lo cual indicaría una mayor acumulación de MP10 y, por lo tanto, explicaría por qué hay días que superan el límite superior.

En cuanto a los episodios críticos, específicamente para MP10 no tienen una gran relevancia, puesto que en el mes de abril de los años 2016 a 2020 hubo solamente dos episodios críticos en los años 2016 y 2018 como se detalla en la Figura 23.

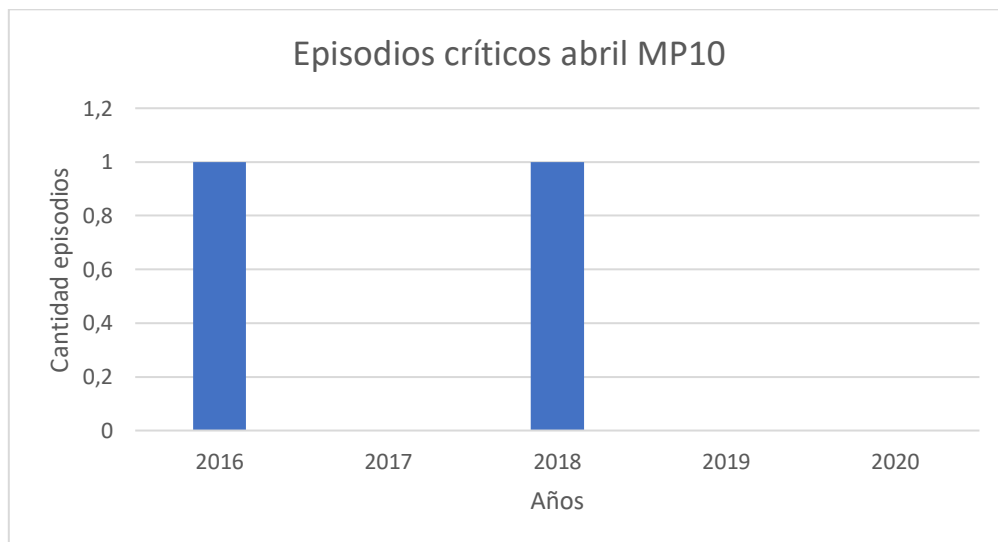


Figura 23: Episodios críticos en el mes de abril para los años 2016-2020 por mp10.

### Días fuera de los límites

Mediante la Figura 22 se identifican todos los días encontrados fuera del intervalo de confianza, siendo para este caso un total de dieciséis días donde cuatro superan el límite superior y doce están bajo el límite inferior.

- Sobre límite superior del IC

La tendencia para todos los días es estar sobre los valores históricos y límite superior en una gran cantidad de horas, excepto para el día 13 donde se identifica un rango horario que se encuentra bajo el límite inferior desde las 12:00 a las 16:00 hrs, pero luego vuelve al comportamiento general.

La temperatura para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza, excepto por el día 13 en donde hay una disminución en la temperatura lo cual se relaciona a un alza en el uso de calefacción a leña. Con los demás días no se puede explicar el comportamiento en el gráfico mensual, puesto que se identifica una tendencia notablemente ascendente, pero sin exceder el límite superior.

Para estos días las precipitaciones compartieron una tendencia normal al año, es decir, escasas, pero sin salir de los límites del intervalo. Considerando lo anterior se puede determinar que la falta de precipitación durante abril del 2020 puede corresponder a una mayor acumulación de MP10.

La calidad de aire para todos estos días tanto para el periodo histórico como el año de estudio fue buena, lo cual indica que no es un parámetro que explique el comportamiento fuera del límite superior para estos días. Con la condición de la calidad del aire se esperaría valores más bien bajos para tener una lógica entre los resultados.

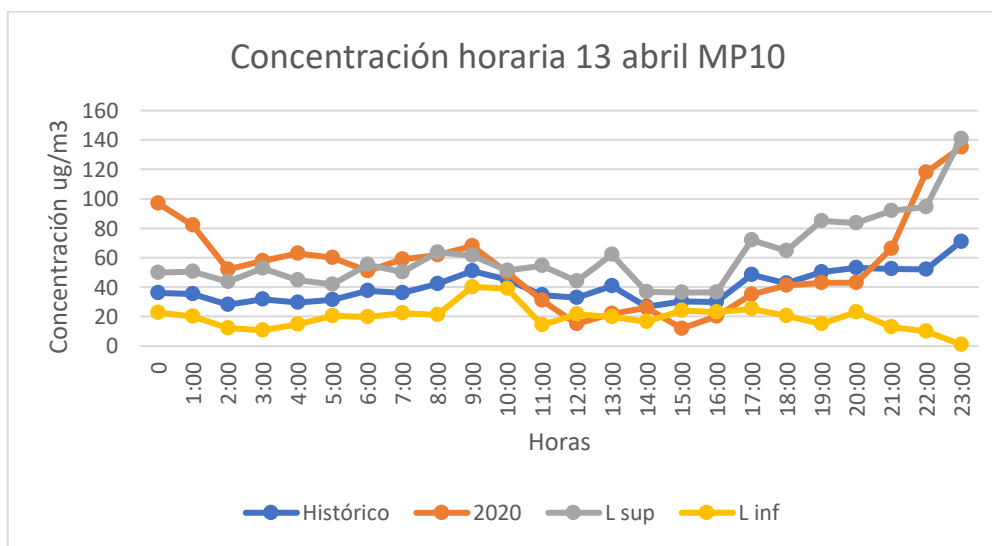


Figura 24: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 13 de abril.

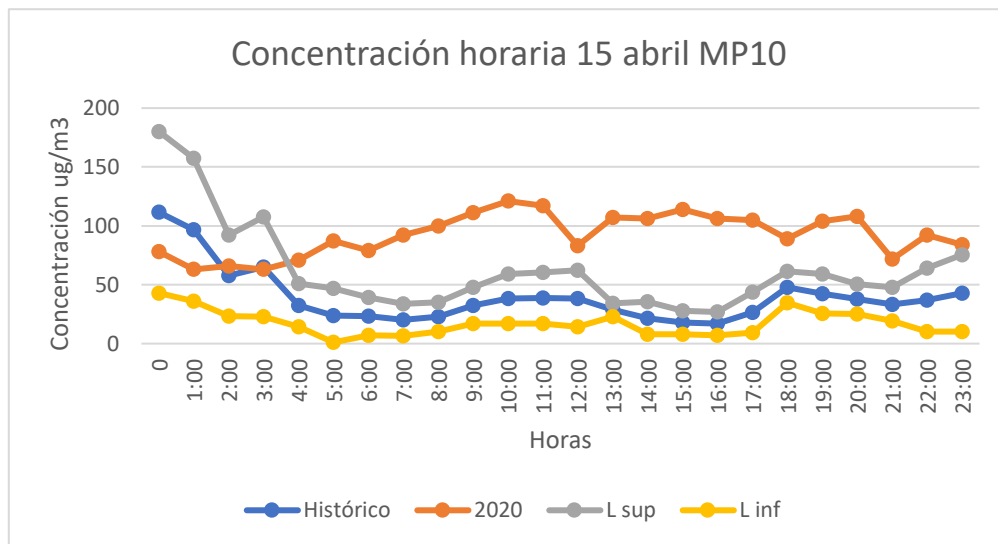


Figura 25: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 15 de abril.

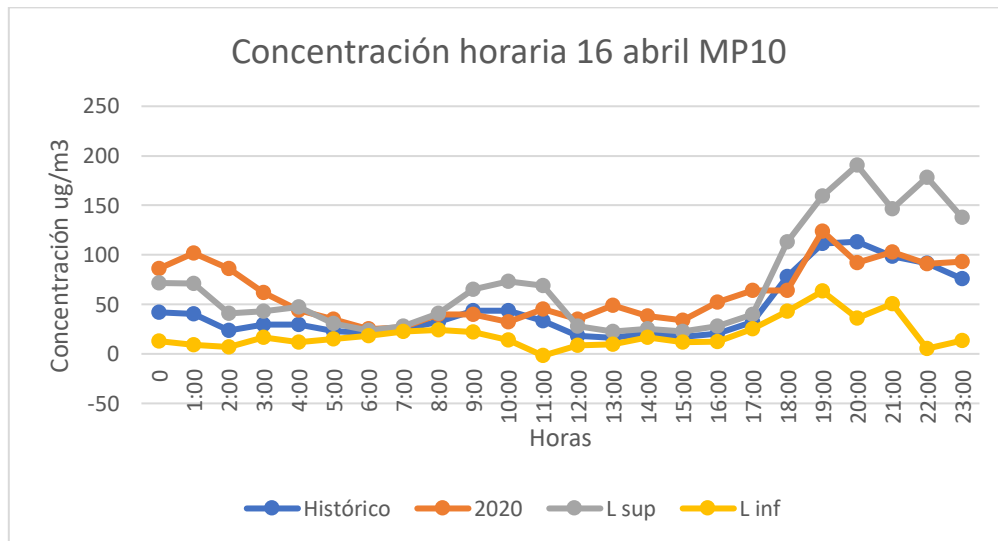


Figura 26: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 16 de abril.

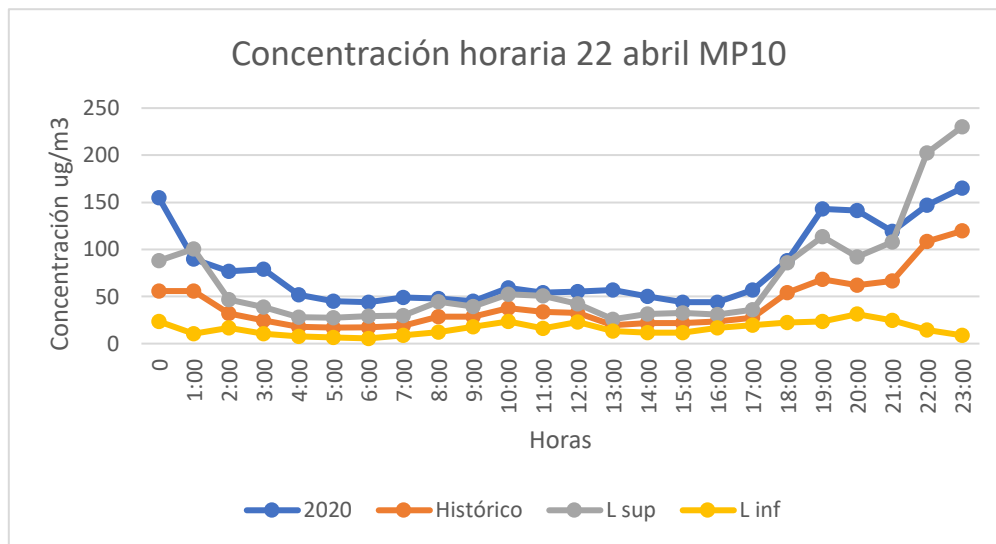


Figura 27: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 22 de abril.

- Bajo límite inferior del IC

Como los días bajo el límite son de una mayor cantidad se analizarán siendo agrupados según las horas en donde las concentraciones estén bajo su respectivo límite inferior. La agrupación anterior se realiza con el fin que estos días comparten características similares según los parámetros a analizar.

- Rango 1 (8:00 a 15:00 hrs)

El comportamiento horario de este día corresponde a estar bajo el límite inferior continuamente desde las 8:00 hasta las 20:00 hrs. En otras horas llega a un valor superior del límite por una diferencia muy pequeña.

La temperatura media de este día tiene el mayor valor del mes, lo cual le otorga lógica al bajo valor de concentración de MP10, puesto que con una mayor temperatura no habría necesidad por parte de la población de utilizar calefacción en el hogar.

En cuanto a la precipitación, este día se mantuvo en el comportamiento normal sin salir de ningún límite. Teniendo en cuenta que igualmente es un valor bajo de precipitación, al no tener un valor extremo máximo o mínimo no otorga información relevante para explicar su comportamiento.

En cuanto a la calidad del aire, tanto en el periodo histórico como el año en estudio hubo una condición buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante.

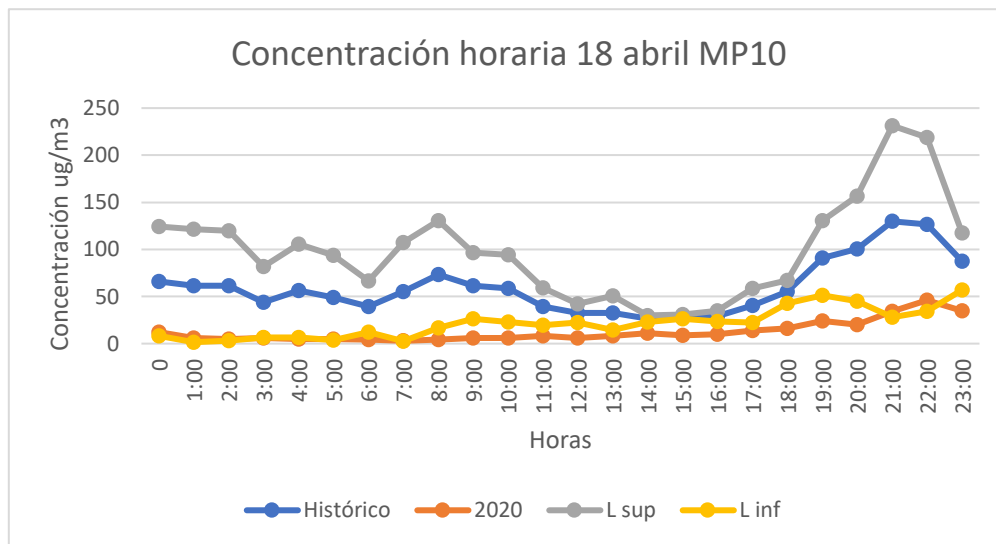


Figura 28: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 18 de abril.

➤ Rango 2 (16:00 a 23:00 hrs)

La tendencia para todos los días es estar bajo los valores históricos y límite inferior en una gran cantidad de horas, en especial en el rango horario seleccionado. En algunos días hay puntos donde se sobre pasa la curva histórica como el 1 o 3 de abril, no obstante, son comportamientos particulares.

La temperatura para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza, pero con respecto al comportamiento histórico los días 3, 11 y 26 de abril se encuentran sobre el valor histórico. Lo anterior se puede ver reflejado en la tendencia de estos días al estar bajo el límite inferior. En cuanto al día 1 se tiene una temperatura menor a la histórica muy cercana al límite inferior, por lo tanto, es incoherente buscar una relación entre este parámetro y su comportamiento.

Para estos días las precipitaciones compartieron una tendencia normal, es decir, escasas, pero sin salir de los límites del intervalo. Considerando lo anterior, al igual que la temperatura, este factor no explicaría una disminución en el valor de concentraciones de mp10.

La condición de la calidad de aire para todos estos días tanto para el periodo histórico como para el año de estudio fue buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante en todos los gráficos horarios diarios.

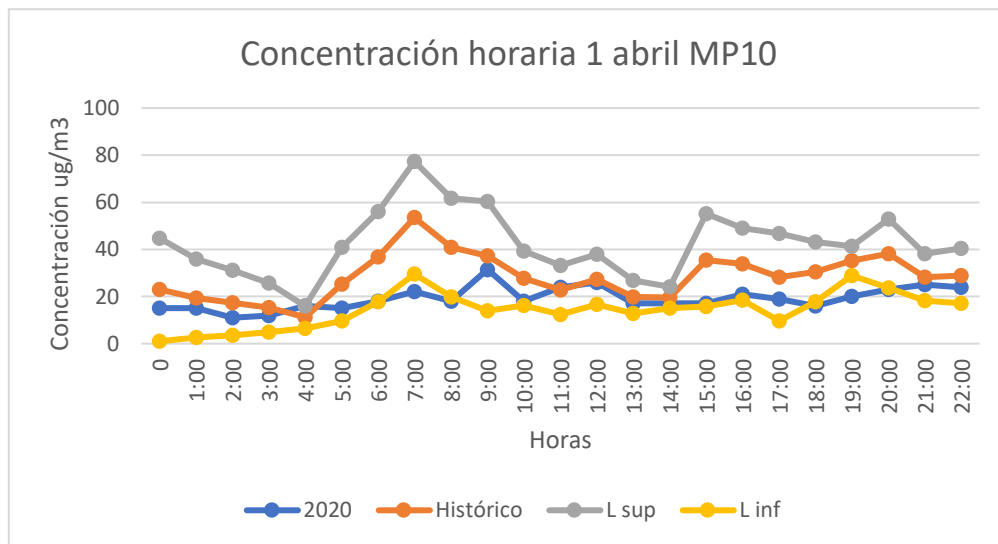


Figura 29: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 1 de abril.

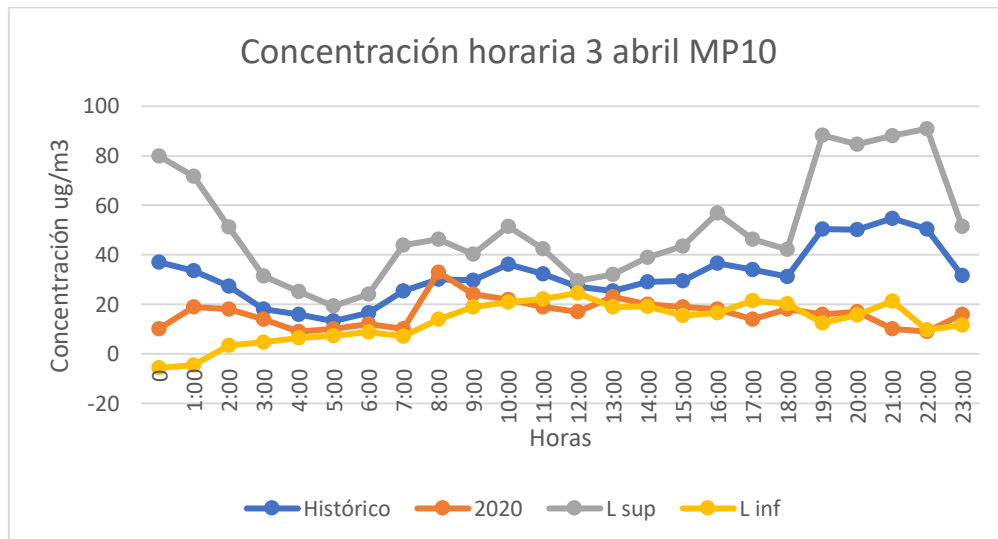


Figura 30: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 3 de abril.

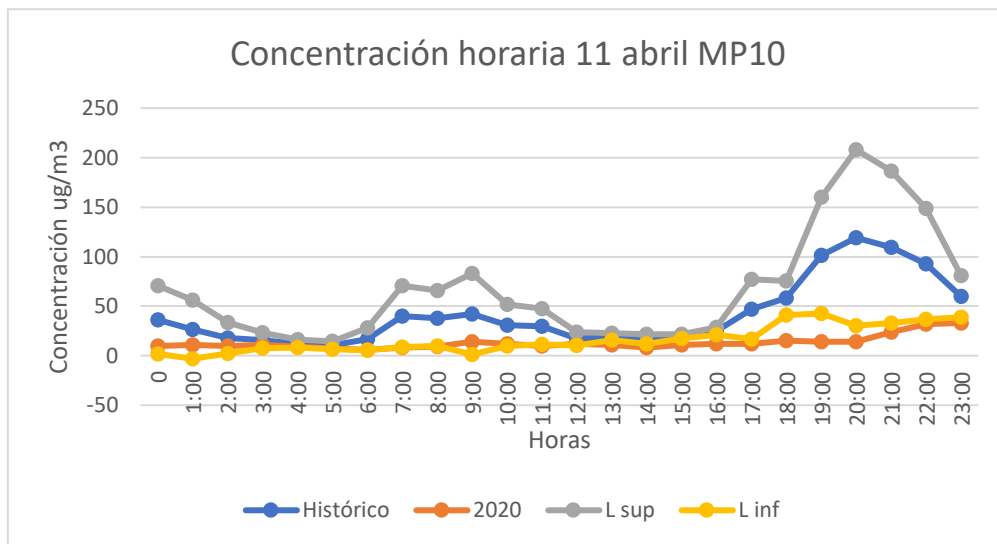


Figura 31: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 11 de abril.

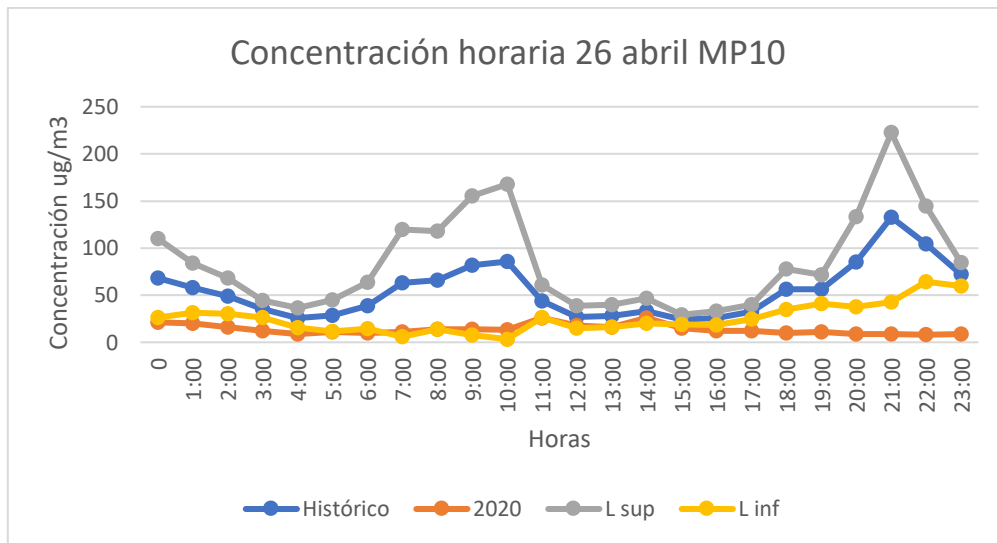


Figura 32: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 26 de abril.

➤ Rango 3 (00:00 a 7:00 hrs)

La tendencia para todos los días es estar bajo los valores históricos y límite inferior en una gran cantidad de horas, en especial en el rango horario seleccionado. En algunos días hay puntos donde se sobre pasa la curva histórica como el 1 o 3 de abril, no obstante, son puntos particulares.

La temperatura para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza a excepción de los días 24, 25 y 27 en donde la temperatura media supera el intervalo de confianza indicando un alza que se ve reflejado en una disminución del uso de calefacción en el hogar y, por lo tanto, una disminución en la concentración de MP10. Por otro lado, los días 2, 4 y 19 tienen valores ascendentes mayores a los

históricos y muy cercanos al límite superior, lo cual se interpreta de la misma manera para los días mencionados. En cuanto al día 5 de abril es el único con comportamiento diferente, puesto que tiene una tendencia descendiente y su valor disminuye hasta estar cercano al límite inferior, lo cual significaría bajas temperaturas para ese día y perdería lógica el relacionarlo con valores bajos de concentración de contaminantes.

Para estos días las precipitaciones estuvieron dentro del intervalo de confianza a excepción de dos días, el 5 y 25 de abril. Para el valor de precipitación del 5 de abril este es menor al límite inferior indicando una mayor concentración de contaminantes en la atmósfera, es decir, se presenta una incongruencia al tener este día como un valor bajo el límite. Por otro lado, en el día 25 de abril se supera el límite superior indicando una atmósfera más limpia indicando una relación lógica entre un valor bajo de concentración de MP10.

La condición de la calidad de aire para todos estos días tanto en el periodo histórico como para el año de estudio fue buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante en todos los gráficos horarios diarios. Este parámetro explicaría el comportamiento del día 25 de abril y disminuiría las incongruencias que hubo con los demás factores.

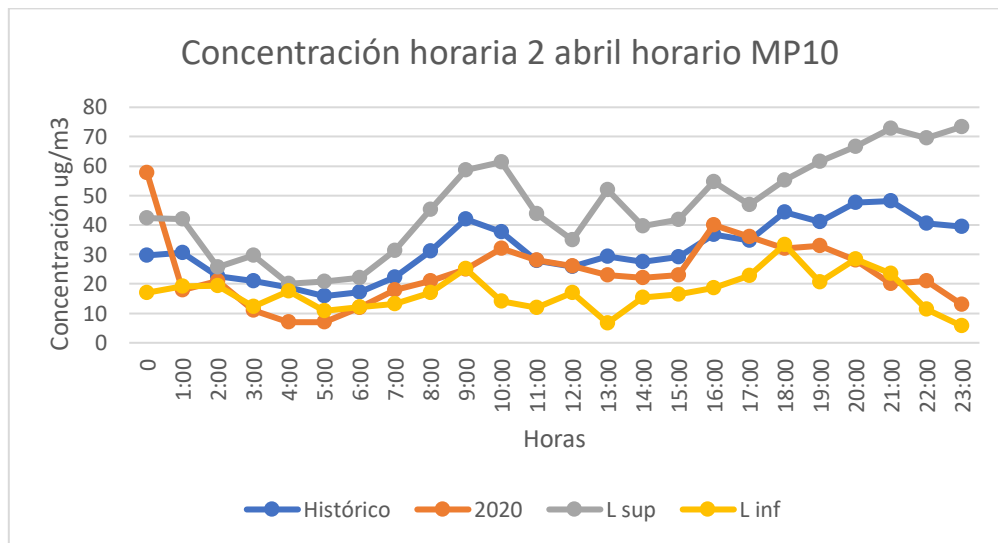


Figura 33: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 2 de abril.

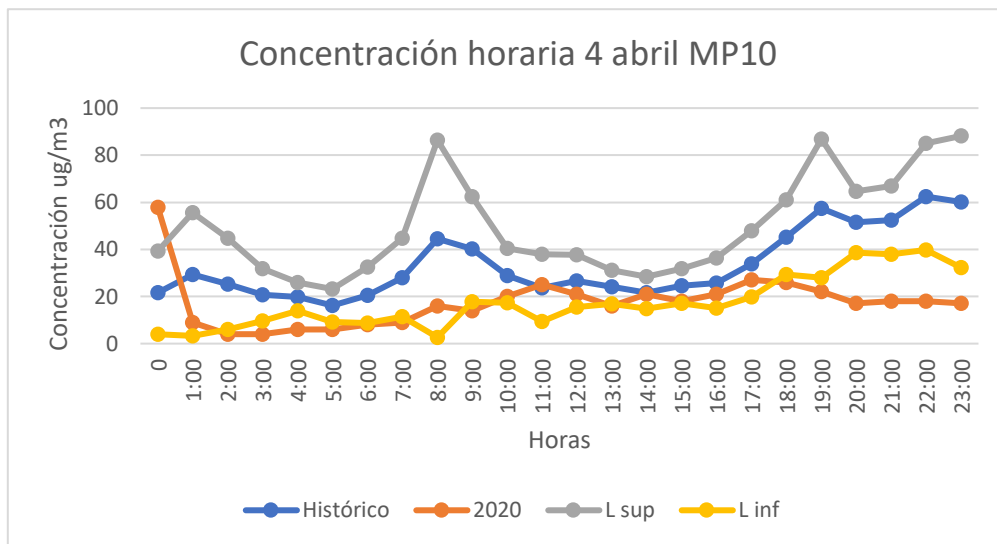


Figura 34: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 4 de abril.

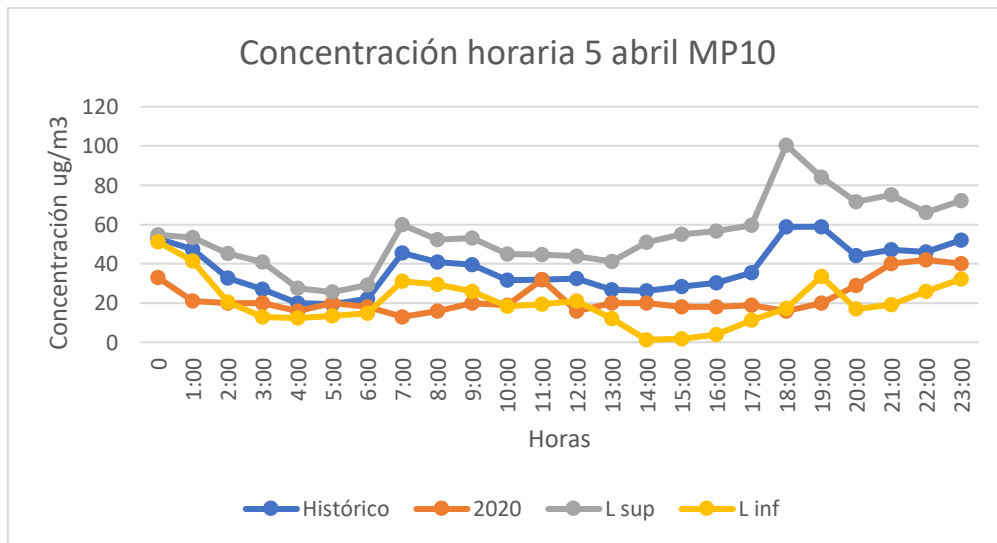


Figura 35: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 5 de abril.

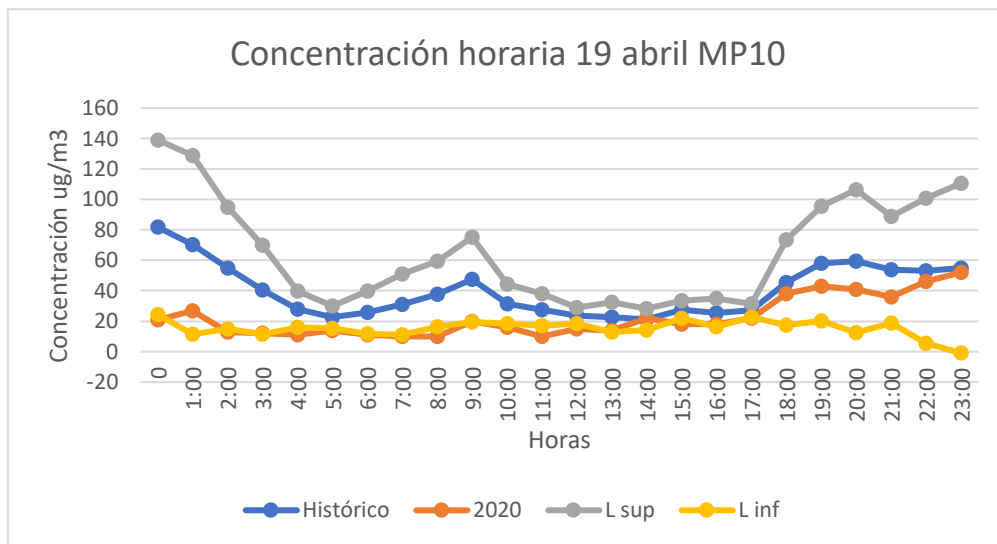


Figura 36: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 19 de abril.

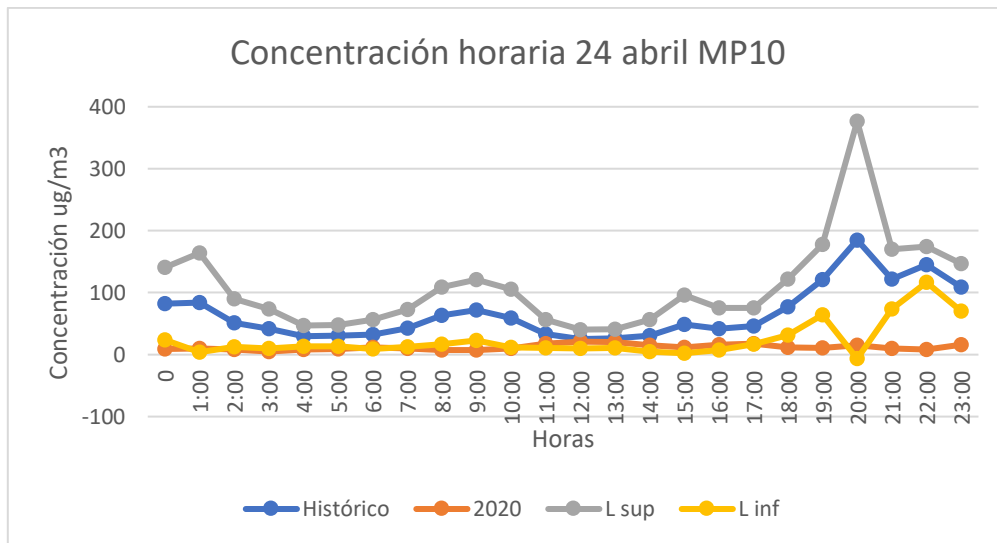


Figura 37: Gráfico de concentraciones horarias de MP 10 para el día 24 de abril.

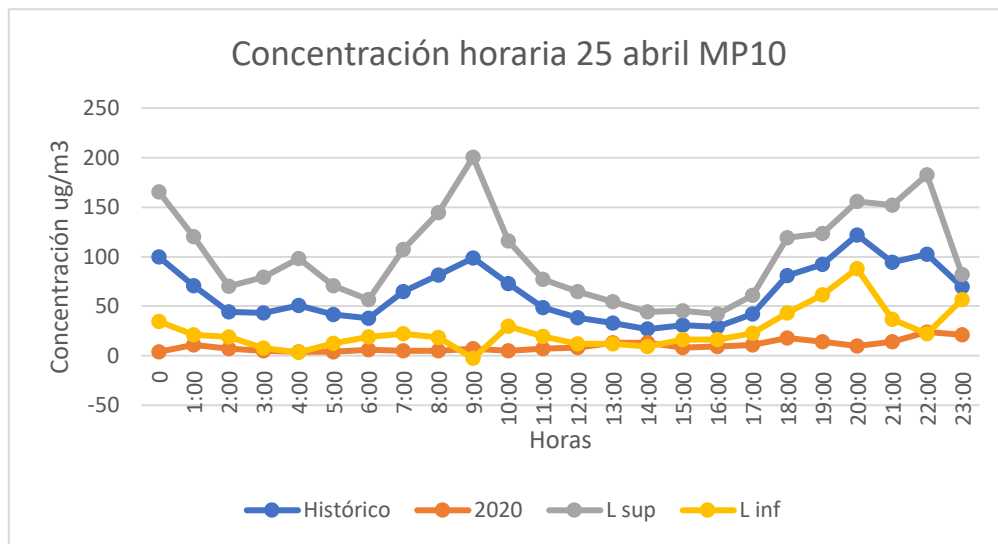


Figura 38: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 25 de abril.

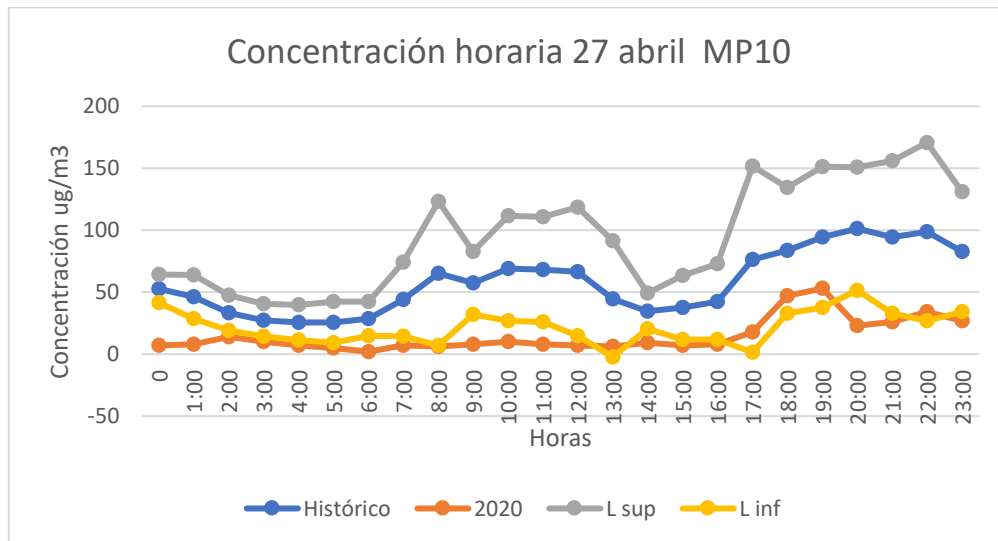


Figura 39: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 27 de abril.

### Estación Padre Las Casas material particulado 2.5

#### Comparación diaria entre periodo histórico y año de estudio

La Figura 40 detalla los resultados obtenidos para la concentración de MP2.5 en la estación de monitoreo Padre Las Casas. Se aprecia que la tendencia general es que el año 2020 se encuentre al interior del intervalo de confianza (IC) a excepción de trece días del mes donde sufre aumentos o disminuciones significativas con respecto a los límites de este. Además, al realizar una comparación con el promedio histórico, es posible notar que comienza el mes con menores concentraciones de MP2.5 hasta el día 12 donde comienza un aumento hasta el día 16, luego en el día 19 se repite el mismo comportamiento mencionado.

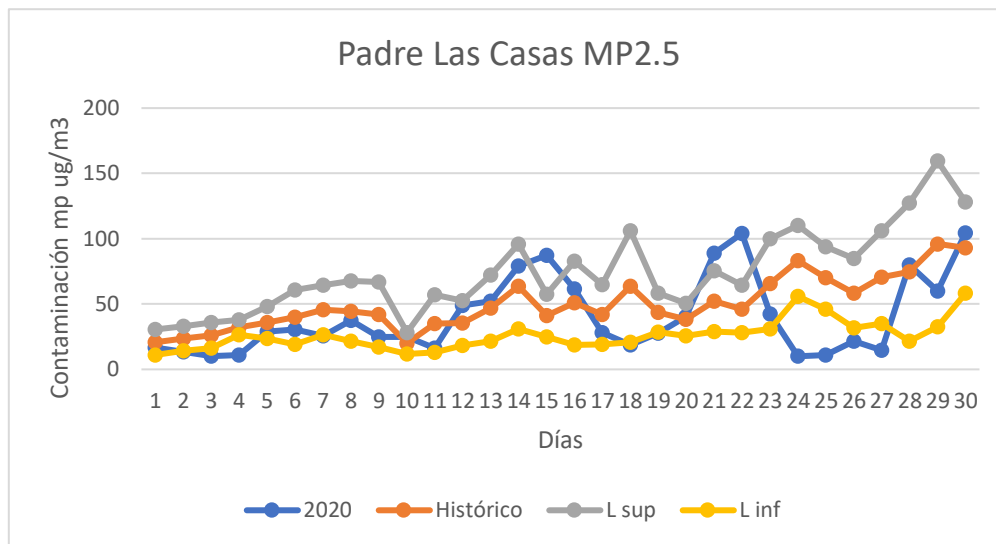


Figura 40: Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Padre Las Casas.

Con respecto a la temperatura se puede observar la misma relación entre la Figura 4 y los gráficos para material particulado de la Estación Las Encinas Temuco. Por lo tanto, se vuelve a considerar que la temperatura media del mes no tiene implicancia en un alza en la calefacción por no tener un valor mínimo notable.

En el caso de las precipitaciones, se determina la misma comparativa que para los gráficos de material particulado de la Estación Las Encinas Temuco, es decir, que habría una mayor acumulación de material particulado y, por lo tanto, explicaría por qué hay días que superan el límite superior.

La comparación según los episodios críticos es igual que en el caso de MP2.5 de la estación Las Encinas Temuco, es decir, al tener una cantidad de episodios correspondientes al 30% del total la calidad del aire se considera relativamente buena, por lo tanto, los datos bajo el intervalo de confianza se verían respaldados por esta condición.

#### Días fuera de los límites

Mediante la Figura 40 se identifican todos los días encontrados fuera del intervalo de confianza, siendo para este caso un total de trece días donde tres superan el límite superior y diez están bajo el límite inferior.

- Sobre límite superior del IC

En los próximos tres gráficos la tendencia en general es que el año 2020 supera una gran cantidad de horas el límite superior del intervalo de confianza. El día 21 de abril es el único que posee una hora que se encuentra bajo el límite superior a las 11 am y una mayor cantidad de valores dentro del intervalo que sobre este.

Con respecto a la temperatura, todos los días se encuentran dentro del intervalo de confianza, pero los días 15 y 22 de abril tienen una tendencia ascendente, mientras que el 21 tiene un valor muy cercano al límite inferior. Como sus valores se encuentran dentro del IC no se puede explicar el comportamiento diario a través de este parámetro, sin embargo, según la tendencia se puede analizar que el 21 de abril es

el único día que tiene una relación lógica por tener un valor cercano al límite inferior, lo cual influiría en un mayor uso de calefacción.

La precipitación para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza, es decir, escasas al ser comparadas con el periodo histórico, pero sin salir de los límites del intervalo. Lo anterior podría indicar influencia en tener una atmósfera acumulada de contaminantes y, por lo tanto, valores sobre el IC.

Para el día 15 de abril hubo condición buena para el año 2016, regular para el 2017 y alerta para el 2018, 2019 y 2020, es decir, en los últimos tres años se registran los episodios críticos. Lo anterior indica que la calidad del aire para el año en estudio tendrá una peor condición que la histórica y se puede interpretar con valores sobre el límite superior. El detalle del día según horario se encuentra a continuación:

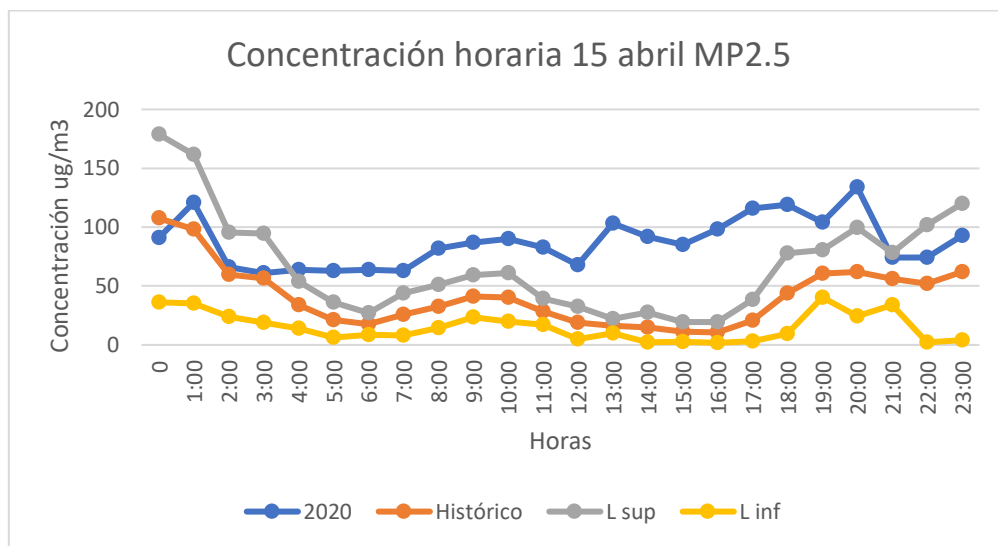


Figura 41: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 15 de abril.

Para el día 21 de abril hubo condición buena para el año 2017 y 2018, regular para el 2019 y alerta para el 2016 y 2020. En el caso del día 22 de abril hubo condición buena para el año 2019, regular para el 2017 y 2018, y alerta para el 2016 y 2020. En ambos casos se determinan dos episodios críticos donde uno de ellos corresponde al año en estudio. Esta información indica que el año 2020 tendrá una peor condición que la histórica y se puede interpretar con valores sobre el límite superior. El detalle de los días según horario se encuentra a continuación:

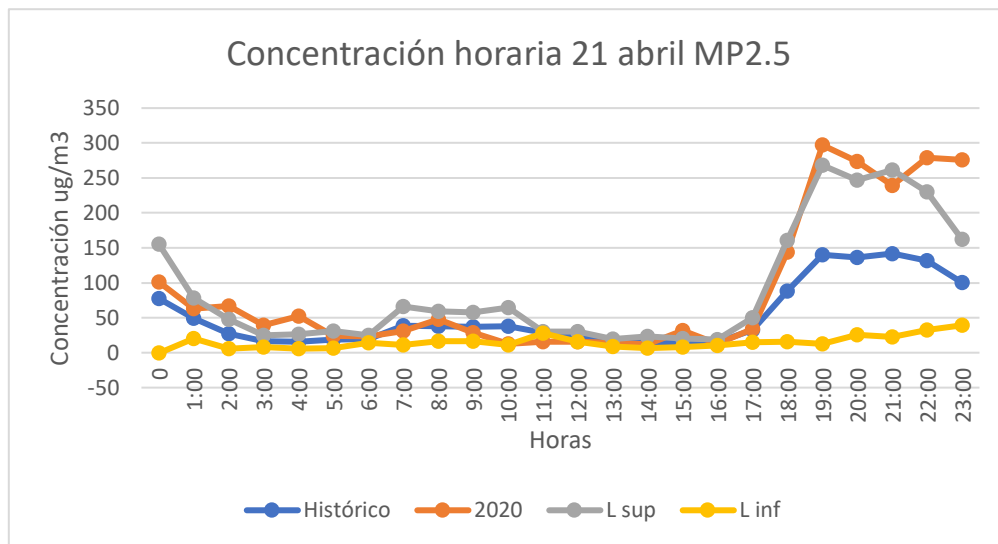


Figura 42: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 21 de abril.

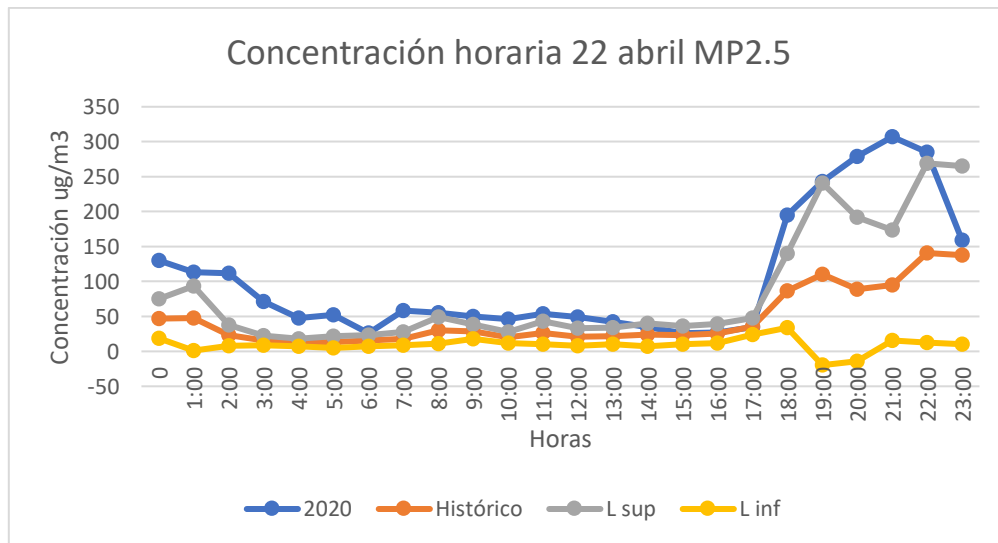


Figura 43: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 22 de abril.

- Bajo límite inferior del IC

La cantidad de días bajo el límite inferior son de una mayor cantidad, por lo tanto, se analizarán agrupándolos según las horas en donde las concentraciones horarias de los días estén gran parte bajo su respectivo límite inferior. La agrupación anterior se realiza con el fin que estos días comparten características similares según los parámetros a analizar.

➤ Rango 1 (8:00 a 15:00 hrs)

El comportamiento de estos días corresponde a estar bajo el límite inferior durante el rango seleccionado. Se observa que desde las 20:00 hrs aproximadamente la tendencia se vuelve a incorporar dentro del intervalo de confianza.

Durante estos días la temperatura media se mantiene al interior del intervalo, excepto para el día 18 de abril donde supera el límite superior detallado en la Figura 7. El día 2 de abril si bien se mantiene dentro del intervalo tiene un comportamiento claro ascendente sobre los valores históricos. Es importante destacar que los días 3 y 19 comparten una tendencia descendente, lo cual se puede interpretar como una baja de la temperatura media y por lo tanto un aumento en el uso de calefacción. Para los días 2 y 18 este factor explica lógicamente su comportamiento diario de concentración de MP2.5 al tener mayor temperatura, mientras que para los días 3 y 19 se pierde consistencia al estar bajo el límite inferior.

En el caso de las precipitaciones no tienen incidencia en los resultados para estos días, puesto que a pesar de que el año 2020 registró los menores valores de lluvias, estas tienen valores de acuerdo con la tendencia normal y respetan ambos límites del IC.

Con respecto a la calidad del aire para los días 2 y 3 de abril hubo condición buena tanto para los años históricos como para el año en estudio, por lo tanto, explicaría su tendencia bajo el límite inferior al tener una calidad de aire óptima. El comportamiento de estos días se observa en las siguientes figuras:

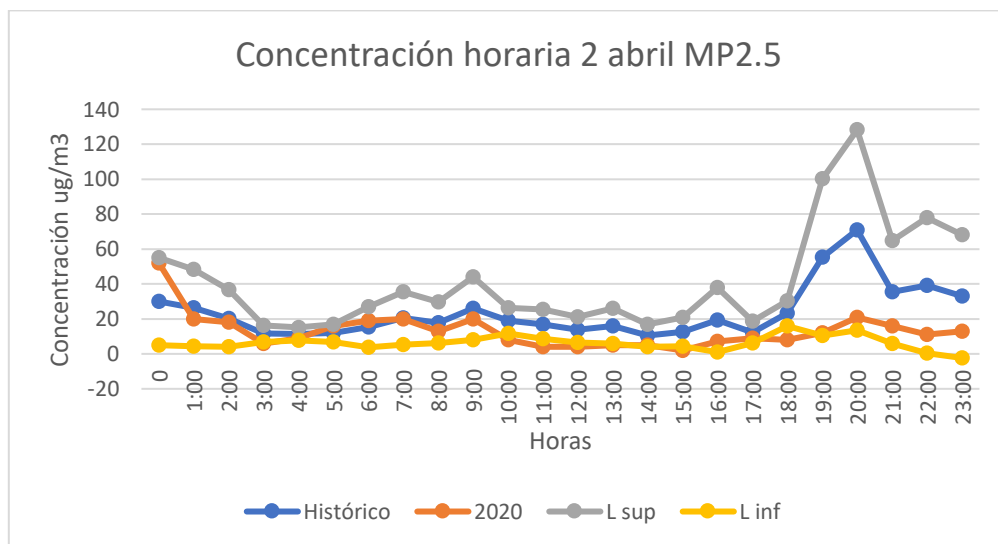


Figura 44: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 2 de abril.

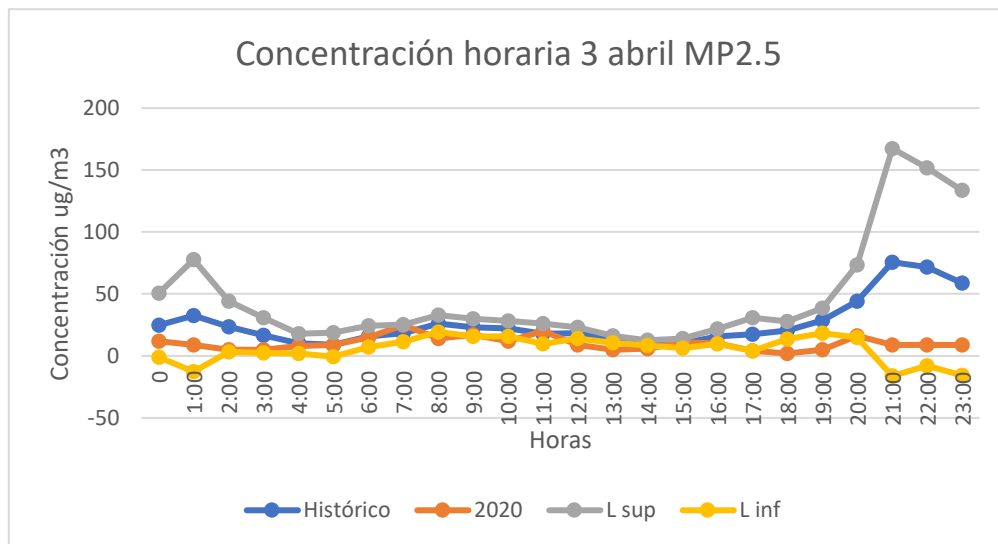


Figura 45: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 3 de abril.

Con respecto a la calidad del aire para los días 18 y 19 de abril hubo condición buena para los años 2017, 2019 y 2020, alerta para el 2018 y preemergencia para el 2016. Se identifica que hubo dos episodios críticos en el periodo histórico y buena condición para el año en estudio, por lo tanto, la calidad del aire daría consistencia a los bajos valores de concentración de contaminantes del año 2020 con respecto a la tendencia histórica. El comportamiento de estos días se observa en las siguientes figuras:

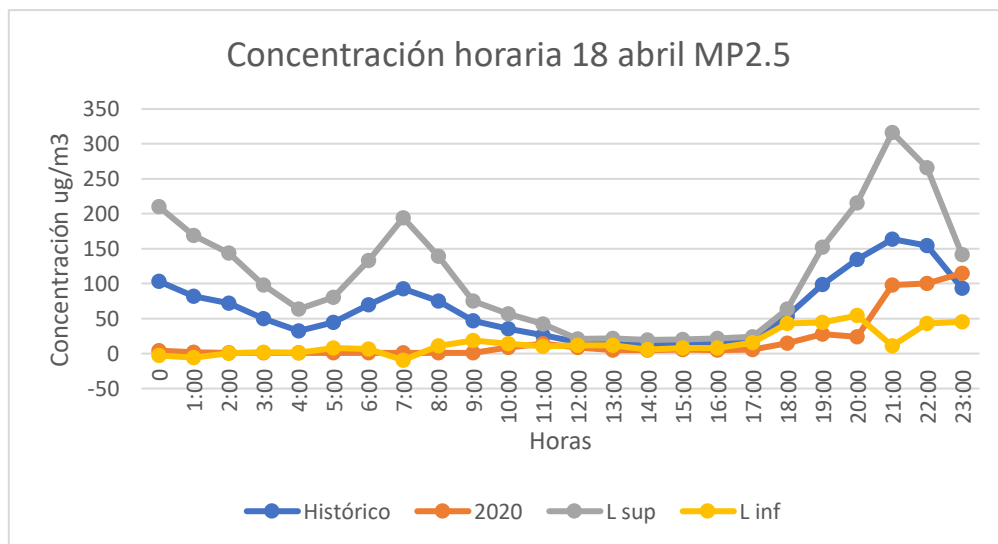


Figura 46: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 18 de abril.

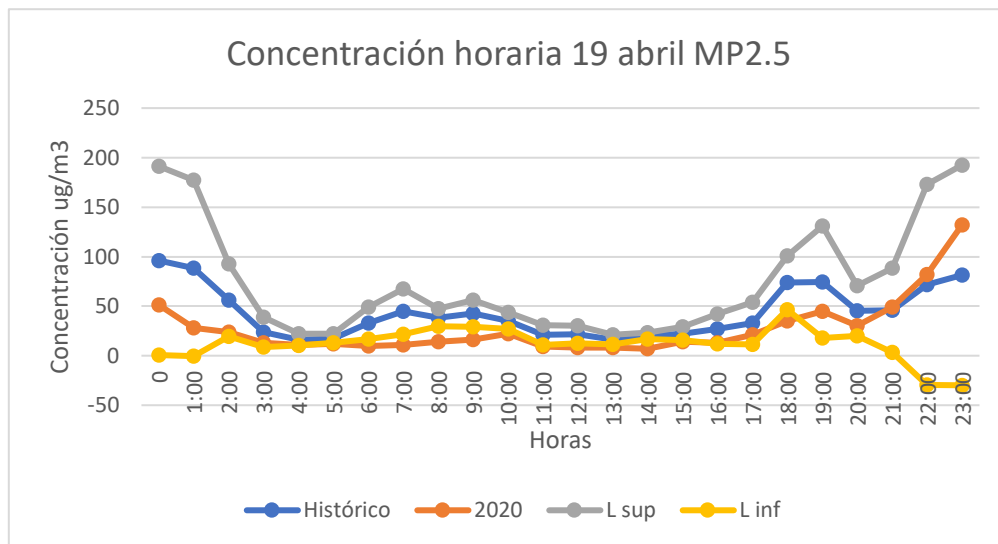


Figura 47: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 19 de abril.

➤ Rango 2 (16:00 a 23:00 hrs)

El comportamiento de estos días corresponde a estar bajo el límite inferior durante el rango seleccionado. Se observa que desde las 7:00 a las 10:00 hrs aproximadamente la tendencia se encuentra al interior del intervalo de confianza para luego descender hasta pasar el límite inferior.

Durante estos días la temperatura media se mantiene al interior del intervalo, excepto para el día 24 de abril donde sobrepasa el límite superior detallado en la Figura 7. El día 4 de abril si bien se mantiene dentro del intervalo tiene un comportamiento claro ascendente sobre los valores históricos. Es importante destacar que el día 26 tiene una tendencia descendente, lo cual se puede interpretar como una baja de la temperatura y por lo tanto un aumento en el uso de calefacción. Con respecto al día 7 tiene una leve ascendencia, pero se encuentra bajo los valores históricos, es decir igualmente se interpreta como un día con bajas temperaturas. Para los días 24 y 4 de abril este factor explica lógicamente su comportamiento diario de concentración de mp, mientras que para los días 7 y 26 pierde consistencia.

En el caso de las precipitaciones no tienen incidencia en los resultados para estos días, puesto que a pesar de que el año 2020 registró los menores valores de lluvias, estas tienen valores de acuerdo con la tendencia normal y respetan ambos límites del IC.

Con respecto a la calidad del aire para los días 4 y 7 de abril hubo condición buena para la mayoría de los años, solo se registró con condición regular los años por lo tanto 2017 y 2018 para los días 4 y 7, respectivamente. Al tener una mejor calidad durante el año 2020 es esperable su tendencia bajo el límite inferior. El comportamiento de estos días se observa en las siguientes figuras:

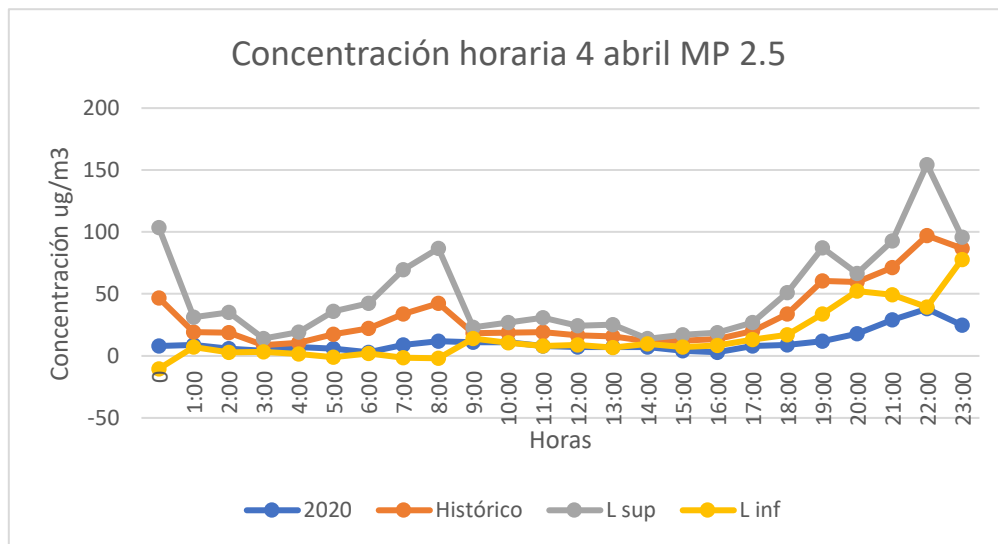


Figura 48: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 4 de abril.

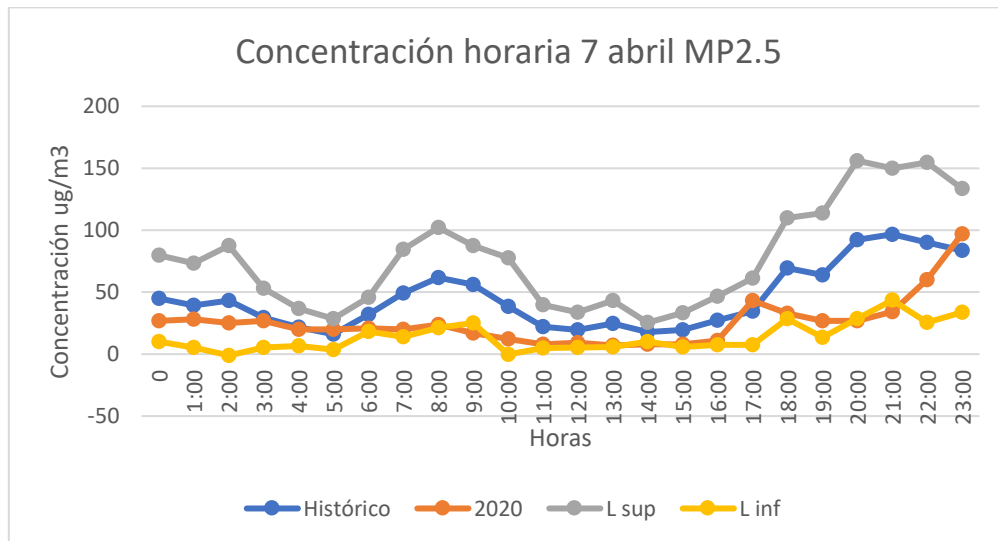


Figura 49: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 7 de abril.

Para el día 24 de abril se registró una condición buena para el año 2020, regular para 2017, alerta para 2016, 2018 y preemergencia para el 2019. La calidad del aire para el año en estudio fue buena en comparación con el periodo histórico, por lo tanto, son consistentes sus valores bajos de concentración de mp. El comportamiento de este día se observa en la siguiente figura:

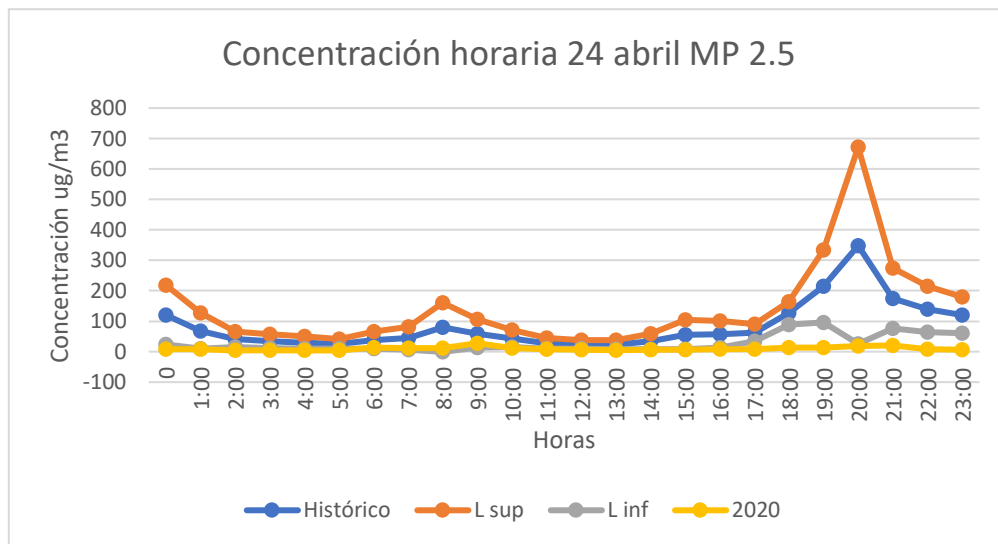


Figura 50: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 24 de abril.

Para el día 26 de abril se registró una condición buena para los años 2017 y 2020, regular para 2018 y 2019 y alerta para el 2016. La calidad del aire para el año en estudio fue buena en comparación con el periodo histórico, por lo tanto, son consistentes sus valores bajos de concentración de MP2.5. El comportamiento de este día se observa en la siguiente figura:

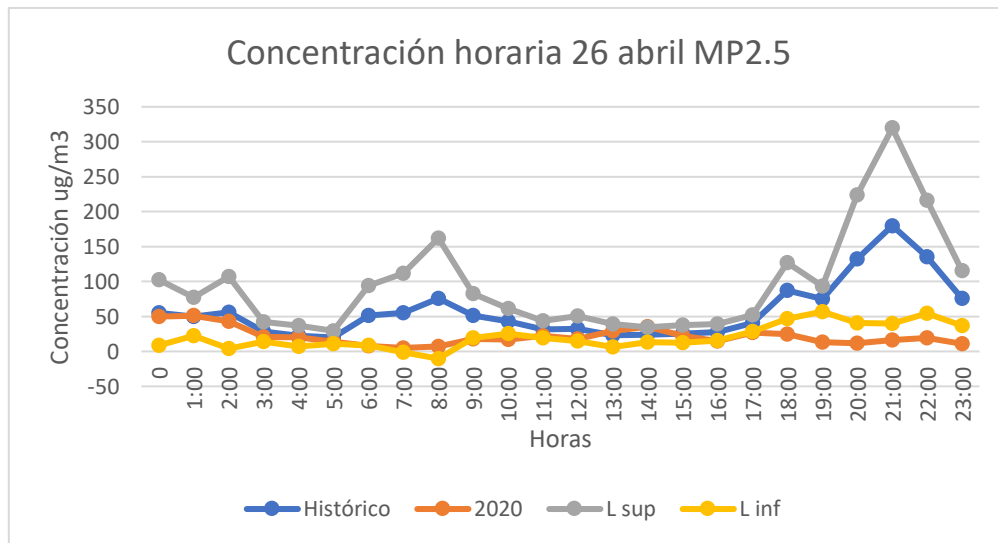


Figura 51: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 26 de abril.

➤ Rango 3 (00:00 a 7:00 hrs)

El comportamiento de estos días corresponde a estar bajo el límite inferior durante el rango seleccionado. Se observa que desde el día 27 de abril vuelve al IC entre las 17:00 y 23:00 hrs.

Para estos días el comportamiento de la temperatura media es igual, tiene valores fuera del límite superior que se interpretan como altas temperaturas lo cual conlleva una disminución en el uso de calefacción en la población y explica de esta forma la disminución en los niveles de MP2.5.

En el caso de las precipitaciones para el día 27 no tienen incidencia en los resultados, puesto que a pesar de que el año 2020 registró los menores valores de lluvias, este tiene un valor de acuerdo con la tendencia normal y respetando los límites del IC. En el caso del día 25 de abril, hubo un auge en el valor de la precipitación pues sobrepasa el límite superior, lo cual fundamenta los bajos valores de concentración de MP2.5 durante este día.

Con respecto a la calidad del aire para estos días comparten la misma condición para la mayoría de los años, buena para el 2017 y 2020, alerta para 2018 y preemergencia para el 2016. El año 2019 se tiene condición de alerta para el día 25 y regular para el día 27. En general al tener una mejor calidad durante el año 2020 es esperable su tendencia bajo el límite inferior. El comportamiento de estos días se observa en las siguientes figuras:

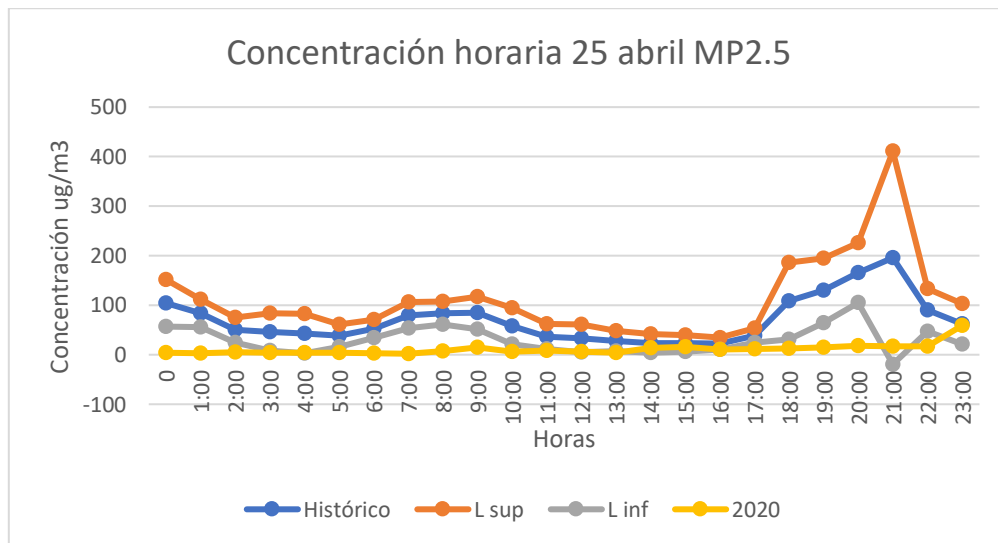


Figura 52: Gráfico de concentraciones horarias de MP2.5 para el día 25 de abril.

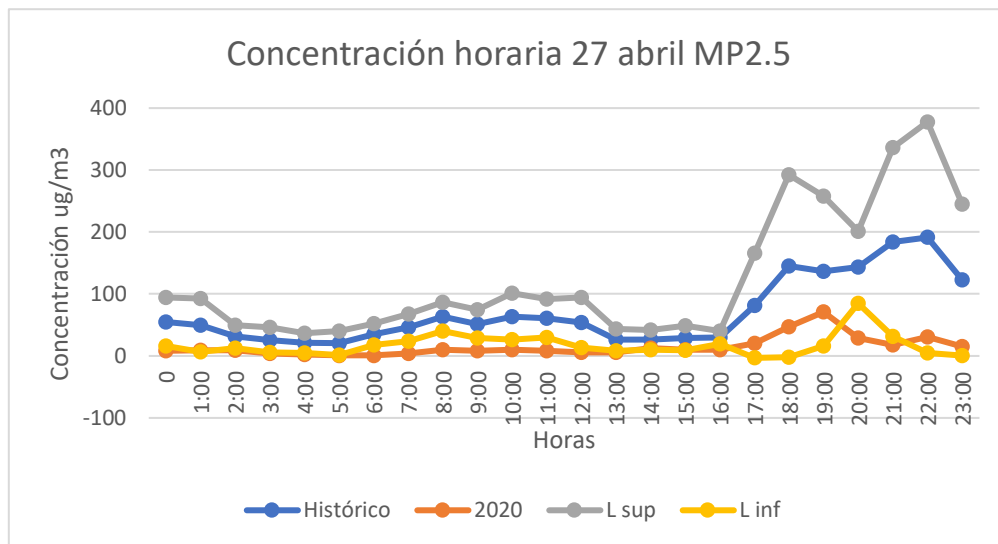


Figura 53: Gráfico de concentraciones horarias de MP 2.5 para el día 27 de abril.

### Estación Padre Las Casas material particulado 10

#### Comparación diaria entre periodo histórico y año de estudio

La Figura 54 detalla los resultados obtenidos para la concentración de MP10 en la estación de monitoreo Padre Las Casas. Se aprecia que la tendencia general es que el año 2020 se encuentre al interior del intervalo de confianza (IC) a excepción de quince días del mes donde sufre aumentos o disminuciones significativas con respecto a los límites de este. Además, al realizar una comparación con el promedio histórico, es posible notar que tiene una tendencia muy parecida al del MP2.5 de esta estación de monitoreo.

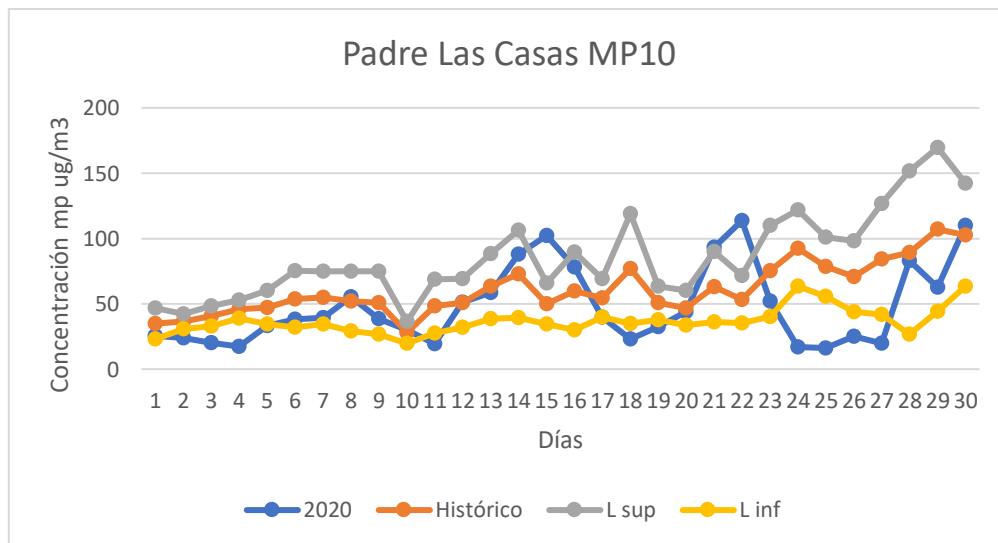


Figura 54: Gráfico de concentraciones diarias de MP10 en la estación Padre Las Casas.

Con respecto a la temperatura se puede observar la misma relación entre la Figura 4 y el Gráfico de concentraciones diarias de MP2.5 en la estación Las Encinas Temuco. Es por esto que la temperatura media

mensual no es un factor que implique un alza en la calefacción al no tener ninguna temperatura extrema mínima en relación a los valores históricos.

En el caso de las precipitaciones, la Figura 5 muestra que en el mes de abril del año 2020 hubo menor volumen de lluvia en relación a los años históricos, por lo tanto, explicaría por qué hay días que superan el límite superior.

En cuanto a los episodios críticos, específicamente para MP10 no tienen relevancia, puesto que en el mes de abril de los años 2016 a 2020 no hubo ninguno para este tipo de contaminante.

#### Días fuera de los límites

Mediante la Figura 54 se identifican todos los días encontrados fuera del intervalo de confianza, siendo para este caso un total de quince días donde tres superan el límite superior y doce están bajo el límite inferior.

- Sobre límite superior del IC

La tendencia para todos los días es estar sobre los valores históricos y límite superior en una gran cantidad de horas, excepto para el día 21 de abril donde se identifica un comportamiento compartido entre estar al interior del IC y sobre el límite.

La temperatura para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza, pero con un comportamiento ascendente para los días 15 y 22 lo cual indicaría un aumento en la temperatura media. Con respecto al día 21 se tiene un valor muy cercano al límite inferior, teniendo lógica con el resultado general diario sobre el límite superior, puesto que al tener una menor temperatura habría un alza en el uso de calefacción. Con los demás días no se puede explicar el comportamiento en el gráfico mensual, puesto que al tener tendencias notablemente ascendentes carece de consistencia que sean días con mayor concentración de MP10.

Para estos días las precipitaciones compartieron una tendencia normal al año, es decir, escasas, pero sin salir de los límites del intervalo. Considerando lo anterior se puede determinar que la falta de precipitación durante abril del 2020 podría corresponder a una mayor acumulación de MP10, pero sin valores extremos que respalden este análisis.

La calidad de aire para todos estos días tanto para el periodo histórico como el año de estudio fue buena, lo cual indica que no es un parámetro que explique el comportamiento fuera del límite superior para estos días. Con la condición de la calidad del aire se esperaría valores más bien bajos para tener una lógica entre los resultados.

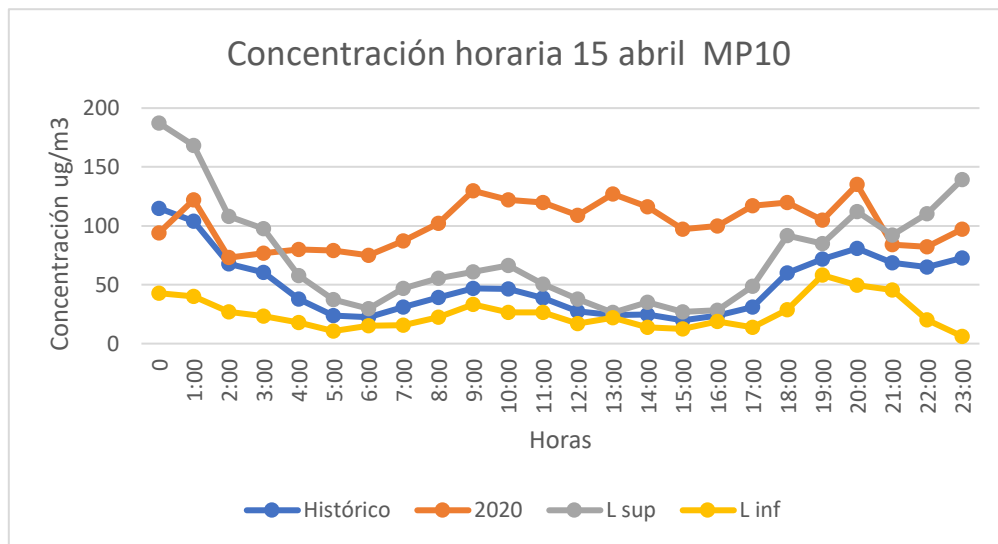


Figura 55: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 15 de abril.

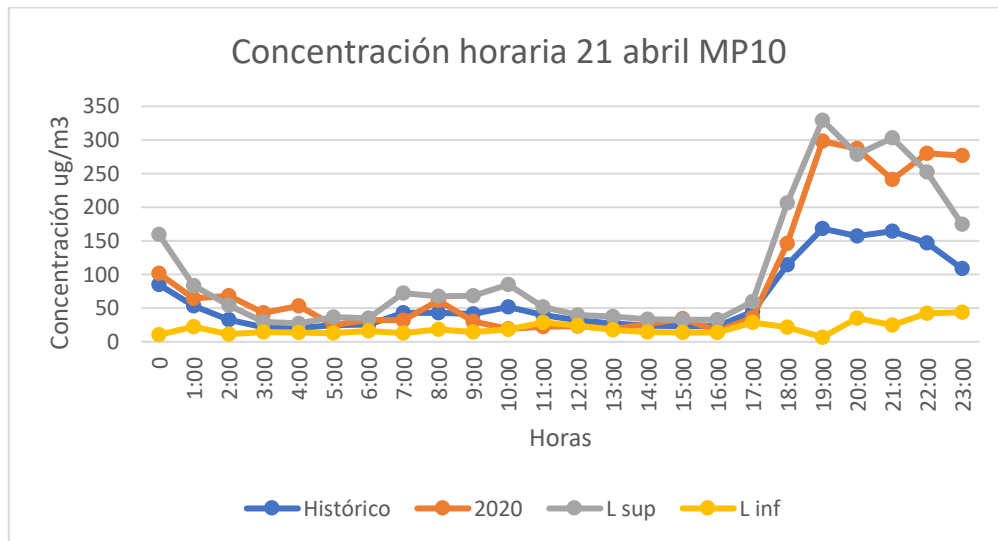


Figura 56: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 21 de abril.

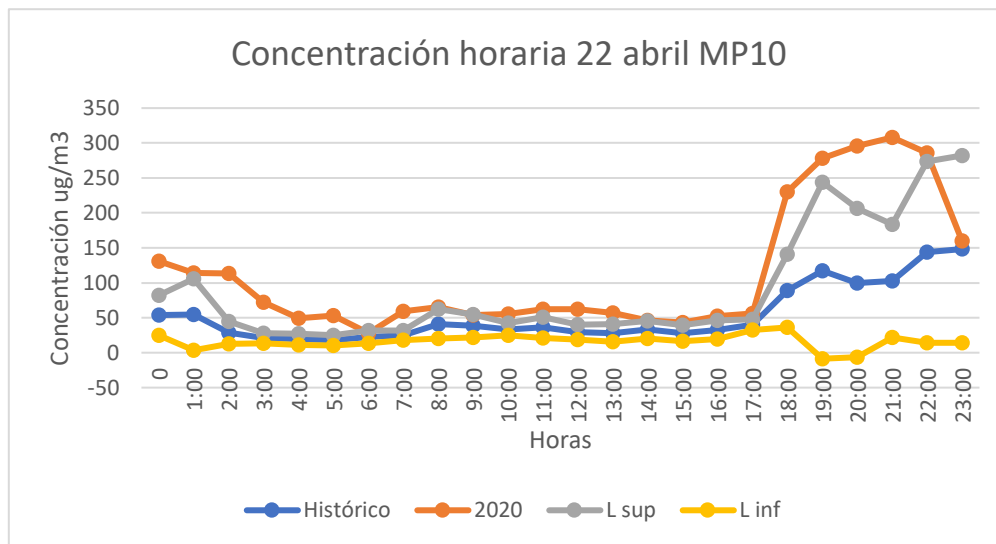


Figura 57: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 22 de abril.

- Bajo límite inferior del IC

Como los días bajo el límite son de una mayor cantidad se analizarán siendo agrupados según las horas en donde las concentraciones estén bajo su respectivo límite inferior. La agrupación anterior se realiza con el fin que estos días comparten características similares según los parámetros a analizar.

- Rango 1 (8:00 a 15:00 hrs)

El comportamiento horario de este día corresponde a estar bajo el límite inferior continuamente durante el horario seleccionado. Además se observa que en todos los días desde las 20:00 hrs se supera el límite inferior levemente.

Con respecto a la temperatura media para estos días todos los valores se encuentran sobre el límite inferior, pero hay dos días que sobrepasan incluso el límite superior: 17 y 18 de abril. En los días donde hay alza de temperatura se espera que el comportamiento sea de una baja con respecto a la concentración de MP10 pues habría menos uso de calefacción. En el día 2 se observa una tendencia ascendente lo cual reflejaría el mismo análisis que para los días anteriores, mientras que para el 19 de abril se presenta una curva descendente indicando una baja en las temperaturas, este último día no podría explicarse mediante este parámetro.

En cuanto a la precipitación, los días 2, 18 y 19 mantuvieron el comportamiento normal sin salir de ningún límite. Al considerar que igualmente es un valor bajo de precipitación por no tener un valor extremo máximo o mínimo no otorga información relevante para explicar su comportamiento. Por otro lado para el día 17 de abril se identifica un alza en la precipitación, lo cual mediante la dispersión de contaminantes que otorga la lluvia explicaría su comportamiento bajo con respecto a MP10.

En cuanto a la calidad del aire, tanto en el periodo histórico como el año en estudio hubo una condición buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante.

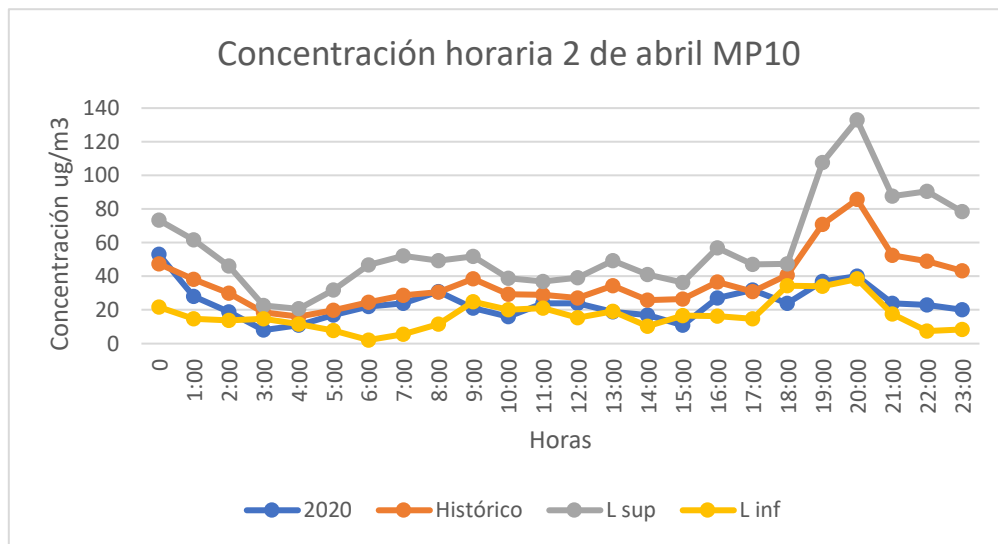


Figura 58: Gráfico de concentraciones horarias MP10 para el día 2 de abril.

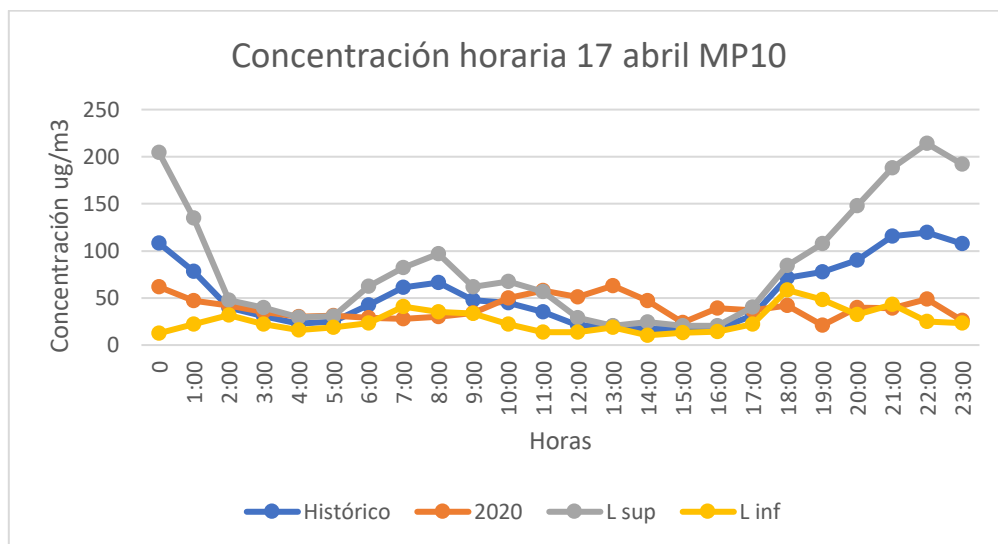


Figura 59: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 17 de abril.

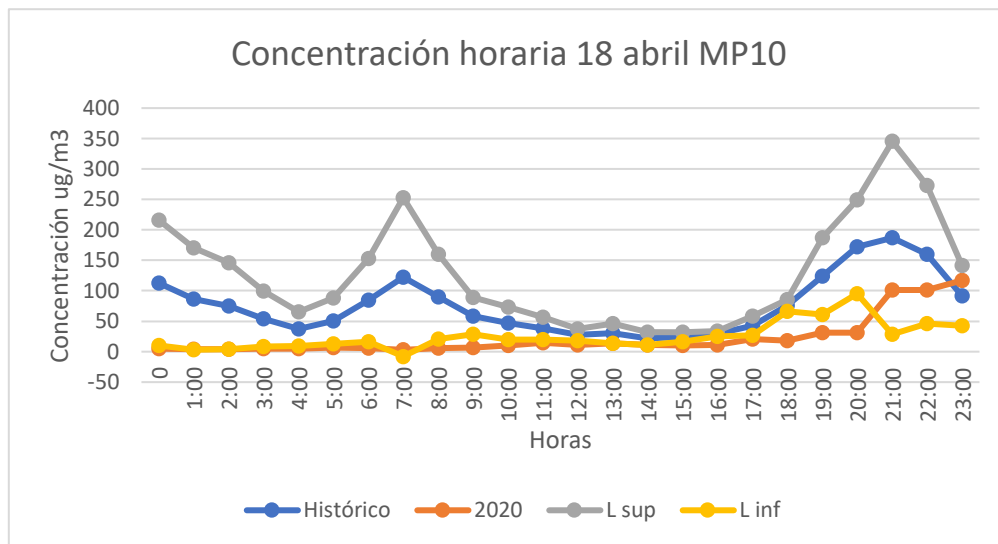


Figura 60: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 18 de abril.

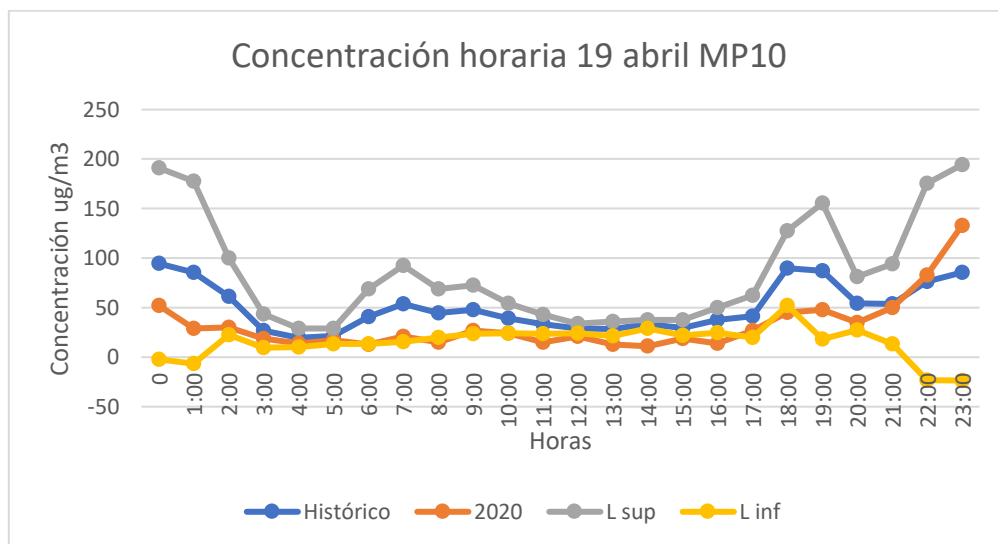


Figura 61: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 19 de abril.

➤ Rango 2 (16:00 a 23:00 hrs)

La tendencia para todos los días es estar bajo los valores históricos y límite inferior en una gran cantidad de horas, en especial en el rango horario seleccionado. También se puede observar que desde las 00:00 a las 3:00 hrs suele volver a estar dentro del IC la curva del 2020 para luego volver a su tendencia original.

La temperatura para estos días se encuentra dentro de su respectivo intervalo de confianza a excepción del día 24 de abril donde hay un auge en la temperatura, lo cual se vería reflejado en las bajas concentraciones de MP10. Con respecto a los demás días, existe una tendencia ascendente para los días 4 y 11 de abril lo cual indicaría el mismo análisis que para el día 24. En cuanto al 3, 5 y 26 de abril tienen un comportamiento descendente, interpretando bajas temperaturas lo cual sería incongruente al definir que estos días tienen menores valores de MP10.

Para la mayoría de estos días las precipitaciones compartieron una tendencia normal, es decir, escasas, pero sin salir de los límites del intervalo. Considerando lo anterior, al igual que la temperatura, este factor no explicaría una disminución en el valor de concentraciones de MP10. La única excepción fue el día 5 de abril donde se registró una precipitación menor al límite inferior, lo cual refleja una carencia de lógica entre bajos valores de concentración de MP10 y poca precipitación.

La condición de la calidad de aire para todos estos días tanto para el periodo histórico como para el año de estudio fue buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante en todos los gráficos horarios diarios.

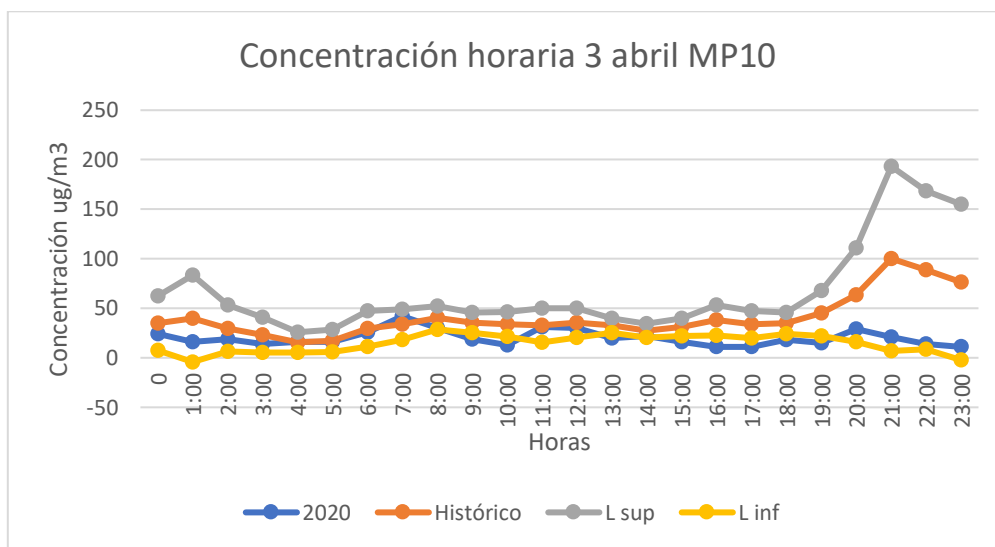


Figura 62: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 3 de abril.

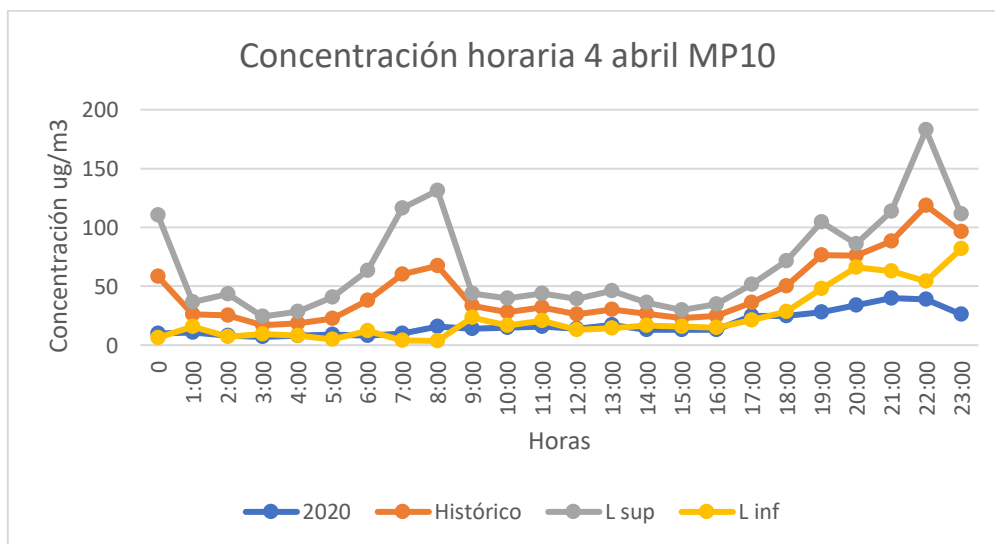


Figura 63: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 4 de abril.

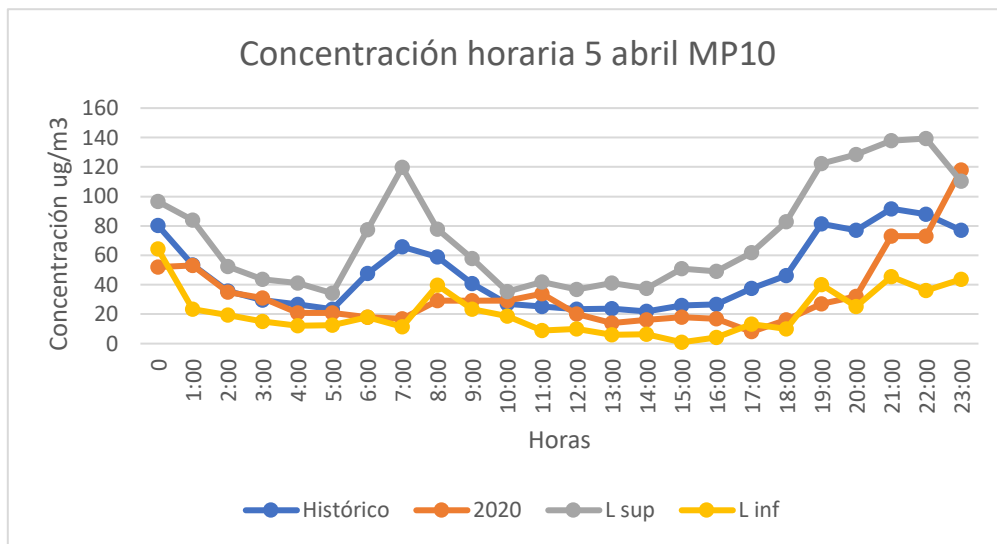


Figura 64: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 5 de abril.

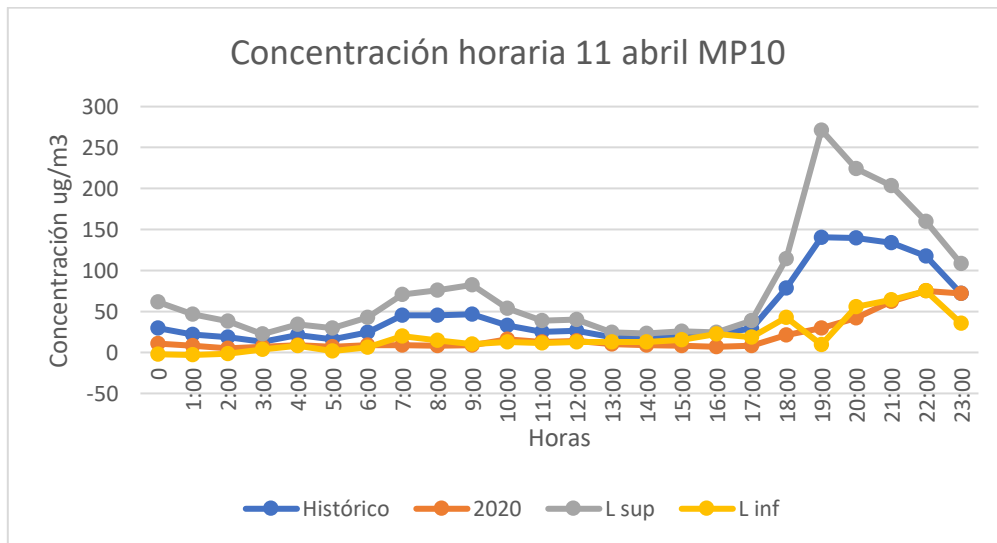


Figura 65: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 11 de abril.

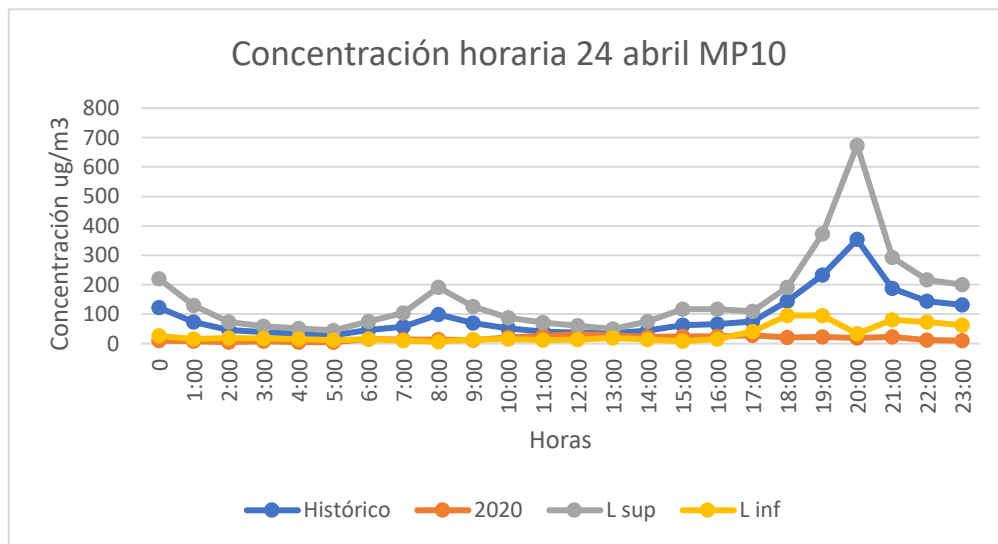


Figura 66: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 24 de abril.

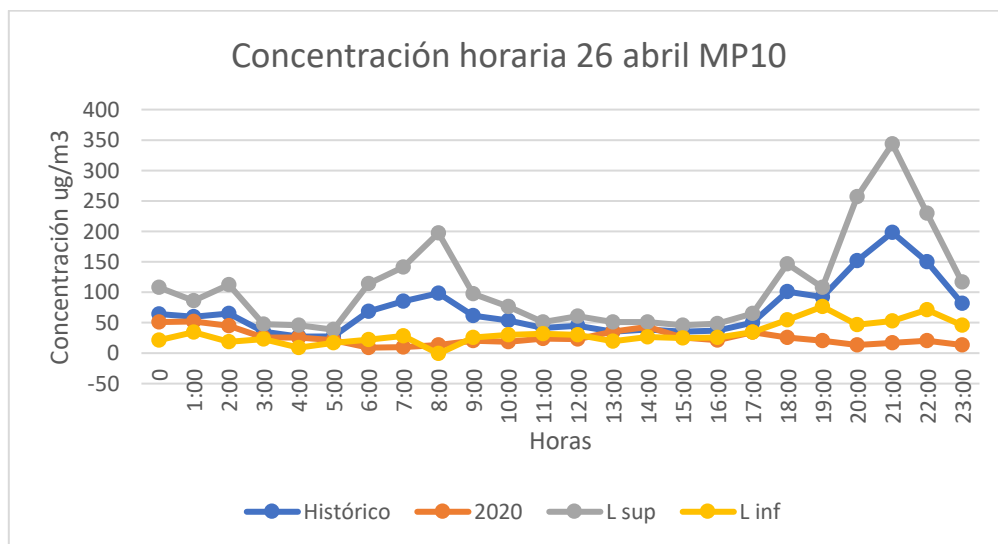


Figura 67: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 26 de abril.

➤ Rango 3 (00:00 a 7:00 hrs)

La tendencia para todos los días es estar bajo los valores históricos y límite inferior en una gran cantidad de horas, en especial en el rango horario seleccionado. En ambos días se puede apreciar puntos sobre el límite, pero se consideran comportamientos particulares pues vuelve a la tendencia rápidamente.

La temperatura para ambos días se encuentra sobre el límite superior del IC, indicando un alza que se ve reflejado en una disminución del uso de calefacción en el hogar y, por lo tanto, una disminución en la concentración de MP10.

Con respecto a las precipitaciones, el día 25 de abril sobrepasa el límite superior indicando una atmósfera más limpia y una relación lógica para el bajo valor de concentración de MP10. Para el día 27 las precipitaciones tuvieron una tendencia normal, es decir, escasas, pero sin salir de los límites del intervalo.

La condición de la calidad de aire para estos días tanto en el periodo histórico como para el año de estudio fue buena, lo cual se ve reflejado en el bajo valor de concentración del contaminante en los gráficos horarios diarios y respalda el análisis anterior con respecto a los demás parámetros.

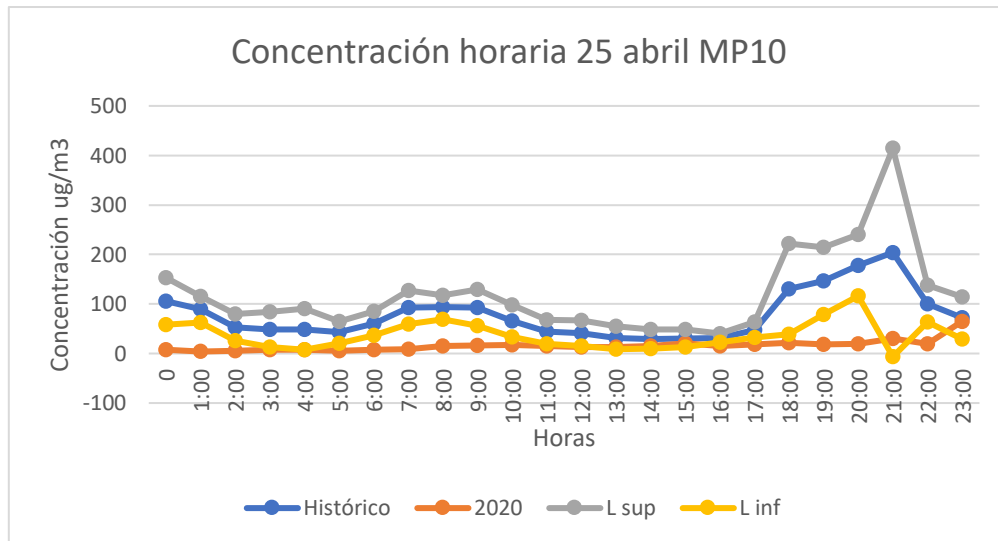


Figura 68: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 25 de abril.

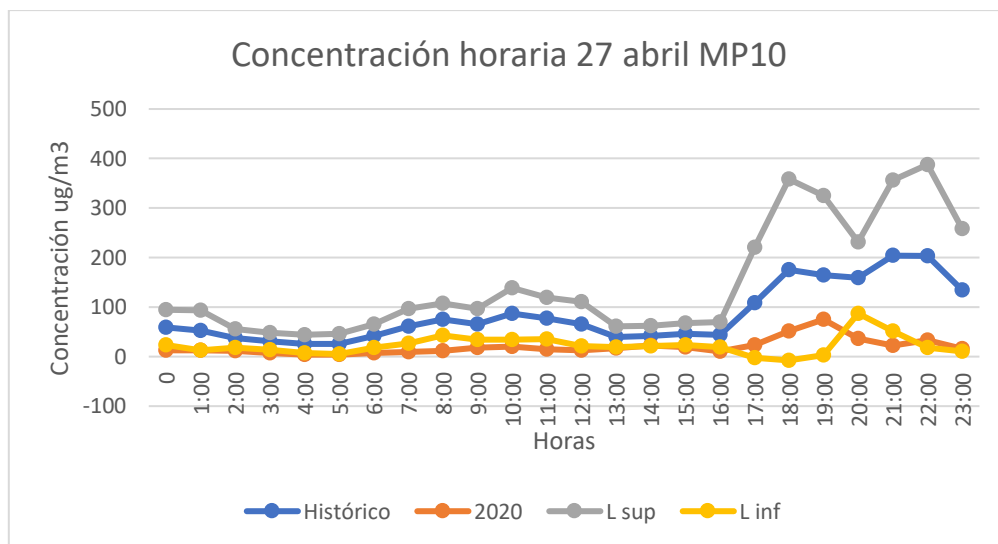


Figura 69: Gráfico de concentraciones horarias de MP10 para el día 27 de abril.

### Comparación entre estaciones de monitoreo

Como se mencionó anteriormente en la Selección de emplazamiento las estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas en una localización urbana (Las Encinas Temuco) y en una rural (Padre Las Casas). Esto con el fin de observar el comportamiento para ambos tipos de MP10 en lugares alejados.

### Material particulado 2.5

En la siguiente figura se puede observar claramente que el comportamiento entre valores históricos y año de estudio tienen una tendencia bastante similar. La mayor diferencia guarda relación con el aumento de concentraciones entre las estaciones de monitoreo. En general el material particulado fino es el que presenta mayores concentraciones, pero hay una notable predominancia de altos valores en la estación Padre Las Casas (PLC). Que PLC tenga mayores valores de concentración entrega un resultado favorable para este estudio, pues se trata de la zona rural donde se suele usar aún más la calefacción a leña.

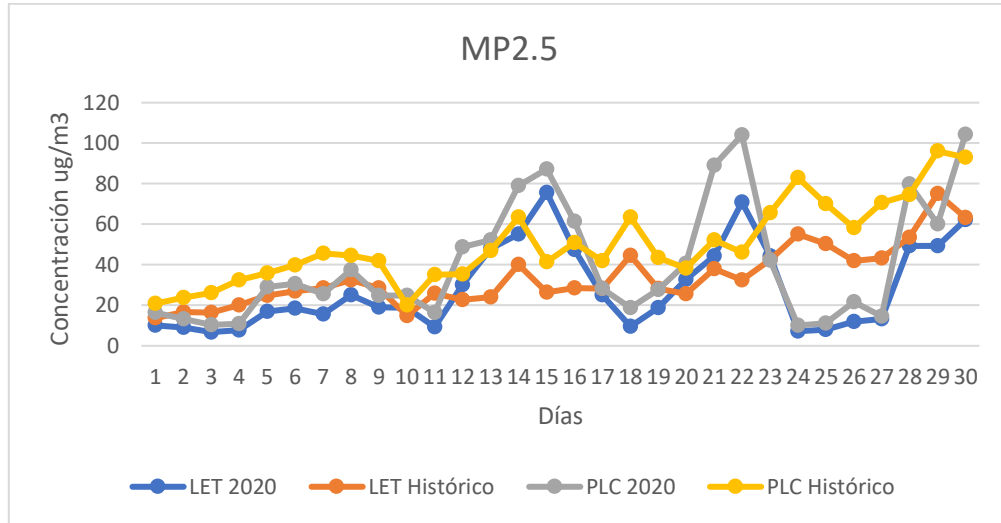


Figura 70: Gráfico de MP2.5 en ambas estaciones de monitoreo.

### Material particulado 10

En la siguiente figura se puede observar claramente que el comportamiento entre valores históricos y año de estudio tienen una tendencia bastante similar. La diferencia evidente radica en el aumento de concentración de material particulado entre las estaciones. El MP10 cuenta con una cantidad de episodios críticos mínimos, por lo tanto, sus concentraciones no tienen grandes valores, pero queda establecido que los mayores corresponden a la estación Padre Las Casas. Al igual que para el MP2.5, esto guarda relación con el mayor uso de calefacción en el sector rural que en el urbano.

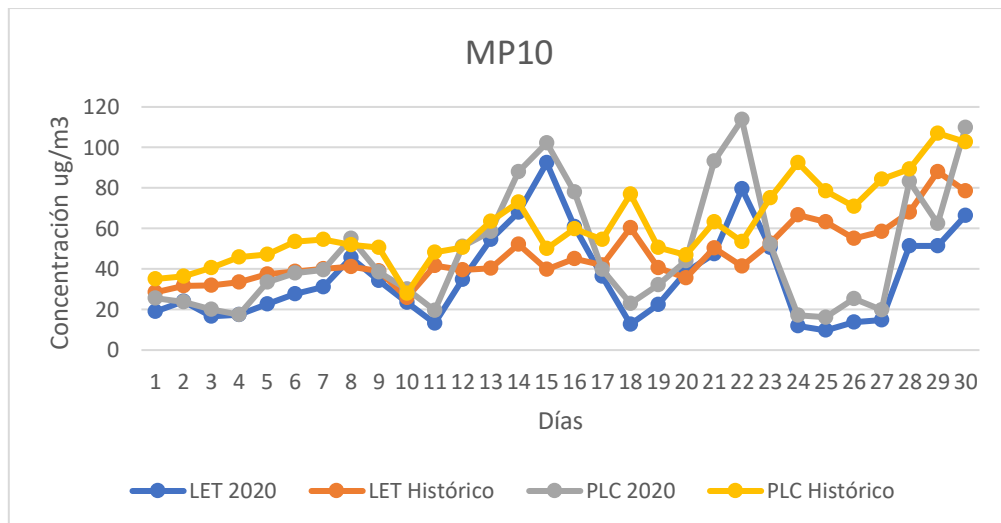


Figura 71: Gráfico de MP10 en ambas estaciones de monitoreo.

### Análisis comparado con el Estado del Arte

La mayoría de las investigaciones planteadas anteriormente en el escrito establecen que la cuarentena fue efectivamente una medida que ayudó a la calidad del aire. Las medidas de restricción en la movilidad provocaron una disminución considerable en emisiones de contaminantes, especialmente para fuentes móviles. Otro punto en común es que la mayoría de las investigaciones están localizadas en grandes ciudades con altos índices de contaminación por transporte, para lo cual sería notablemente beneficioso una cuarentena. La presente investigación estudia una ciudad ubicada en el sur que no posee tantos habitantes como Santiago o Buenos Aires y donde además, se contempla un sector rural para observar el contraste de las concentraciones.

En el caso de la investigación centrada en la ciudad de Buenos Aires se determina que la cuarentena favoreció en la disminución de concentración de contaminantes en el periodo estudiado correspondiente a los meses marzo y agosto para los años 2019 y 2020. Se observa que el comportamiento general es que en marzo se tengan menores valores que en agosto, para ambos años, no obstante, existe un punto importante a considerar que es el gran incremento de contaminación luego de la pandemia. En marzo 2020 se registran los menores valores de contaminantes, pero en agosto del mismo año existe un incremento enorme que sobrepasa todas las tendencias. En consecuencia, el estudio concluye que la ayuda de la cuarentena es solo temporal para la calidad del aire, puesto que se vuelven a los valores normales de contaminación al terminarla. Por otro lado, con respecto al estudio realizado en Temuco, solo se observa efectivamente la disminución que significó el confinamiento durante el mes de abril de distintos años, pero no se puede determinar si el efecto perdura en el tiempo por no considerar los meses siguientes. A continuación, un gráfico del comportamiento de MP10 de la investigación centrada en Buenos Aires (Otero, Casasola, Prieto, Pereyra, & Brusca, 2021):

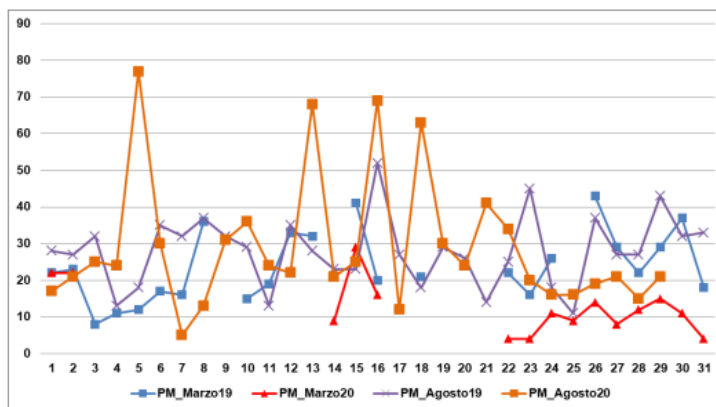


Figura 72: Comparación de la evolución temporal de MP10 ug/m3, promedio de 8 horas (de 08 a 16 horas) para los meses de marzo y agosto 2019 y 2020.

En el estudio de Hui Chen en la ciudad de Shanghai, China igualmente se determina el favorable efecto de la cuarentena sobre la calidad del aire, no obstante, a pesar de que se observa reducción de contaminantes, como el caso del nitrato en un 60%, no evitó la aparición de neblina severa en China. Lo anterior fue explicado debido a que una gran reducción de emisiones en transporte y una ligera reducción en la producción industrial serían insuficientes para prevenir esta consecuencia de contaminación. En contraste con Temuco, se puede determinar el semejante comportamiento en la disminución de las concentraciones de MP, no obstante, durante el mes de abril se registraron 9 episodios críticos lo cual indicaría que la cuarentena no fue suficiente para tener una calidad de aire óptima durante el mes.

Con respecto al estudio de Hui Zhong en China, se muestra otra perspectiva de contabilizar la exposición de la población, es decir, considerando la calidad del aire interior y la movilidad y actividades humanas. Además, por una migración de población urbana a rural a nivel nacional antes del Festival de Primavera, junto con el congelamiento de la migración hacia atrás debido a la cuarentena, aumentó el consumo de energía de los hogares y la fracción de personas expuestas a la energía rural. En sectores rurales la contaminación del aire doméstico es más severa debido al uso frecuente de combustibles sólidos (carbón y biomasa) para cocinar. Además, durante esa temporada, todavía había calefacción ambiental sustancial en los hogares en gran parte del país, lo que es incluso más probable que se haga con combustibles sólidos. Las temperaturas no suelen exceder los 14°C durante los meses del festival, por lo cual, favorece el uso de calefacción. Con respecto a la ciudad de Temuco, tienen en común la importancia del sector rural, se toma en cuenta la contaminación proveniente de calefacción, lo cual es preciso para determinar la influencia positiva o negativa de la cuarentena. Además, resultaría muy favorecedor para la investigación incluir un estudio sobre la calidad del aire al interior de los hogares, puesto que se conocería la real exposición de las personas en la ciudad.

En el estudio de “Contaminación del aire y confinamiento por COVID-19 en una gran ciudad sudamericana: Área Metropolitana de Santiago, Chile” (Toro, y otros, 2021) es el más cercano al realizado en la presente investigación, por tener el mismo país como zona de estudio y por los periodos de tiempo utilizado. A pesar de lo anterior, existe una diferencia fundamental que radica en las principales fuentes de contaminación, en Santiago son las fuentes móviles, mientras que en Temuco son las fuentes fijas. Además es importante considerar la diferencia entre habitantes para cada ciudad y que en Temuco se estudia una localidad mayormente rural. A pesar de lo anterior, en ambas investigaciones se ve reflejado en una disminución en la concentración de contaminantes durante el periodo de confinamiento.

Finalmente, luego de los análisis realizados, se concuerda con los estudios que la cuarentena ayudó a bajar niveles de contaminación, pero dependiendo de la localización es donde se determinará realmente si bajan de manera considerable o más bien siguen una tendencia muy cercana a la histórica. Además, se establece que es importante incluir en los estudios las variables meteorológicas de la zona, puesto que son un factor fundamental ante la contaminación y, para la presente investigación, contribuyeron en entender el comportamiento de varios de los días fuera de los límites del intervalo de confianza y la influencia o no de la cuarentena.

## VIII. Conclusiones y recomendaciones

### **Conclusiones**

Las conclusiones que se obtuvieron a partir de los objetivos propuestos en la presente investigación son las siguientes:

#### Según objetivo general

Mediante los análisis diarios mensuales, se establece que, si bien el comportamiento general del año 2020 estuvo dentro del intervalo de confianza, existen varios días con valores extremos altos o bajos que se alejan de la tendencia normal. El estudio particular de cada día entregó como información que la mayor parte de estos tiene valores menores al límite inferior, lo cual se interpreta como una relación positiva entre la calidad del aire y la cuarentena, no obstante, los informes diarios sobre la condición de calidad del aire entregan una cantidad de episodios críticos mayor que el año previo a la cuarentena, 9 durante el año 2020 y 3 para el año 2019. En consecuencia, se determina que la cuarentena efectivamente ayudó con la calidad del aire, pero no fue exclusividad de esta, tanto parámetros meteorológicos como el plan de descontaminación para material particulado influyeron en los resultados obtenidos.

#### Según objetivos específicos

La calidad del aire en la ciudad de Temuco está influenciada por emisiones de corto plazo que poseen una estacionalidad marcada, por lo tanto, se selecciona como mes de comparativa y estudio abril, por estar dentro del rango de meses con bajas temperaturas (promedio de 9°C) y por tener cuarentena continua en el año 2020. Además, considerando que su fuente primordial de emisiones es fija por la combustión de leña, se identifica que sus contaminantes principales son el MP2.5 y MP10.

Las medidas por COVID-19 afectaron directamente en la movilidad de las personas, lo cual es una gran alternativa en contra las emisiones de fuentes móviles. No obstante, con respecto a las fuentes fijas no tiene la misma relación, debido a que se obligó a pasar un mayor tiempo en las residencias ocasionando un auge en el uso de calefacción. Por lo tanto, a pesar de tener resultados favorables con respecto a la concentración de contaminantes con respecto al periodo histórico, se identifica que la relación entre el tiempo en confinamiento y la concentración de contaminantes originada por fuentes fijas es inversamente proporcional.

Con respecto al comportamiento histórico de los contaminantes, se establece que para MP2.5 y MP10 hay una disminución durante la cuarentena y se observa una cantidad importante de días fuera del intervalo de confianza en donde la mayor cantidad se agrupa bajo el límite inferior, más del 69% en ambas estaciones para MP fino y grueso. De estos días se determina que entre el 35- 40% pueden tener influencia directa por alzas o bajas de temperatura y/o precipitación. Con respecto a los parámetros mencionados se debe destacar que el promedio de la temperatura media solo varió 1°C aproximadamente con respecto al valor histórico y que las precipitaciones fueron mínimas con respecto a los años anteriores, por lo cual se consideraron como influencia solo los días que efectivamente presentaron una variación importante de temperatura y/o precipitación. En el caso de la calidad del aire se identifica que aproximadamente un 20% de los días son explicados únicamente por este factor, es decir, hubo condiciones normales de temperatura y precipitación y aún así son registrados como días fuera de la tendencia. Considerando lo mencionado, aproximadamente el 60% de los días fuera del intervalo de confianza pueden ser explicados mediante los parámetros mencionados, no obstante, los días que quedan son únicamente efecto de la cuarentena.

Además, se identificó que las concentraciones en la estación de monitoreo Padre Las Casas (sector rural) son mayores que la estación Las Encinas Temuco (sector urbano) lo cual guarda relación con el tipo de fuente propia para cada localización, fija y móvil respectivamente.

Finalmente, al inicio de la investigación se planteó que la disminución en la movilidad generará un aumento en las emisiones de fuentes fijas residenciales, provocando un impacto negativo en la calidad del aire en la ciudad de Temuco. Se concluye que hubo un impacto positivo en la calidad del aire, pero no se atribuye únicamente a la cuarentena pues hubo influencia de los parámetros meteorológicos del periodo y el respectivo plan de descontaminación de la zona. Puesto que como se mencionó anteriormente, existe un 40% aproximadamente de días que son efecto del confinamiento, mientras que el resto de los días tienen su comportamiento en conjunto a otros factores. Además, se determina que la zona rural de la ciudad posee los mayores valores de concentración tanto para MP2.5 como para MP10.

### **Recomendaciones**

En esta investigación se obtuvieron resultados que con otro enfoque podrían otorgar más información sobre la relación entre cuarentena y contaminación. Uno de ellos sería analizar otro tipo de parámetros para los años históricos, puesto que con respecto a la condición de calidad del aire se observó un patrón de episodios críticos. En los años pares suele haber una mayor cantidad de episodios que en los años impares, incluyendo el año 2020 de cuarentena en donde se identificó una mayor cantidad que en el año 2019 a pesar de tener en general menores valores de concentración de MP. Lo anterior puede tener relación con eventos climáticos como por ejemplo el fenómeno del Niño el cual tiene relación con la temperatura superficial del mar, la que se manifiesta principalmente mediante un calentamiento o enfriamiento anómalo en el Pacífico Ecuatorial central y oriental (El Niño y la Niña respectivamente) (López Wastavino, 2017). Otra explicación puede ser mediante la inversión térmica, considerando que los años par hay menor temperatura que en el año siguiente impar, lo cual ocasionaría una interrupción en la circulación del aire dejando estancado a los contaminantes y explicando así la mayor cantidad de episodios en los años pares.

Otro factor a incluir es el estudio de nuevas estaciones de monitoreo, pero solo analizando el material particulado fino. La razón de lo anterior radica en que el material particulado grueso no tiene episodios críticos pues la mayor cantidad de contaminación proviene del MP2.5, por lo tanto, estudiar otra estación para este contaminante podría entregar más información sobre su comportamiento durante la cuarentena.

## IX. Referencias

- Ambiente, M. d. (6 de mayo de 2013). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Recuperado el 2022, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1050746&f=2013-05-06&p=>
- Cortés, A. (2013). *Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario. La ciudad de Temuco como caso de estudio*. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-83582013000200008&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-83582013000200008&script=sci_arttext)
- Gallego Picó, A., González Fernández, I., Sánchez Gimeno, B., Fernández Hernando, P., Garcinuño Martínez, R., Bravo Yagüe, J., . . . Durand Alegría, J. (2012). *Contaminación atmosférica*. Madrid: UNED.
- Hui Chen, J. H. (15 de Noviembre de 2020). Impact of quarantine measures on chemical compositions of PM2.5 during the COVID-19 epidemic in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 743. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140758>
- Huizhong Shen, G. S. (04 de Enero de 2021). Increased air pollution exposure among the Chinese population during the national quarantine in 2020. *Nature human behaviour*, 239-246. doi:<https://doi.org/10.1038/s41562-020-01018-z>
- Jorquera González, H. (2015). *Introducción a la Contaminación Atmosférica*. Santiago: Ediciones UC.
- López Wastavino, N. A. (2017). *Efecto del fenómeno de El Niño en la concentración de ozono troposférico en Santiago de Chile*. Valparaíso.
- Ministerio del medio ambiente. (27 de Febrero de 2015). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1084085&f=2015-11-17&p=>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Aire Chile*. Obtenido de <https://airechile.mma.gob.cl/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Conceptos de calidad del aire*. Obtenido de <https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/>
- Ministerio del medio ambiente. (2022). *Planes y normas*. Obtenido de [https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema\\_ambiental=1](https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema_ambiental=1)
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *ppda.mma.gob*. Obtenido de [ppda.mma.gob.cl/araucania/pda-para-las-comunas-de-temuco-y-padre-las-casas/](https://ppda.mma.gob.cl/araucania/pda-para-las-comunas-de-temuco-y-padre-las-casas/)
- Ministerio del Medio Ambiente. (15 de Junio de 2022). *SINCA*. Obtenido de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/glosario>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *SINCA*. Obtenido de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/info/id/IX>
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (11 de Mayo de 2005). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Recuperado el 2022, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=237789&f=2005-05-11&p=>
- Municipalidad de Temuco, & Territorio Mayor. (2022). *Temuco*. Obtenido de <https://www.temuco.cl/wp-content/uploads/2018/12/Cap7-Ambiental.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud. (2022). *paho.org*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022). *paho.org*. Obtenido de ] <https://www.paho.org/es/eventos/webinario-directrices-mundiales-oms-sobre-calidad-aire-2021>
- Orozco, C. (2011). *Contaminación Ambiental*. Ediciones Paraninfo S.A.
- Otero, L., Casasola, F., Prieto, M., Pereyra, C., & Brusca, S. (2021). Mediciones de PM10 y NO2 durante los primeros meses de la cuarentena de covid-19 en ciudad de Buenos Aires, Argentina. (S. Larrondo, Ed.) *Anales de la Asociación Química Argentina*, 108(1-2), 31-41. Obtenido de <https://www.aqa.org.ar/images/anales/pdf108/108.pdf>
- Rubio, M., Lissi, E., Riveros, V., & Paez, M. (25 de Junio de 2001). Remoción de contaminantes por lluvias y rocios en la región metropolitana. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 43(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0366-16442001000300014>
- Toro, R., Catalán, F., Urdanivia, F., Rojas, J., Manzano, C., Següel, R., . . . Leiva-Gusmán, M. (Marzo de 2021). Aire pollution and COVID-19 lockdown in a large South American city: Santiago Metropolitan Area, Chile. *Urban Climate*, 36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100803>

## X. Anexos

### Datos utilizados para la elaboración de gráficos mensuales diarios

#### Estación Las Encinas Temuco MP 2.5

Tabla 3: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación LET MP2.5.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	10,00	13,70	21,71	7,83	2,91	1,96	19,40	8,00	No	No
2	9,13	16,56	22,73	10,50	2,54	1,96	21,54	11,59	No	Sí
3	6,79	16,45	21,37	10,63	2,82	1,96	21,97	10,93	No	Sí
4	7,63	20,06	28,44	15,58	2,86	1,96	25,67	14,45	No	Sí
5	16,88	24,74	36,02	15,28	4,37	1,96	33,30	16,18	No	No
6	18,42	26,98	38,33	19,13	4,11	1,96	35,04	18,91	No	Sí
7	15,63	28,49	51,79	18,29	7,82	1,96	43,82	13,17	No	No
8	25,00	32,34	46,46	10,71	7,88	1,96	47,77	16,90	No	No
9	18,96	28,59	42,79	14,06	7,51	1,96	43,30	13,88	No	No
10	18,88	14,94	24,00	10,58	3,15	1,96	21,11	8,77	No	No
11	9,25	25,87	47,42	9,02	8,56	1,96	42,65	9,08	No	No
12	30,17	22,76	34,96	13,67	4,61	1,96	31,80	13,72	No	No
13	47,88	24,13	36,00	11,21	5,80	1,96	35,49	12,77	Sí	No
14	55,17	39,99	59,29	5,34	12,70	1,96	64,89	15,09	No	No
15	75,71	26,32	42,96	5,48	7,77	1,96	41,55	11,09	Sí	No
16	47,38	28,55	45,75	16,47	6,41	1,96	41,11	15,99	Sí	No
17	25,04	28,14	47,83	13,44	7,80	1,96	43,44	12,85	No	No
18	9,67	44,60	81,74	17,77	14,98	1,96	73,96	15,24	No	Sí
19	18,75	28,35	47,17	12,80	7,11	1,96	42,28	14,42	No	No
20	32,65	25,67	52,00	12,43	8,97	1,96	43,26	8,08	No	No
21	44,29	38,04	61,57	20,21	8,84	1,96	55,37	20,71	No	No
22	70,83	32,40	43,46	23,99	4,70	1,96	41,61	23,18	Sí	No
23	44,42	42,53	73,63	16,76	12,23	1,96	66,50	18,57	No	No
24	7,08	55,19	79,25	32,51	9,57	1,96	73,95	36,43	No	Sí
25	7,96	50,47	73,93	18,91	12,41	1,96	74,79	26,14	No	Sí
26	11,92	41,82	65,51	27,09	8,81	1,96	59,08	24,55	No	Sí
27	13,29	43,29	66,15	16,48	10,30	1,96	63,48	23,11	No	Sí
28	49,25	53,49	104,16	11,78	21,42	1,96	95,48	11,50	No	No
29	49,29	75,03	143,28	21,71	27,30	1,96	128,54	21,53	No	No
30	62,21	63,14	99,81	40,08	14,00	1,96	90,59	35,69	No	No

**Estación Las Encinas Temuco MP 10**

Tabla 4: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación LET MP10.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	19,15	28,49	37,50	22,22	3,23	1,96	34,81	22,17	No	Sí
2	23,95	31,71	34,91	27,76	1,57	1,96	34,78	28,64	No	Sí
3	16,54	31,88	35,85	28,88	1,73	1,96	35,27	28,50	No	Sí
4	17,53	33,53	43,09	24,75	3,75	1,96	40,89	26,17	No	Sí
5	22,75	37,41	54,34	26,36	6,32	1,96	49,80	25,01	No	Sí
6	27,83	38,70	53,21	25,46	5,80	1,96	50,07	27,34	No	No
7	31,17	39,99	68,88	25,71	9,78	1,96	59,17	20,82	No	No
8	45,63	41,04	53,46	16,96	8,39	1,96	57,49	24,59	No	No
9	34,38	39,04	54,63	23,21	8,68	1,96	56,04	22,03	No	No
10	23,46	25,96	40,37	18,33	5,07	1,96	35,90	16,02	No	No
11	13,13	41,72	60,95	26,75	8,47	1,96	58,31	25,12	No	Sí
12	34,83	39,58	63,41	23,83	8,45	1,96	56,14	23,01	No	No
13	54,54	40,39	52,44	21,21	6,84	1,96	53,79	26,98	Sí	No
14	68,04	52,26	78,70	15,15	14,24	1,96	80,18	24,35	No	No
15	92,42	39,77	53,63	15,59	8,41	1,96	56,26	23,28	Sí	No
16	60,96	45,08	58,54	27,09	7,05	1,96	58,90	31,25	Sí	No
17	36,50	41,88	55,13	31,68	4,91	1,96	51,51	32,26	No	No
18	12,63	60,26	97,44	31,79	14,50	1,96	88,68	31,83	No	Sí
19	22,50	40,50	62,58	26,58	7,75	1,96	55,68	25,32	No	Sí
20	38,41	35,56	57,96	20,33	8,57	1,96	52,36	18,77	No	No
21	47,33	50,42	77,30	33,75	9,37	1,96	68,78	32,05	No	No
22	79,46	41,38	55,64	33,62	5,07	1,96	51,32	31,44	Sí	No
23	50,54	52,73	80,71	21,42	12,51	1,96	77,24	28,22	No	No
24	11,96	66,62	98,67	41,77	11,81	1,96	89,78	43,47	No	Sí
25	9,71	63,20	88,94	29,21	13,27	1,96	89,21	37,20	No	Sí
26	13,83	55,06	89,39	38,25	11,81	1,96	78,21	31,91	No	Sí
27	14,88	58,41	96,57	27,76	14,28	1,96	86,39	30,42	No	Sí
28	51,42	68,06	139,38	22,63	26,90	1,96	120,78	15,35	No	No
29	51,50	88,07	151,86	32,29	27,88	1,96	142,72	33,42	No	No
30	66,50	78,64	124,35	50,95	15,98	1,96	109,95	47,32	No	No

### Estación Padre Las Casas MP2.5

Tabla 5: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación PLC MP2.5.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	16,48	20,85	30,94	12,17	5,00	1,96	30,65	11,06	No	No
2	13,25	23,71	33,49	11,17	4,76	1,96	33,04	14,38	No	Sí
3	10,26	26,08	38,75	16,46	5,01	1,96	35,90	16,27	No	Sí
4	10,88	32,33	37,69	24,51	2,93	1,96	38,08	26,58	No	Sí
5	29,00	35,96	49,61	20,83	6,27	1,96	48,26	23,67	No	No
6	30,50	39,96	70,32	20,71	10,65	1,96	60,82	19,09	No	No
7	25,54	45,56	74,21	31,83	9,73	1,96	64,63	26,50	No	Sí
8	37,58	44,63	59,78	10,17	11,73	1,96	67,62	21,64	No	No
9	24,75	42,06	65,34	12,74	12,76	1,96	67,06	17,06	No	No
10	24,75	19,98	30,78	10,21	4,22	1,96	28,24	11,71	No	No
11	16,38	35,06	61,27	15,12	11,21	1,96	57,03	13,09	No	No
12	48,83	35,34	50,67	18,79	8,73	1,96	52,45	18,22	No	No
13	52,25	46,95	69,38	21,63	12,88	1,96	72,19	21,71	No	No
14	78,96	63,46	100,00	19,87	16,48	1,96	95,77	31,15	No	No
15	87,29	41,32	57,63	20,52	8,31	1,96	57,61	25,03	Sí	No
16	61,46	50,84	92,08	24,04	16,35	1,96	82,89	18,79	No	No
17	28,17	42,06	71,29	21,19	11,64	1,96	64,86	19,25	No	No
18	18,88	63,51	120,78	28,62	21,74	1,96	106,12	20,89	No	Sí
19	27,71	43,57	58,21	23,13	7,63	1,96	58,52	28,62	No	Sí
20	40,54	38,15	54,83	27,34	6,35	1,96	50,60	25,69	No	No
21	89,00	52,33	87,55	35,03	11,90	1,96	75,66	29,00	Sí	No
22	104,04	46,15	67,83	27,21	9,28	1,96	64,35	27,95	Sí	No
23	42,21	65,61	112,38	27,82	17,60	1,96	100,11	31,10	No	No
24	10,03	83,09	101,71	42,03	13,91	1,96	110,35	55,83	No	Sí
25	11,08	70,04	97,39	38,56	12,21	1,96	93,96	46,11	No	Sí
26	21,58	58,23	94,31	32,02	13,53	1,96	84,74	31,71	No	Sí
27	14,58	70,57	113,05	28,89	18,10	1,96	106,05	35,08	No	Sí
28	79,96	74,52	130,35	16,33	26,99	1,96	127,43	21,62	No	No
29	60,00	96,05	178,17	28,50	32,30	1,96	159,37	32,74	No	No
30	104,42	93,09	138,58	57,67	17,81	1,96	128,00	58,19	No	No

### Estación Padre Las Casas MP10

Tabla 6: Valores obtenidos de SINCA trabajados con IC al 95% para estación PLC MP10.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	25,70	35,00	47,25	21,48	6,08	1,96	46,91	23,08	No	No
2	23,83	36,45	41,17	28,88	2,94	1,96	42,22	30,68	No	Sí
3	20,18	40,54	52,09	34,79	3,97	1,96	48,31	32,77	No	Sí
4	17,46	45,84	53,17	36,69	3,57	1,96	52,84	38,83	No	Sí
5	33,38	47,24	63,41	32,40	6,51	1,96	60,01	34,48	No	Sí
6	38,08	53,54	82,22	29,42	11,04	1,96	75,17	31,90	No	No
7	39,46	54,69	84,92	39,46	10,27	1,96	74,82	34,56	No	No
8	55,17	51,91	69,46	17,71	11,69	1,96	74,82	29,00	No	No
9	38,63	50,73	72,90	25,38	12,29	1,96	74,83	26,63	No	No
10	29,96	28,03	40,18	20,46	4,26	1,96	36,38	19,68	No	No
11	19,54	48,24	66,66	29,88	10,53	1,96	68,87	27,60	No	Sí
12	51,17	50,65	75,18	32,63	9,46	1,96	69,19	32,11	No	No
13	58,46	63,40	90,23	32,79	12,72	1,96	88,33	38,47	No	No
14	88,08	72,86	107,79	26,53	17,02	1,96	106,23	39,49	No	No
15	102,08	50,15	64,04	27,04	8,08	1,96	65,99	34,30	Sí	No
16	77,96	59,70	97,75	29,48	15,17	1,96	89,43	29,97	No	No
17	39,75	54,55	75,00	39,96	7,52	1,96	69,30	39,81	No	Sí
18	23,08	76,81	134,01	33,15	21,43	1,96	118,81	34,81	No	Sí
19	32,29	50,61	68,08	35,73	6,65	1,96	63,63	37,58	No	Sí
20	43,92	46,87	62,21	32,69	6,70	1,96	60,00	33,74	No	No
21	93,13	63,14	103,33	43,95	13,69	1,96	89,97	36,31	Sí	No
22	113,71	53,44	71,50	37,00	9,22	1,96	71,50	35,38	Sí	No
23	52,21	75,11	118,75	32,16	17,82	1,96	110,03	40,19	No	No
24	17,13	92,51	117,42	50,07	14,90	1,96	121,71	63,31	No	Sí
25	16,21	78,40	104,69	48,49	11,55	1,96	101,03	55,77	No	Sí
26	25,29	70,96	108,98	46,52	13,83	1,96	98,07	43,84	No	Sí
27	19,71	84,38	141,49	40,80	21,61	1,96	126,73	42,03	No	Sí
28	83,13	89,27	167,20	27,63	31,83	1,96	151,66	26,87	No	No
29	62,54	107,02	182,29	34,79	31,91	1,96	169,57	44,47	No	No
30	109,83	102,85	157,51	65,49	20,06	1,96	142,17	63,53	No	No

## Detalle del comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril para los años 2016-2020

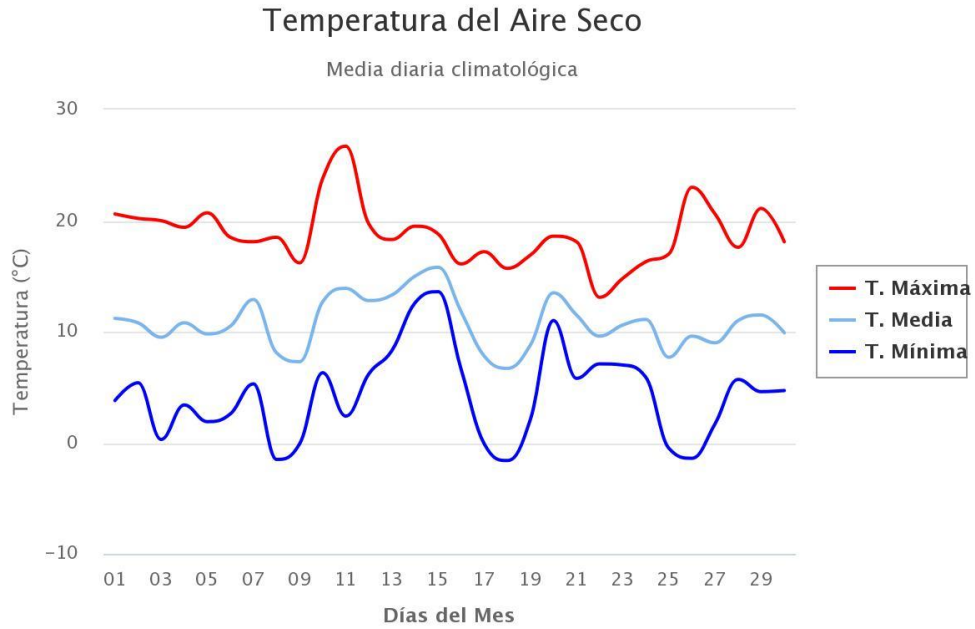


Figura 73: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2016.

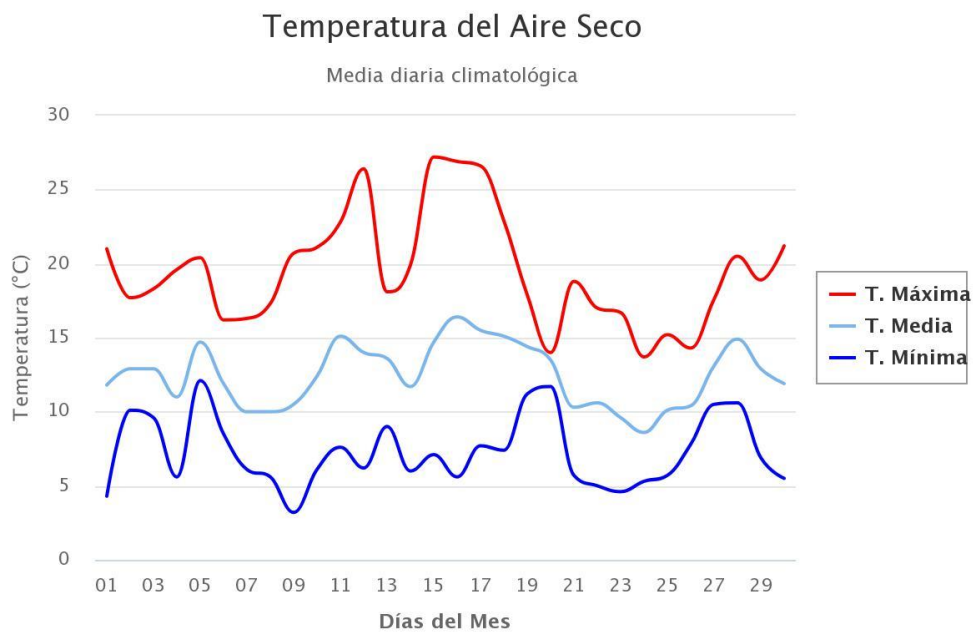


Figura 74: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2017.

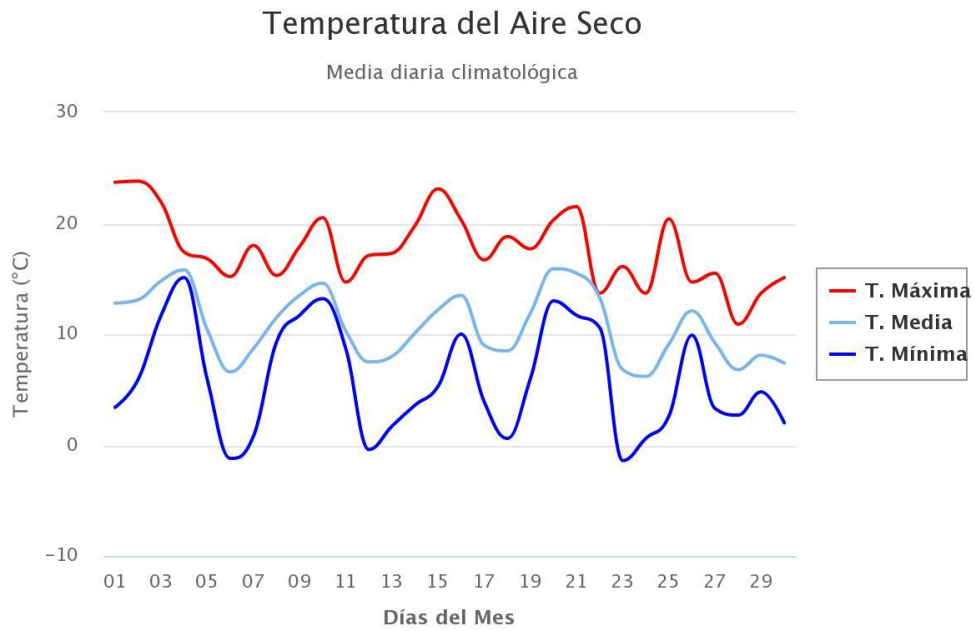


Figura 75: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2018.

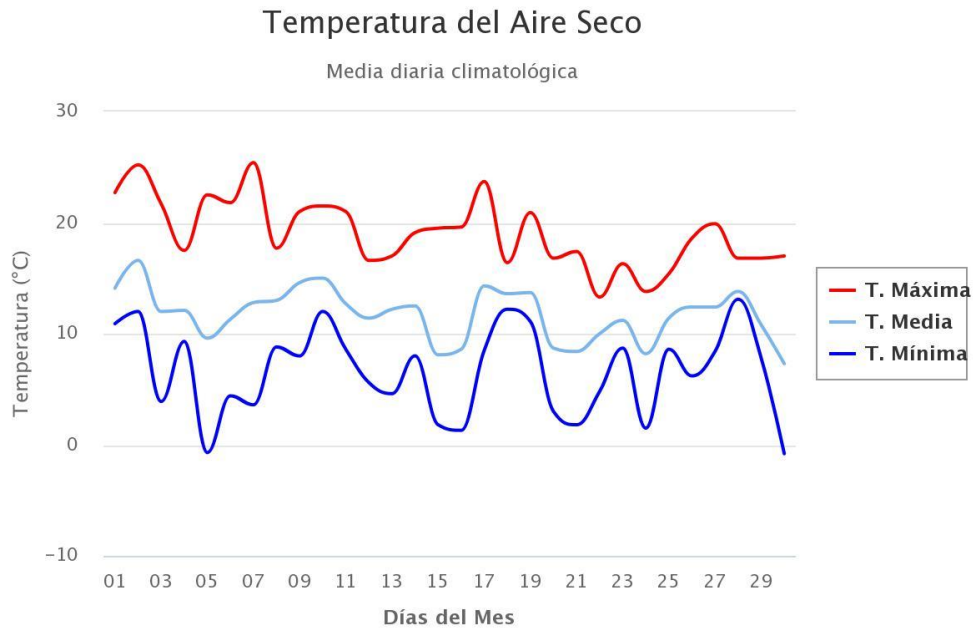


Figura 76: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2019.

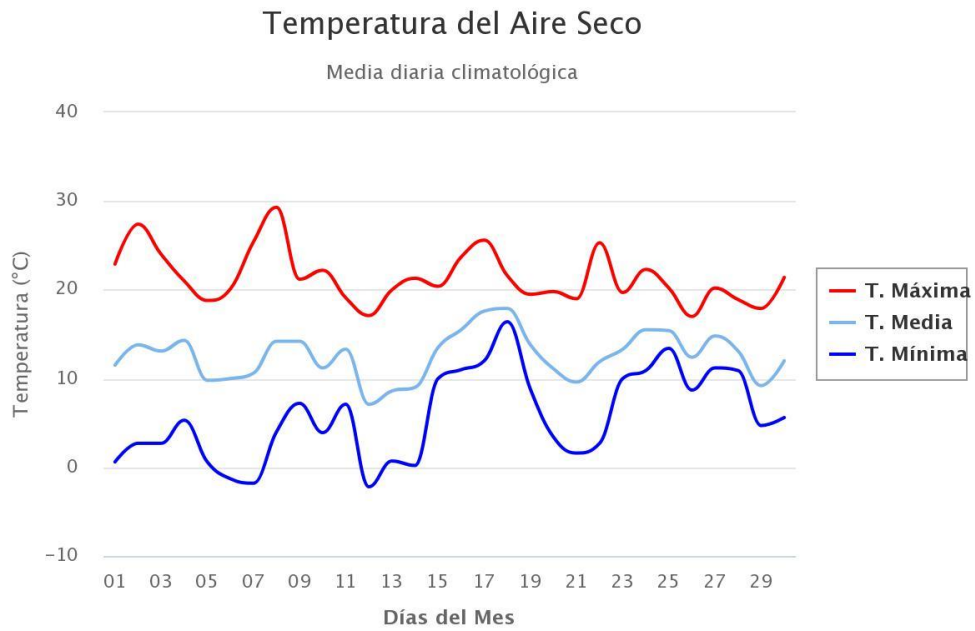


Figura 77: Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en abril del año 2020.

### Detalle del comportamiento de la precipitación acumulada en abril de los años 2016-2020

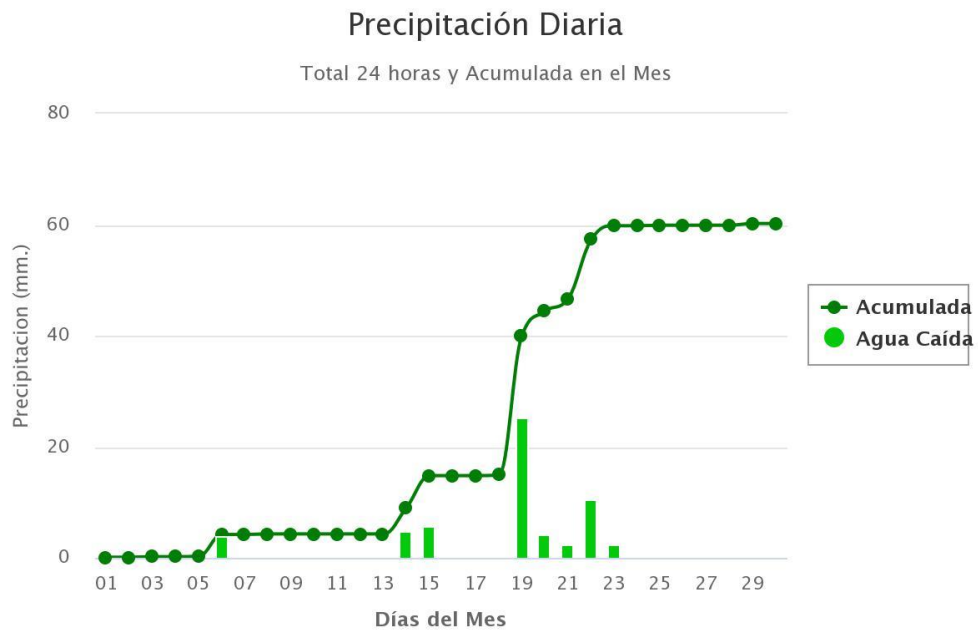


Figura 78: Precipitación acumulada para abril año 2016.

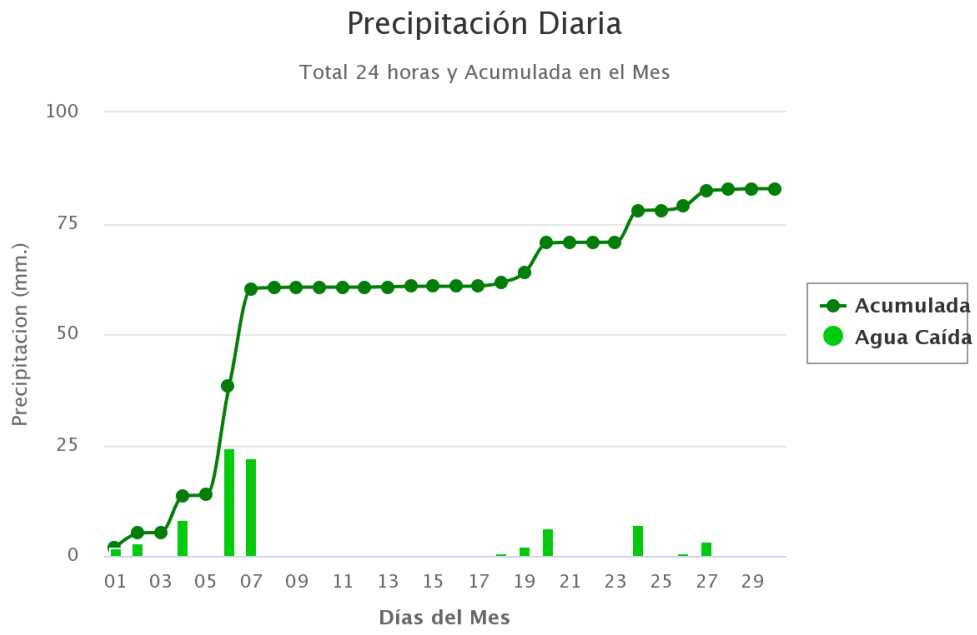


Figura 79: Precipitación acumulada para abril año 2017.

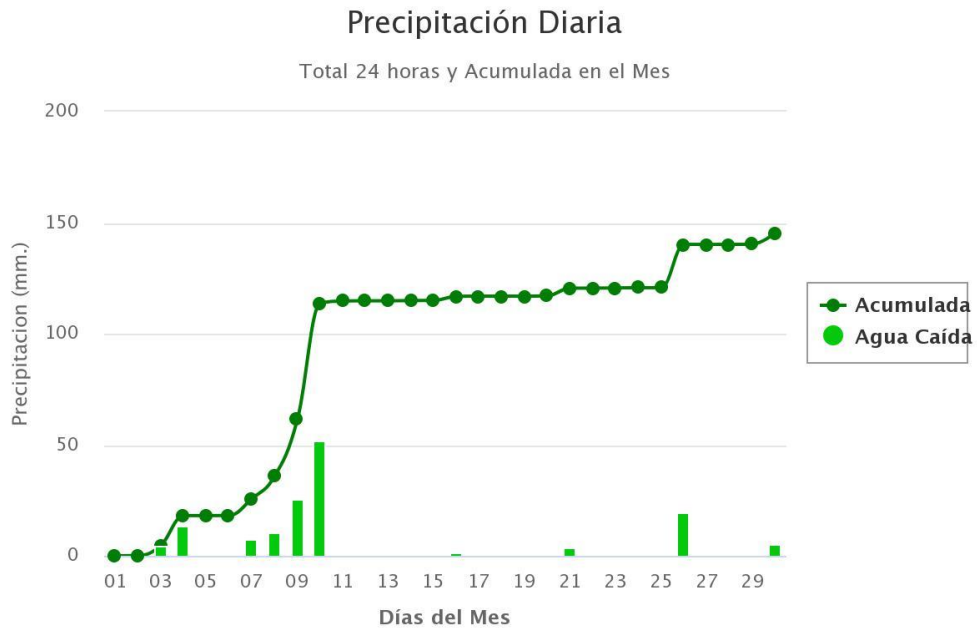


Figura 80: Precipitación acumulada para abril año 2018.

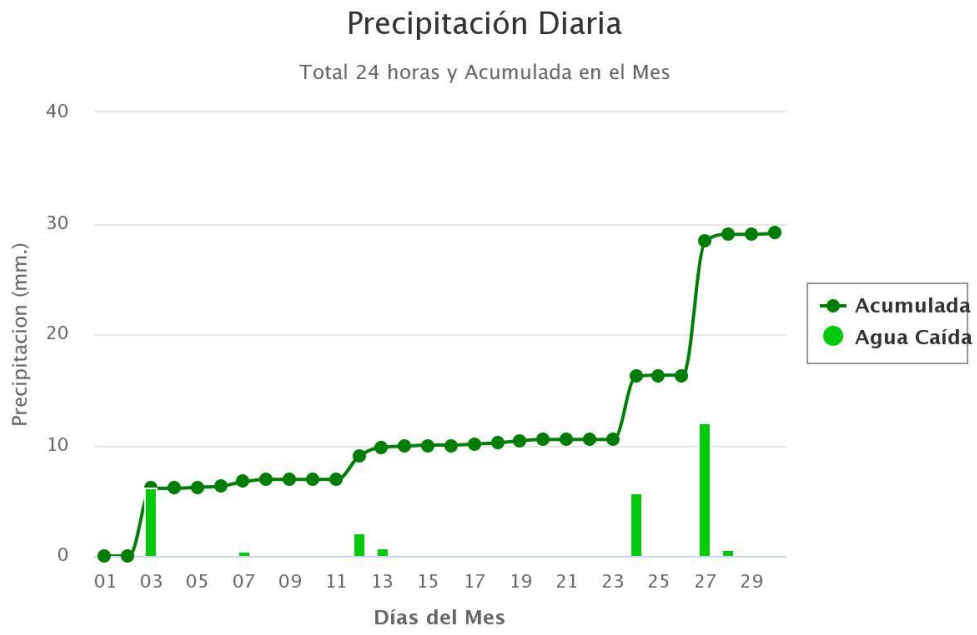


Figura 81: Precipitación acumulada para abril año 2019.

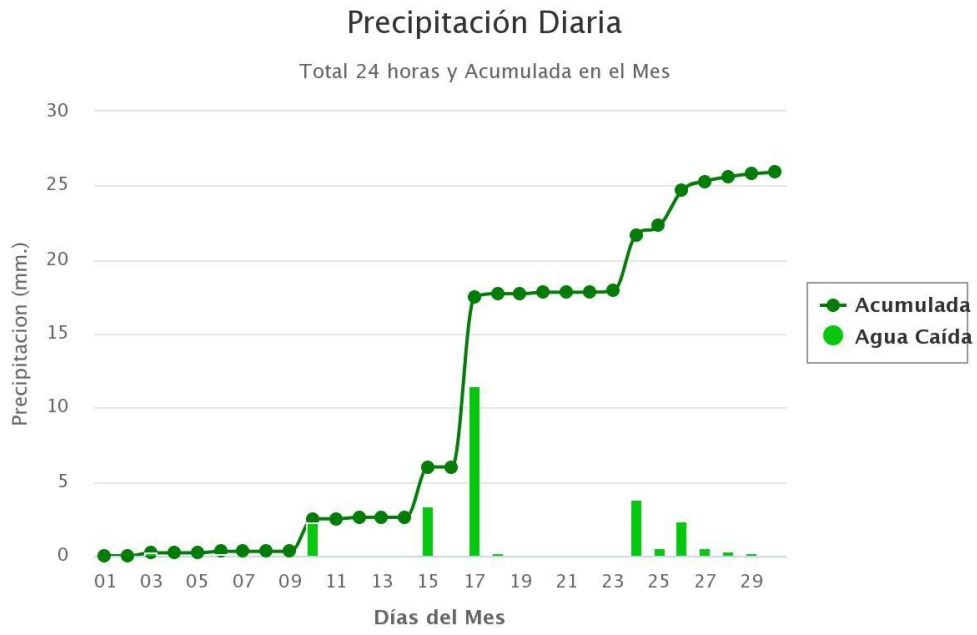


Figura 82: Precipitación acumulada para abril año 2020.

### Detalle por día de calidad del aire para MP2.5 y MP10 durante los años 2016 a 2020 entregado por el Ministerio del Medio Ambiente

Tabla 7: Condición de calidad del aire para MP 2.5.

Fecha	LE	PL	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE	PL	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE	PL	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE	PL	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE	PL	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION
	2016				2017				2018				2019				2020			
01-abr	13	31	31	BUENO	26	38	38	BUENO	10	19	19	BUENO	17	16	17	BUENO	11	27	27	BUENO
02-abr	23	36	36	BUENO	21	28	28	BUENO	16	23	23	BUENO	14	13	14	BUENO	11	18	18	BUENO
03-abr	29	39	39	BUENO	21	39	39	BUENO	15	22	22	BUENO	14	19	19	BUENO	9	12	12	BUENO
04-abr	28	38	38	BUENO	26	52	52	REGULAR	18	31	31	BUENO	16	25	25	BUENO	8	11	11	BUENO
05-abr	36	52	52	REGULAR	18	33	33	BUENO	29	45	45	BUENO	25	42	42	BUENO	17	29	29	BUENO
06-abr	42	51	51	REGULAR	27	37	37	BUENO	38	73	73	REGULAR	20	29	29	BUENO	21	36	36	BUENO
07-abr	23	41	41	BUENO	27	40	40	BUENO	52	79	79	REGULAR	27	39	39	BUENO	17	27	27	BUENO
08-abr	36	61	61	REGULAR	41	49	49	BUENO	58	73	73	REGULAR	17	29	29	BUENO	28	41	41	BUENO
09-abr	42	71	71	REGULAR	63	86	86	ALERTA	48	60	60	REGULAR	17	16	17	BUENO	24	35	35	BUENO
10-abr	38	57	57	REGULAR	36	55	55	REGULAR	15	27	27	BUENO	13	12	13	BUENO	26	36	36	BUENO
11-abr	34	47	47	BUENO	13	17	17	BUENO	47	64	64	REGULAR	16	18	18	BUENO	17	23	23	BUENO
12-abr	35	52	52	REGULAR	21	26	26	BUENO	55	78	78	REGULAR	19	24	24	BUENO	30	49	49	BUENO
13-abr	35	49	49	BUENO	32	69	69	REGULAR	36	69	69	REGULAR	13	22	22	BUENO	48	57	57	REGULAR
14-abr	17	27	27	BUENO	60	79	79	REGULAR	59	104	104	ALERTA	37	67	67	REGULAR	64	85	85	ALERTA
15-abr	6	22	22	BUENO	63	73	73	REGULAR	69	105	105	ALERTA	51	94	94	ALERTA	76	90	90	ALERTA
16-abr	16	25	25	BUENO	25	34	34	BUENO	46	92	92	ALERTA	32	69	69	REGULAR	78	88	88	ALERTA
17-abr	33	50	50	BUENO	20	24	24	BUENO	61	114	114	PRE-EMERGENCIA	30	59	59	REGULAR	47	58	58	REGULAR

18-abr	83	12 2	<b>122</b>	PRE-EMERGENCIA	18	31	<b>31</b>	BUENO	64	85	<b>85</b>	ALERTA	23	24	<b>24</b>	BUENO	23	26	<b>26</b>	BUENO
19-abr	80	11 4	<b>114</b>	PRE-EMERGENCIA	22	36	<b>36</b>	BUENO	62	80	<b>80</b>	ALERTA	28	0	<b>28</b>	BUENO	19	30	<b>30</b>	BUENO
20-abr	22	40	<b>40</b>	BUENO	17	29	<b>29</b>	BUENO	43	50	<b>50</b>	BUENO	52	69	<b>69</b>	REGULAR	35	42	<b>42</b>	BUENO
21-abr	62	88	<b>88</b>	ALERTA	30	43	<b>43</b>	BUENO	22	46	<b>46</b>	BUENO	56	58	<b>58</b>	REGULAR	44	89	<b>89</b>	ALERTA
22-abr	65	90	<b>90</b>	ALERTA	43	55	<b>55</b>	REGULAR	37	68	<b>68</b>	REGULAR	35	37	<b>37</b>	BUENO	71	10 9	<b>109</b>	ALERTA
23-abr	23	33	<b>33</b>	BUENO	59	79	<b>79</b>	REGULAR	83	13 3	<b>133</b>	PRE-EMERGENCIA	31	55	<b>55</b>	REGULAR	81	10 7	<b>107</b>	ALERTA
24-abr	53	99	<b>99</b>	ALERTA	43	65	<b>65</b>	REGULAR	70	10 8	<b>108</b>	ALERTA	81	11 7	<b>117</b>	PRE-EMERGENCIA	38	38	<b>38</b>	BUENO
25-abr	91	13 1	<b>131</b>	PRE-EMERGENCIA	33	48	<b>48</b>	BUENO	54	86	<b>86</b>	ALERTA	83	10 3	<b>103</b>	ALERTA	8	11	<b>11</b>	BUENO
26-abr	73	10 2	<b>109</b>	ALERTA	27	37	<b>37</b>	BUENO	44	66	<b>66</b>	REGULAR	64	74	<b>74</b>	REGULAR	14	24	<b>24</b>	BUENO
27-abr	74	12 5	<b>142</b>	PRE-EMERGENCIA	28	33	<b>33</b>	BUENO	49	84	<b>84</b>	ALERTA	47	66	<b>66</b>	REGULAR	13	20	<b>20</b>	BUENO
28-abr	10 4	13 5	<b>135</b>	PRE-EMERGENCIA	16	30	<b>30</b>	BUENO	74	12 3	<b>123</b>	PRE-EMERGENCIA	41	54	<b>54</b>	REGULAR	49	80	<b>80</b>	ALERTA
29-abr	14 8	17 2	<b>172</b>	EMERGENCIA	45	65	<b>65</b>	REGULAR	10 0	17 8	<b>178</b>	EMERGENCIA	24	41	<b>41</b>	BUENO	68	10 7	<b>107</b>	ALERTA
30-abr	10 0	13 9	<b>139</b>	PRE-EMERGENCIA	80	10 6	<b>106</b>	ALERTA	20 6	21 7	<b>217</b>	EMERGENCIA	41	74	<b>74</b>	REGULAR	62	10 4	<b>104</b>	ALERTA

Tabla 8: Condición de calidad del aire para MP 10.

Fecha	LE T	PL C	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE T	PL C	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE T	PL C	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE T	PL C	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION	LE T	PL C	PEOR CONDICION	PEOR CONDICION
	2016				2017				2018				2019				2020			
01-abr	27	47	47	BUENO	47	52	52	BUENO	23	30	30	BUENO	26	29	29	BUENO	21	33	33	BUENO
02-abr	33	52	52	BUENO	37	43	43	BUENO	37	43	43	BUENO	31	31	39	BUENO	23	27	27	BUENO
03-abr	41	49	49	BUENO	36	51	51	BUENO	34	40	40	BUENO	35	42	42	BUENO	22	24	24	BUENO
04-abr	43	53	53	BUENO	43	66	66	BUENO	33	44	44	BUENO	28	37	37	BUENO	17	19	19	BUENO
05-abr	54	67	67	BUENO	34	46	46	BUENO	47	57	57	BUENO	34	54	54	BUENO	23	33	33	BUENO
06-abr	63	73	73	BUENO	35	49	49	BUENO	53	84	84	BUENO	28	40	40	BUENO	28	41	41	BUENO
07-abr	39	55	55	BUENO	35	51	51	BUENO	69	88	88	BUENO	34	48	48	BUENO	31	39	39	BUENO
08-abr	48	70	70	BUENO	51	56	56	BUENO	69	84	84	BUENO	24	36	36	BUENO	49	60	60	BUENO
09-abr	57	81	81	BUENO	73	91	91	BUENO	54	63	63	BUENO	27	29	29	BUENO	45	52	52	BUENO
10-abr	53	66	66	BUENO	47	62	62	BUENO	22	31	31	BUENO	21	24	24	BUENO	39	48	48	BUENO
11-abr	63	66	66	BUENO	27	30	30	BUENO	49	68	68	BUENO	28	30	30	BUENO	21	27	27	BUENO
12-abr	67	78	78	BUENO	41	45	45	BUENO	61	83	83	BUENO	32	40	40	BUENO	35	51	51	BUENO
13-abr	65	75	75	BUENO	52	90	90	BUENO	47	77	77	BUENO	24	37	37	BUENO	55	63	63	BUENO
14-abr	41	52	52	BUENO	80	97	97	BUENO	70	110	110	BUENO	45	72	72	BUENO	76	93	93	BUENO
15-abr	15	28	28	BUENO	82	89	89	BUENO	80	112	112	BUENO	70	98	98	BUENO	92	108	108	BUENO
16-abr	27	29	29	BUENO	42	50	50	BUENO	53	97	97	BUENO	61	76	76	BUENO	95	103	103	BUENO
17-abr	42	56	56	BUENO	41	51	51	BUENO	67	115	115	BUENO	57	65	65	BUENO	61	75	75	BUENO

18-abr	10 1	13 5	135	BUENO	44	59	59	BUENO	73	88	88	BUENO	31	38	38	BUENO	34	37	37	BUENO
19-abr	98	12 8	128	BUENO	50	62	62	BUENO	73	86	86	BUENO	35	48	48	BUENO	23	35	35	BUENO
20-abr	35	48	48	BUENO	25	39	39	BUENO	58	60	60	BUENO	57	71	71	BUENO	39	46	46	BUENO
21-abr	77	10 3	103	BUENO	45	57	57	BUENO	40	55	55	BUENO	60	65	65	BUENO	47	93	93	BUENO
22-abr	82	10 6	106	BUENO	56	68	68	BUENO	40	69	69	BUENO	41	43	43	BUENO	79	11 9	119	BUENO
23-abr	32	36	36	BUENO	73	93	93	BUENO	86	13 4	134	BUENO	47	69	69	BUENO	90	11 7	117	BUENO
24-abr	62	10 8	108	BUENO	56	78	78	BUENO	76	11 2	112	BUENO	10 2	13 2	132	BUENO	44	48	48	BUENO
25-abr	10 5	14 3	143	BUENO	42	55	55	BUENO	62	90	90	BUENO	99	11 7	117	BUENO	12	17	17	BUENO
26-abr	93	11 4	121	BUENO	41	51	51	BUENO	58	78	78	BUENO	76	80	80	BUENO	16	28	28	BUENO
27-abr	10 5	15 2	152	REGUL AR	42	47	47	BUENO	57	90	90	BUENO	54	77	77	BUENO	15	24	24	BUENO
28-abr	13 9	16 7	167	REGUL AR	27	43	43	BUENO	80	12 8	128	BUENO	50	62	62	BUENO	51	83	83	BUENO
29-abr	18 2	20 0	200	ALERTA	51	80	80	BUENO	10 4	18 0	180	REGUL AR	32	47	47	BUENO	70	11 0	110	BUENO
30-abr	12 4	15 8	158	REGUL AR	83	11 7	117	BUENO	20 2	21 7	217	ALERTA	65	82	82	BUENO	67	11 0	110	BUENO

### Detalle temperatura media diaria

Tabla 9: Valores utilizados para realizar el gráfico diario de temperaturas medias para el mes de abril en los años 2016 a 2020.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	11,50	12,48	14,10	11,20	0,63	1,96	13,72	11,23	No	No
2	13,80	13,35	16,60	10,80	1,20	1,96	15,71	10,99	No	No
3	13,10	12,30	14,80	9,50	1,10	1,96	14,46	10,14	No	No
4	14,30	12,43	15,80	10,80	1,16	1,96	14,70	10,15	No	No
5	9,80	11,13	14,70	9,60	1,20	1,96	13,48	8,77	No	No
6	10,00	10,08	11,90	6,60	1,19	1,96	12,41	7,74	No	No
7	10,60	11,10	12,90	8,70	1,04	1,96	13,15	9,05	No	No
8	14,20	10,65	13,00	8,10	1,05	1,96	12,70	8,60	Sí	No
9	14,20	11,48	14,60	7,30	1,64	1,96	14,69	8,26	No	No
10	11,20	13,68	15,00	12,40	0,66	1,96	14,96	12,39	No	Sí
11	13,30	13,00	15,10	10,30	1,02	1,96	15,01	10,99	No	No
12	7,10	11,43	14,00	7,50	1,41	1,96	14,19	8,66	No	Sí
13	8,60	11,78	13,60	8,00	1,29	1,96	14,31	9,24	No	Sí
14	9,00	12,33	15,00	10,10	1,02	1,96	14,33	10,32	No	Sí
15	13,50	12,70	15,80	8,10	1,71	1,96	16,05	9,35	No	No
16	15,50	12,58	16,40	8,60	1,63	1,96	15,77	9,38	No	No
17	17,60	11,63	15,50	7,80	1,90	1,96	15,34	7,91	Sí	No
18	17,90	10,90	14,80	6,70	1,96	1,96	14,73	7,07	Sí	No
19	13,80	12,20	14,40	8,80	1,25	1,96	14,65	9,75	No	No
20	11,10	12,90	15,90	8,70	1,51	1,96	15,86	9,94	No	No
21	9,60	11,43	15,50	8,40	1,50	1,96	14,37	8,48	No	No
22	11,90	10,88	13,30	9,60	0,83	1,96	12,51	9,24	No	No
23	13,30	9,55	11,20	6,80	0,97	1,96	11,46	7,64	Sí	No
24	15,50	8,03	9,10	6,20	0,64	1,96	9,27	6,78	Sí	No
25	15,40	9,58	11,40	7,70	0,78	1,96	11,11	8,04	Sí	No
26	12,40	11,13	12,40	9,60	0,67	1,96	12,44	9,81	No	No
27	14,80	10,93	13,10	9,00	1,06	1,96	13,01	8,84	Sí	No
28	13,10	11,63	14,90	6,80	1,81	1,96	15,16	8,09	No	No
29	9,20	10,83	12,90	8,10	1,01	1,96	12,80	8,85	No	No
30	12,00	9,13	11,90	7,30	1,10	1,96	11,29	6,96	Sí	No

### Detalle precipitación diaria

Tabla 10: Valores utilizados para realizar el gráfico diario de precipitaciones para el mes de abril en los años 2016 a 2020.

Día	2020	Histórico	Max	Min	Desv. Est.	Z	Superior	Inferior	Mayor que LS	Menor que LI
1	0,00	0,53	2,00	0,00	0,49	1,96	1,49	0,00	No	No
2	0,00	0,80	3,10	0,00	0,77	1,96	2,30	0,00	No	No
3	0,20	2,80	6,10	0,10	1,53	1,96	5,80	0,00	No	No
4	0,00	5,35	13,30	0,00	3,27	1,96	11,75	0,00	No	No
5	0,00	0,13	0,30	0,00	0,06	1,96	0,25	0,00	No	Sí
6	0,10	7,15	24,50	0,10	5,85	1,96	18,62	0,00	No	No
7	0,00	7,48	22,00	0,00	5,14	1,96	17,55	0,00	No	No
8	0,00	2,68	10,20	0,10	2,51	1,96	7,59	0,00	No	No
9	0,00	6,43	25,60	0,00	6,39	1,96	18,95	0,00	No	No
10	2,20	13,03	52,10	0,00	13,03	1,96	38,55	0,00	No	No
11	0,00	0,28	1,10	0,00	0,28	1,96	0,81	0,00	No	No
12	0,10	0,55	2,10	0,00	0,52	1,96	1,56	0,00	No	No
13	0,00	0,23	0,80	0,00	0,19	1,96	0,60	0,00	No	No
14	0,00	1,28	4,80	0,10	1,18	1,96	3,58	0,00	No	No
15	3,40	1,48	5,70	0,00	1,41	1,96	4,24	0,00	No	No
16	0,00	0,45	1,80	0,00	0,45	1,96	1,33	0,00	No	No
17	11,50	0,08	0,10	0,00	0,03	1,96	0,12	0,03	Sí	No
18	0,20	0,25	0,80	0,00	0,18	1,96	0,61	0,00	No	No
19	0,00	6,93	25,20	0,00	6,11	1,96	18,91	0,00	No	No
20	0,10	2,78	6,50	0,10	1,58	1,96	5,87	0,00	No	No
21	0,00	1,48	3,40	0,00	0,83	1,96	3,09	0,00	No	No
22	0,00	2,65	10,60	0,00	2,65	1,96	7,84	0,00	No	No
23	0,10	0,68	2,50	0,00	0,61	1,96	1,87	0,00	No	No
24	3,80	3,23	7,10	0,00	1,86	1,96	6,86	0,00	No	No
25	0,60	0,08	0,10	0,00	0,03	1,96	0,12	0,03	Sí	No
26	2,40	5,10	19,50	0,00	4,80	1,96	14,52	0,00	No	No
27	0,60	3,88	12,10	0,00	2,86	1,96	9,47	0,00	No	No
28	0,30	0,23	0,60	0,00	0,14	1,96	0,51	0,00	No	No
29	0,20	0,15	0,30	0,00	0,06	1,96	0,28	0,02	No	No
30	0,10	1,28	5,00	0,00	1,24	1,96	3,71	0,00	No	No

## Información y ubicación de estación climatológica utilizada

Tabla 11: Información sobre estación climatológica.

Maquehue, Temuco Ad.	
Código Nacional	380013
Propietario	Dirección Meteorológica de Chile
Tipo Estación	Climatológica
Altitud	86.0 Mts.

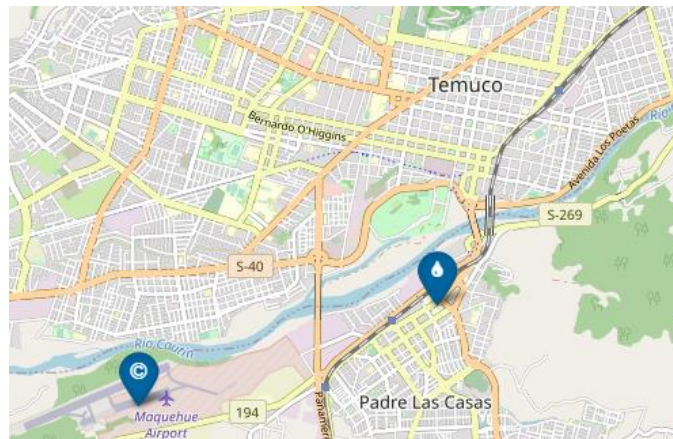


Figura 83: Ubicación de estación climatológica.