

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA

**"ANÁLISIS DE DATOS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN LAS
COMUNAS DE HUALPÉN Y TALCAHUANO"**

Trabajo de titulación para optar al título
de Técnico Universitario en
CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE

Alumno:
María Constanza Ortega Peña

Profesor Guía:
Gloria de Lourdes Barría Espinoza

2018

RESUMEN

El área urbana de Hualpén-Talcahuano es parte de Concepción Metropolitano que se caracteriza por una intensa actividad industrial que contribuye a través de sus procesos y uso de combustibles a la contaminación por Material particulado. Han debido ser declaradas ambientalmente saturadas debido a que sus medios naturales ya no son capaces de reciclar o disipar las enormes cantidades de desechos domésticos, vehiculares e industriales que emiten a la atmósfera.

Al analizar los datos de 5 estaciones de monitoreo ubicadas en la intercomuna de Hualpén-Talcahuano se observa que para promedios diarios de MP10, no se supera la norma de 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque presenta alzas en los meses de invierno. Para MP2,5, superando la norma diaria en varios puntos en todos los años evaluados; incluso superándolo en el año 2016, con un promedio anual de 23,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La contaminación del aire en Hualpén-Talcahuano por material particulado se concentra principalmente en los meses de otoño e invierno, registrando altos promedios diarios, que en más de algún caso sobrepasan la norma diaria establecida, lo que puede resultar perjudicial para la salud de las personas y de los ecosistemas. Al evaluar las estaciones de monitoreo por separado, considerando la ubicación de cada una, se refleja el efecto directo que tienen las emisiones de fuentes residencial por combustión de leña para calefacción y las fuentes industriales, sobre la contaminación del aire por material particulado.

Al analizar los valores de dirección del viento se obtiene una dominancia en dirección Sur-Oeste con un 43,9%, dirección predominante en los meses primavera-verano. Al tener claridad de la dirección del viento, se puede apreciar que las concentraciones de emisiones de MP10 y MP2,5 aumentan al haber vientos en dirección Sur-Este con un 10,3%. Esto debido a que esto es proveniente del humo de calefacción del áreas residencial, reduciendo el impacto de las fuentes industriales, así como también se suman las emisiones proveniente de otras comunas, ya que dependiendo del tamaño de las partículas están pueden volar desde centenas a miles de kilómetros. Al analizar alguna condiciones como viento y temperatura, se aprecia la relación existente con las concentraciones de emisiones de material particulado.

Por todas estas condiciones, se hace necesario un plan de descontaminación atmosférico, medidas de control de emisiones orientadas a disminuir la carga de contaminantes en las zonas de interés, en especial cuando se observe un aumento sostenido de concentraciones de contaminantes. Es fundamental, bajar los niveles de material particulado, tratar de crear políticas públicas para reducir los efectos en salud.

KEYWORDS: Atmospheric Pollution, Emissions, Particulate Matter.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL 3

OBJETIVO ESPECÍFICO 3

ALCANCE 3

1. CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES..... 2

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO. 5

1.2 ANTECEDENTES GENERALES DE LA COMUNA DE HUALPÉN..... 7

1.3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL MATERIAL PARTICULADO. 9

1.4 FUENTES DE EMISION MATERIAL PARTICULADO 11

1.5 ESTACIONES DE MONITOREO..... 13

1.5.1 REDES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A NIVEL MUNDIAL... 15

2. CAPÍTULO 2: MARCO REGULADOR 5

2.1 MARCO REGULATORIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS EN CHILE. 18

2.1.1 NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL PARTICULADO
RESPIRABLE MP10, EN ESPECIAL DE LOS VALORES QUE DEFINEN
SITUACIONES DE EMERGENCIA..... 20

2.1.2 NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL
PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP2,5 21

2.2 RECOMENDACIONES DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEGÚN LA
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 24

2.2.1 EXPOSICIONES PROLONGADAS. 25

2.2.2 EXPOSICIONES DE CORTA DURACIÓN 25

3. CAPÍTULO 3: ANALISIS DE DATOS..... 19

3.1 ANALISIS DE DATOS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO MP10 Y MP2,5
, DE LOS AÑOS 2015, 2016, 2017 Y PARTE DEL 2018. 28

3.2. COMPARACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO CON LAS CONDICIONES
CLIMATICAS PRESENTES EN LAS COMUNAS DE HUALPÉN Y TALCAHUANO, DE LOS
AÑOS 2016, 2017 Y PARTE DEL 2018..... 34

CONLUSIONES 37

BIBLIOGRAFIA 39

ANEXOS. 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Estaciones de monitoreo utilizadas.	14
Tabla 2-1: Niveles de situación de emergencia para MP10.	21
Tabla 4: Porcentaje de viento predominante por dirección.	40
Tabla 5: Promedio de temperaturas mensuales, en relación a los promedios de material particulado.	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Ubicación de Talcahuano dentro de la Región del Biobío.	5
Ilustración 1-2: Macrosectores de la comuna de Talcahuano	6
Ilustración 1-3: Comuna de Hualpén	8
Ilustración 1-4: Fuentes de emisión de material particulado de la intercomuna.	12
Ilustración 1-5: Estaciones de Monitoreo de contaminación atmosférica.	14
Ilustración 1-6: Ubicación de las estaciones de monitoreo en las comunas de Talcahuano y Hualpén.	15

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 3-1: Promedio diario de estaciones de monitoreo de MP10 en los años 2015,2016,2017 y 2018.	28
Figura 3-2: Promedio diario de estaciones de monitoreo, de MP 2,5 en los años 2015, 2016, 2017 y 2018.	29
Figura 3-3: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 1 (Bocatoma), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	29
Figura 3-4: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 1 (Bocatoma), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	30
Figura 3-5: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 2 (INDURA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	30
Figura 3-6: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 2 (INDURA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	30
Figura 3-7: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 3 (INPESCA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	31
Figura 3-8: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 3 (INPESCA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	31
Figura 3-9: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 4 (JUNJI), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	32
Figura 10:Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 4 (JUNJI), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	32
Figura 3-11: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 5 (PRICE), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	33
Figura 3-12: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 5 (PRICE), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.	33
Figura 3-13: Relación de concentración diaria de material particulado MP10 y concentración diaria de material particulado MP2,5.	34
Figura 3-14: Relación de la concentración de MP10 y la dirección del viento.	34
Figura 3-15: Relación de la concentración de MP2,5 y la dirección del viento.	35
Figura 3-16: Relación de concentración MP10 y temperatura media del día.	36
Figura 3-17: Relación de concentración MP2,5 y temperatura media del día.	36

SIGLAS

EMRP	:Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional.
EPA	:Enviromental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental, de Estados Unidos)
GCA	:Guía de calidad del Aire.
ICAP	:Índice de calidad de aire referido a partículas.
MP	:Material Particulado
MMA	:Ministerio del Medio Ambiente
MPA	:Material Particulado Atmosférico.
OMS	:Organización Mundial de la Salud.
SEREMI	:Secretaría Regional Ministerial de Chile.

SIMBOLOGÍA

µg/m3	: Microgramos por metro cúbico.
Mg	: Milígramos
Lt	: Litros
H	: Horas

INTRODUCCIÓN

Las acciones humanas afectan de manera visible a múltiples ecosistemas, configurando lo que denominamos en conjunto "problemática ambiental". El problema ambiental de la contaminación atmosférica es uno de los más relevantes, tanto por su magnitud como por la percepción de la comunidad y se manifiesta especialmente en asentamientos de tipo urbano, industrial y minero.

Se llama contaminación atmosférica a 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." (Definición del MMA)

Al contrario que otros contaminantes, el material particulado atmosférico (MPA) es emitido por una gran variedad de fuentes, en función de las cuales varían sus propiedades físicas (tamaño, superficie específica, densidad o número) y su composición química. Tanto las partículas de origen natural como las de origen antropogénico pueden ser clasificadas, en función de su mecanismo de formación, como partículas primarias o secundarias. Se denominan primarias a las partículas que son vertidas directamente en la atmósfera desde la fuente de emisión. Las partículas secundarias se originan a partir de las emisiones de sus precursores gaseosos. Estas partículas en suspensión son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos. El material particulado está asociado con compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica o carcinogénica.

El material particulado posee una amplia gama de propiedades morfológicas, químicas, físicas y termodinámicas. Este es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas y las partículas arrastradas por el viento, como el aerosol marino. Dentro de las actividades antropogénicas se encuentran las emisiones de gases de escape vehicular, industrial y de calefacción.

Por lo general, las partículas finas y gruesas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos, aunque es probable que haya cierta superposición. Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en las partículas gruesas. Las partículas finas y gruesas normalmente se comportan de manera diferente en la atmósfera. El diámetro aerodinámico se define como el diámetro de una esfera de unidad de densidad uniforme, que lograría la misma velocidad terminal que las partículas de interés. Otros autores afirman que el diámetro de las partículas atmosféricas en suspensión, varía desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras (μm). Las partículas se definen por su punto de corte según su diámetro aerodinámico (como 2,5 o 10 μm).

Las altas concentraciones de PM10 que se han observado desde comienzos de los años ochenta, llevaron a la autoridad medioambiental, a comienzos de los noventa, a tratar de enfrentar este problema particular de una manera sistemática, en respuesta a la evidencia creciente de los posibles efectos adversos en la salud de las personas. De hecho, estudios epidemiológicos recientes, usando datos de Santiago, encontraron una fuerte correlación estadística positiva entre las concentraciones de PM10 y la mortalidad diaria.

"Los diversos contaminantes del aire, presentes en el material particulado respirable MP2,5, el que representa aproximadamente el 50% del MP10, causa diversos efectos adversos sobre la salud, que varían de acuerdo a cada uno de sus componentes." (Tchernitchin, A.;2011)

Las áreas metropolitanas del territorio nacional, como Santiago y Concepción-Metropolitano, han debido ser declaradas ambientalmente saturadas debido a que sus medios naturales ya no son capaces de reciclar o disipar las enormes cantidades de desechos domésticos, vehiculares e industriales que emiten a la atmósfera y que contaminan también el suelo y los cuerpos de agua. Lo grave es que este proceso de deterioro conduce a una pérdida de la calidad de vida de los habitantes de la mayoría de las ciudades, que se agudiza cada vez más. El área urbana del Concepción Metropolitano en Chile se caracteriza por una intensa actividad industrial que contribuye a través de sus procesos y uso de combustibles a la contaminación por Material particulado.

Un problema que surge en torno a la actividad industrial está asociado a los contaminantes que se liberan por la quema de combustibles, principalmente material particulado respirable (MP10) y material particulado fino (MP2,5). La participación de las emisiones generadas por las fuentes industriales de Concepción Metropolitano es de un 46%, el resto del aporte proviene principalmente de la combustión residencial a leña y en menor medida del tránsito vehicular (EULA,2014).

Dentro de las nueve comunas; Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualpén, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano y Tomé; algunas de ellas se caracterizan por tener zonas industriales, concentrando una gran cantidad de fuentes emisoras, mientras otras comunas son más bien residenciales. Es por esto que existe bastante diferencia en el total de emisiones de MP2,5 entre una comuna y otra.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de datos de las emisiones de material particulado respirable 10 y 2,5, producido en las comunas de Hualpén y Talcahuano.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar las fuentes de emisión del material particulado en las comunas de Hualpén y Talcahuano.
- Evaluar la emisión de material particulado en las comunas de Hualpén y Talcahuano, en relación a la normativa legal vigente.
- Analizar las variaciones de las emisiones de material particulado en los años 2015, 2016, 2017 y parte del 2018.
- Analizar como varían las emisiones de material particulado en relación a las condiciones climáticas de temperaturas y viento.

ALCANCE

El siguiente trabajo se encuentra orientado a la comunidad de las comunas de Hualpén y Talcahuano, para facilitar la toma de decisiones y medidas a seguir.

1. CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO.

Talcahuano (mapudungún Tralkawenu: «Cielo Tronador») es una ciudad y comuna de la llamada Zona Centro Sur de Chile, ubicada en el centro geográfico del país, perteneciente a la Provincia de Concepción en la Región del Biobío, la cual se constituyó como tal en 1764.

La comuna limita al sur con Hualpén; al sudeste con Concepción y Penco; al noreste, norte y oeste con el Océano Pacífico.

Ilustración 1-1: Ubicación de Talcahuano dentro de la Región del Biobío.



Fuente: Plan de desarrollo comunal, Municipalidad de Talcahuano.

En cuanto a sus características geográficas, la comuna de Talcahuano presenta un territorio conformado por 6 macrosectores (Los Cerros, Cerros Históricos y Tumbes, Centro, Higuera, Salinas y Medio Camino), los cuales constituyen 92,3 kilómetros cuadrados. En cuanto al número de habitantes su población total de acuerdo al censo 2002 es de 163.626, la proyección INE al 2012 es de 171.463 habitantes.

Ilustración 1-2: Macrosectores de la comuna de Talcahuano



Fuente: Municipalidad de Talcahuano.

Actualmente Talcahuano junto con otras diez comunas de la zona conforma el área metropolitana denominado Gran Concepción. Conurbación que supera los 700.000 habitantes, de los cuales, Talcahuano aporta alrededor del 25%. En la práctica, esto implica que, en su calidad de centro proveedor de servicios, sirve a las distintas comunas que componen la conurbación de la Provincia de Concepción. Conectándose con ella a través de un conjunto de ejes estructurantes. Entre los que destacan: la Avenida Cristóbal Colón, la Autopista Concepción- Talcahuano, la Avenida Las Golondrinas y la Avenida Gran Bretaña. La importancia que reviste Talcahuano para el resto de las comunas, radica en los servicios logísticos y conectividad que presta las demás comunas que integran la conurbación, ya que cuenta con la presencia de tres puertos, terminal ferroviario, rodoviario y aéreo.

Es precisamente la conectividad que permiten estas vías, la que favorece que Talcahuano se constituya en nodo logístico de salida de la producción de exportación de la Macro Región Centro Sur del país. (Comprendiendo las regiones del Maule, Biobío y Araucanía fundamentalmente, y en menor grado, Los Lagos y Los Ríos).

Este rol de ciudad puerto, prestadora de servicios logísticos, define a Talcahuano en el contexto mayor de la conurbación. En efecto, cuenta con tres puertos (Huachipato, Talcahuano y San Vicente), complementando la conectividad de la región con un terminal aéreo (segundo más grande a nivel nacional), un terminal rodoviario y un terminal ferroviario. La Base Naval de la Armada de Chile se inserta en el contexto de las actividades de defensa nacional, pero también incluye la industria de astilleros, que prestan servicios a la Armada, la industria pesquera y las flotas mercantes.

Paralelamente, el Barrio Industrial de Talcahuano cobija a un importante conjunto de grandes plantas manufactureras y commodities. Relacionadas a la industria siderúrgica, la refinería de petróleo, petroquímica, cemento y gas. A las que se agregan un conjunto de empresas metalúrgicas y maestranzas, las que prestan servicios complementarios a la gran industria y también a las actividades logísticas y astilleros.

Geomorfológicamente, Talcahuano constituye un istmo de tierras bajas que une una meseta montañosa (península de Tumbes) con el continente. Se halla a una altitud de 1 m.s.n.m. en su sector céntrico, aunque hay otras áreas de la ciudad a distinta altura (como el Cerro David Fuentes -76 m.s.n.m.-, la meseta de Tumbes -entre 80 y 220 m.s.n.m. o el sector Las Higueras - entre 5 y 10 m.s.n.m.).

Emplazado frente al mar, presenta un relieve caracterizado por el fuerte contraste existente entre una extensa llanura y los bordes de la Cordillera de la Costa, entre los relieves formados por la propia Península de Tumbes y el conjunto de cerros-islas que configuran su topografía. Talcahuano desarrolla un enfoque territorial, en donde se desarrolla un espacio de socialización y construcción de acuerdos entre los diferentes actores, potenciando la participación ciudadana. Este enfoque apunta a “valorar el territorio como referente y espacio de proyección de las políticas de desarrollo regional”. La importancia de esto, es que permite introducir una perspectiva comunal territorial, lo cual permite introducir la premisa para el desarrollo tanto comunal como regional.

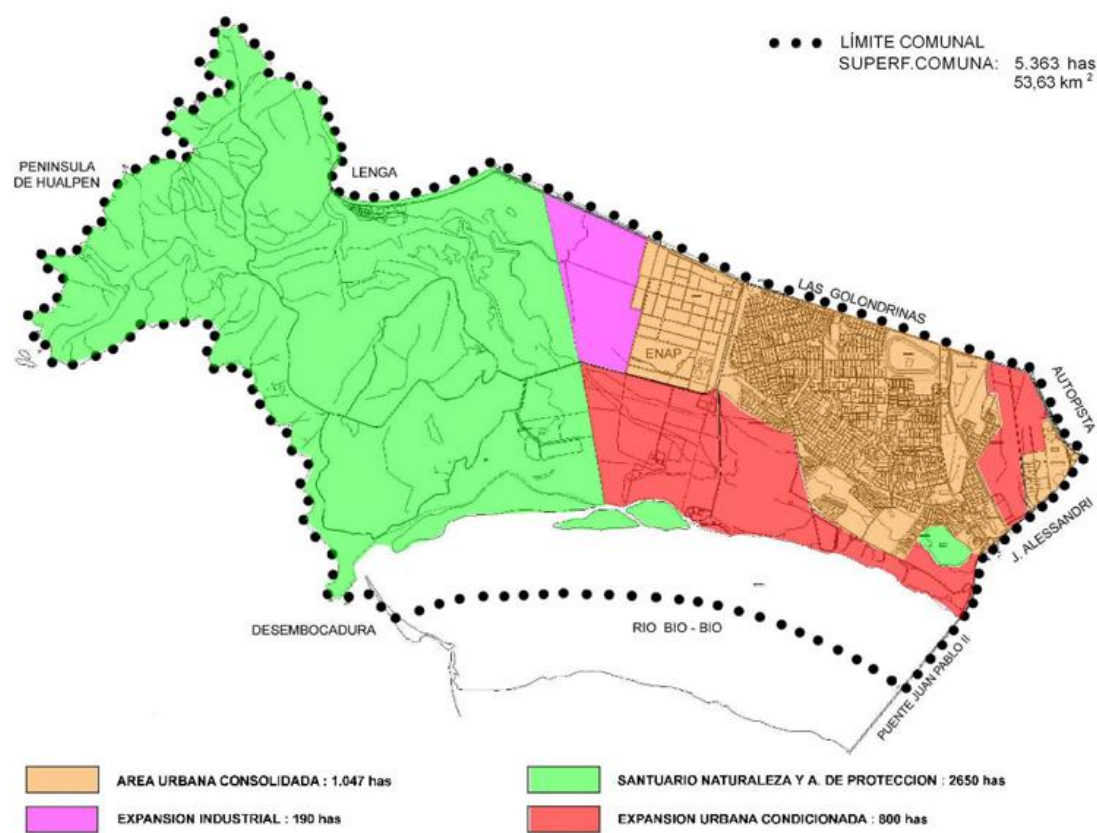
Como condición que asegure un desarrollo sostenible. Introducir una perspectiva comunal territorial constituye un parámetro para una equitativa distribución de oportunidades y beneficios de la acción colectiva, como premisa para el desarrollo tanto comunal como regional.

1.2 ANTECEDENTES GENERALES DE LA COMUNA DE HUALPÉN.

La ley n° 19.936, del año 2004, Ministerio del interior; subsecretaria del interior crea la comuna de Hualpén, en la región del Biobío.

La comuna de Hualpén, perteneciente a la provincia de Concepción, región del Biobío, cuenta con una superficie total de 53,6 km² , localizados entre los 36° 41' 22" de latitud sur correspondientes a, de este a oeste, la Avenida Pte. Jorge Alessandri, la Autopista Concepción-Talcahuano, la Av. Bernardo O'Higgins, el eje vial Las Golondrinas, Camino a Lenga, el amplio borde costero de la península, en donde se sitúan caletas y playas, como: Lenga, Ramuntcho, Chome, Perone y Rocoto, siguiéndole la Desembocadura y un tramo de la ribera del río Biobío.

Ilustración 1-3: Comuna de Hualpén



Fuente: Plan de desarrollo comunal Hualpén.

La diversidad de usos, características y recursos que presenta el territorio la posicionan como una de las comunas con gran potencial de desarrollo a nivel regional. Dentro de la circunscripción perteneciente a la comuna se encuentra el Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén, uno de los monumentos naturales de más alto valor de conservación; tanto a nivel provincial, nacional e incluso de atractivo en el extranjero.

Este, además de su variada y exclusiva vegetación, constituye un espacio crucial para el refugio y la reproducción de algunas especies; como es el caso de la anidación de aves migratorias provenientes de diferentes lugares del mundo, constituyéndose también como un lugar en donde se pueden desarrollar actividades vinculadas a la cultura, la recreación y el turismo sustentable.

La etimología del nombre de la comuna guarda relación con la lengua mapuche, según la cual quiere decir “mirar o ver alrededor”. Se aventura que este significado está asociado a la vista privilegiada que puede apreciarse desde sus dos cerros característicos ubicados en la zona de la desembocadura del río Biobío; las conocidas “Tetas del Biobío”.

Teniendo presente que la composición, tamaño y crecimiento de la población está determinada por los niveles y estructura de la fecundidad, mortalidad y las migraciones de sus habitantes, se pueden apreciar los factores de cambio y dinámicas demográficas de un (regional y nacional) a través de la derivación indirecta de las estadísticas correspondientes a la dinámica vital de la comuna de Hualpén.

La comuna de Hualpén ha tenido un crecimiento importante durante estos últimos años. Entre estos cambios en la dinámica de la población, podemos mencionar que en la actualidad la comuna posee una población estimada de 108.028 habitantes, según proyecciones del INE al año 2015, de ésta el 48 % de la población son hombres, mientras que un 52% corresponde a mujeres, existiendo una diferencia de 3468 mujeres más respecto al total de hombres. Este incremento es válido de considerar, si tenemos en cuenta que las cifras al año 2010 eran una diferencia de 730 mujeres por sobre el total de hombres.

1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MATERIAL PARTICULADO.

El material particulado (MP) es un contaminante de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño, y densidad), sino también por sus características químicas (contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, metales y contaminantes primarios y secundarios). Estas características son críticas para determinar el tipo y magnitud de los efectos sobre la salud humana.

Las partículas suspendidas presentes en la atmósfera tienen un rango de tamaño entre 0,001 y 50 μm . La fracción de aerosoles respirables con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μm (PM10), penetran a diferentes profundidades del sistema respiratorio. Las partículas más pequeñas son respirables en mayor porcentaje. Las partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 μm son 100% respirables (PM2,5). Las partículas más pequeñas de 0,5 μm pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en los alvéolos pulmonares.

Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la suspensión del polvo de los caminos y el viento, otras fuentes naturales son la evaporación de gotas de agua de mar y las de origen biológico como el polen y fracciones de bacterias, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre las ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de MP de cada lugar. En algunas zonas, la quema de leña y otros combustibles de biomasa puede ser una fuente importante de contaminación atmosférica por partículas, siendo la mayor parte de las procedentes de la combustión de tipo fino (MP 2,5).

El comportamiento de las partículas en la atmósfera está determinado por su tamaño, siendo las de menor tamaño afectadas por movimientos de tipo browniano y las de mayor tamaño por fuerzas gravitacionales e inerciales (Lazar et al., 1999).

Los tiempos de residencia de las partículas en la atmósfera, también dependen de su tamaño. Partículas de tamaño menor a $2,5\ \mu\text{m}$ pueden tener tiempos de residencia de días o incluso semanas y podrían ser transportadas miles de kilómetros. Partículas de tamaño mayor a $2,5\ \mu\text{m}$ tienen tiempos de residencia de minutos a horas y pueden ser transportadas hasta unos pocos centenares de kilómetros. En la fracción más fina ($< 2,5\ \mu\text{m}$), se encuentran los sulfatos y los nitratos los cuales presentan potencial de daño a la salud y causan una disminución en la visibilidad.

Adicionalmente, se encuentran compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, algunos con potencial cancerígeno y mutagénico. También es posible encontrar metales pesados como Pb, Cd, Ni, Cu, Mo y V, que tienen variados efectos sobre la salud humana. Estas partículas son esencialmente de origen antropogénico, asociado a procesos de combustión y a varios procesos productivos relacionados con la presencia de compuestos orgánicos y especies inorgánicas.

Respecto a los impactos y riesgos en la salud, se han identificado los siguientes efectos del $\text{MP}_{2,5}$: mortalidad y admisiones hospitalarias en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y con enfermedad cardiovascular, exacerbación de los síntomas e incremento del asma, aumento de riesgo de infartos al miocardio, inflamación pulmonar, inflamación sistémica, disfunciones endoteliales y vasculares, desarrollo de aterosclerosis, incremento en la incidencia de infecciones y cáncer respiratorio.

La OMS basa sus valores guías de $\text{MP}_{2,5}$, en estudios epidemiológicos de cohorte de Estados Unidos que dan como resultado aumentos de riesgo de mortalidad de 6% por cada $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramo por metro cúbico) de $\text{MP}_{2,5}$ para concentraciones anuales y de 1% de aumento de riesgo de muerte por cada $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ para concentraciones diarias.

Además de los efectos en salud, el material particulado fino puede presentar efectos adicionales tales como efectos a la visibilidad, debido a sus propiedades de absorción y refracción de luz, efectos sobre la vegetación y sobre los materiales.

En el caso particular del Concepción Metropolitano, este presenta las mayores concentraciones de material particulado durante la estación fría, atribuyéndose este efecto principalmente a la quema de leña para calefacción realizada por las fuentes residenciales. Y en cuanto a su composición, el material particulado, tanto en su fracción fina ($\text{MP}_{2,5}$) como gruesa (MP_{10}), está compuesto principalmente por material orgánico, el que proviene en su mayoría de la quema de leña y procesos de combustión.

1.4 FUENTES DE EMISION MATERIAL PARTICULADO

La contaminación del aire incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos. El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras. Entre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos grandes tipos: las fuentes fijas y las móviles, las cuales se describen a continuación.

Existen tres tipos de fuentes fijas generadoras de emisiones:

Fuentes puntuales: Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas (SO_2 , NO_x , CO_2 , CO e hidrocarburos).

Fuentes de área: Incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, principalmente. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son: el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud.

Fuentes naturales: Se refiere a la generación de emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales. En particular a todo aquello emitido por la vegetación y la actividad microbiana en suelos y océanos, que se les denomina emisiones biogénicas, cuyo papel es importante en la química de la troposfera al participar directamente en la formación de ozono. Las emisiones biogénicas incluyen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados (Velasco 2001).

Fuentes móviles: Incluyen los diversos tipos de vehículos de motor utilizados en el transporte.

Ejemplos de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Si bien la definición de fuente móvil incluye prácticamente a todos los vehículos automotores, la NOM para fuentes fijas se refiere básicamente a las emisiones de automóviles y camiones. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO₂ , y NOx, producidos durante la combustión.

En la intercomuna Hualpén-Talcahuano, tiene amplias zonas habitacionales, al igual que una marcada la zona industrial, con grandes empresas como ENAP (Empresa Nacional del Petróleo), Cementos Biobío, CAP (Compañía de acero del pacifico), Sociedad Pesquera Landes, etc.; cuenta con varias vías de conectividad, con alto trafico de vehículos particulares, locomoción colectiva y camiones, además cuenta con el puerto de Talcahuano y el puerto de San Vicente, con alto trafico de embarcaciones, de distintos tamaños.

Ilustración 1-4: Fuentes de emisión de material particulado de la intercomuna.



Fuente: Elaboración Propia.

Al evaluar los aportes de cada fuente de emisión se obtiene que 47% proviene de Combustión de Biomasa residencial, el 46% de fuentes fijas industriales, el 5% de fuentes de área, y el 2% de fuentes móviles. (EULA, 2014)

1.5 ESTACIONES DE MONITOREO.

Dado que el aire que nos rodea debe cumplir una serie de características determinadas por la legislación en vigencia, es preciso establecer programas de vigilancia de calidad del aire para asegurarse de su cumplimiento, caso de que se aprecien desviaciones, detectarlas, y diseñar las medidas a tomar y determinar los planes de actuación precisos para lograr la adecuación del aire que respiramos a las condiciones establecidas. (Orozco, C. et al, 2011)

Una Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica es un conjunto de estaciones de Control de la Calidad del Aire que sirven para observar el estado de la Calidad del Aire en una zona definida.

En Santiago, las primeras mediciones de calidad de aire datan desde el año 1964, sistematizándose posteriormente cuando en 1976 se instala una "red de Vigilancia de Calidad del Aire" y en 1988 comienza a funcionar una red automática (red MACAM). En regiones en cambio, las redes más antiguas están asociadas a las fundiciones y refinerías de cobre, iniciándose las mediciones en el año 1976 con el funcionamiento la red de la fundición Chagres en el valle de Catemu (V Región), en 1986 la red de Chuquicamata, en 1992 las redes de las fundiciones Paipote, Ventanas y Caletones y en 1993 la red de la fundición Potrerillos.

Desde la entrada en vigencia del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental ha ido en aumento el número de estaciones para seguimiento y control de las emisiones de los proyectos públicos y privados. Por otro lado, la medición pública de la calidad del aire, de forma sistemática en regiones, se inicia en el año 2004 con el Sistema de Vigilancia de la calidad del aire (SIVICA) de MINSAL; con estaciones en Viña del Mar, Temuco y Rancagua.

En 2008 la red SIVICA aumenta hasta 14 estaciones sumando Andacollo, Los Andes, Rengo, San Fernando, Chillán, Concepción, Talcahuano, Padre Las Casas, Osorno, Valdivia y Coyhaique.

En 2012 la red SIVICA es traspasada al Ministerio de Medio Ambiente incluyendo nuevas estaciones en: Arica, Antofagasta, Huasco, Copiapó, Coquimbo, La Serena, Cuncumén, Quilpué, Valparaíso, Curicó, Linares, Talca, Maule, Los Ángeles, Coronel, Chiguayante, Puerto Montt, Chaitén y Punta Arenas.

Para efectos del monitoreo de MP10, los métodos de medición establecidos en la norma primaria serán:

- Método gravimétrico de muestreador de alto volumen equipado con cabezal PM-10;
- Método gravimétrico de muestreador de bajo volumen equipado con cabezal PM-10;
- Método por transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. Microbalanza de oscilación de sensor voladizo con cabezal PM-10;

- Métodos basados en el principio de atenuación beta.

Ilustración 1-5: Estaciones de Monitoreo de contaminación atmosférica.



Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire.

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de MP10 y MP2,5 se presenta como promedios móviles de 24 horas, basado en el monitoreo continuo de este contaminante. La información mostrada permite identificar los eventos asociados a situaciones de emergencia ambiental para las últimas 24 horas a partir del momento de consulta. La información es actualizada cada 1 hora y los registros pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente. El cálculo del promedio móvil de 24 horas están limitado a un mínimo de datos disponible del 75% (es decir un mínimo de 18 promedios horarios), por lo tanto, de haber menos del 75% de datos, no se calculará el promedio móvil.

Para efectos de definir los lugares de emplazamiento de las estaciones de monitoreo, deberán considerarse los siguientes factores, en el orden de importancia que enseguida se indica:

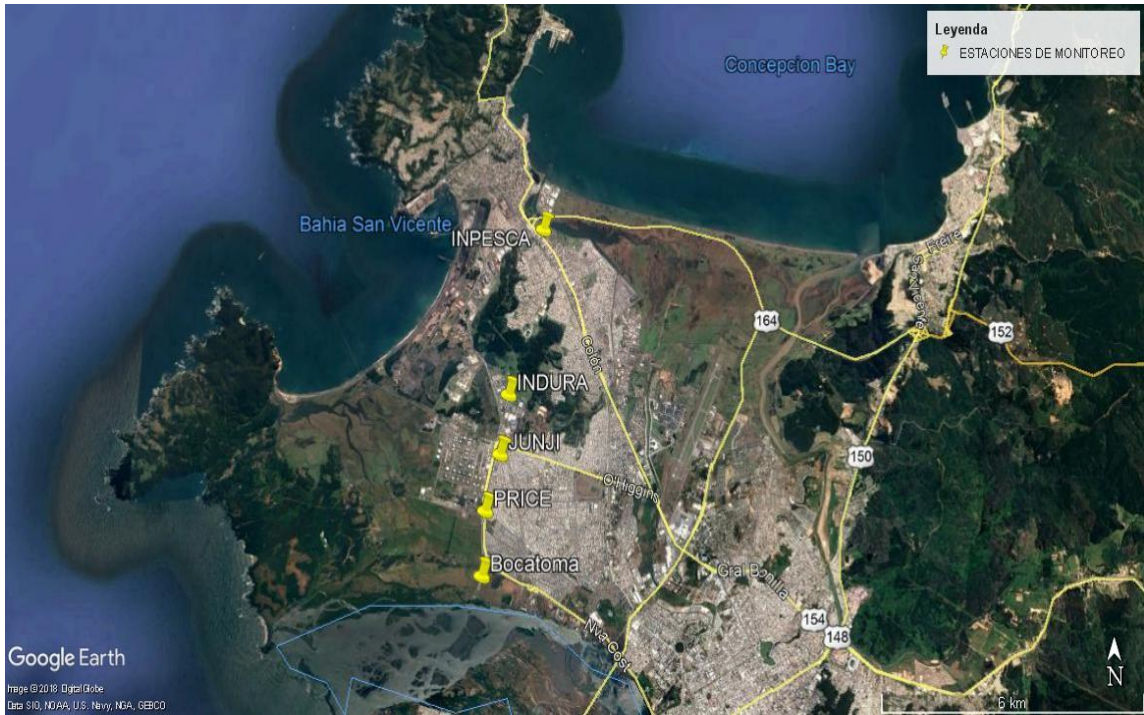
- a) Cantidad de población urbana expuesta en la zona en estudio.
- b) Valores absolutos de concentraciones de Material Particulado Respirable MP2,5 medido y tendencias históricas, positivas o negativas, de dichos valores.
- c) Presencia de desarrollos industriales significativos que produzcan un impacto por emisiones de Material Particulado Respirable MP2,5 sobre la zona en estudio y volumen del parque automotor existente en dicha zona.

Tabla 1-1: Estaciones de monitoreo utilizadas.

ESTACIÓN	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
NOMBRE	BOCATOMA	INDURA	INPESCA	JUNJI	PRICE
COMUNA	Hualpén	Talcahuano	Talcahuano	Hualpén	Hualpén
UBICACIÓN	36°48´10"S 73°7´12"O	36°46´10"S 73°6´48"O	36°44´14"S 73°6´16"O	36°46´51"S 73°6´56"O	36°47´29"S 73°7´10"O

Fuente: Sistema de información Nacional de Calidad del Aire.

Ilustración 1-6: Ubicación de las estaciones de monitoreo en las comunas de Talcahuano y Hualpén.



Fuente: Elaboración propia.

1.5.1 REDES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A NIVEL MUNDIAL.

El fin último de una Red de Vigilancia debe de ser el conocimiento, en todo momento y bajo cualquier circunstancia, de los valores de contaminación atmosférica en un área determinada, de tal modo que se pueda prevenir y actuar ante cualquier episodio contaminante.

La configuración y finalidad de las Redes de Vigilancia y Control puede ser diversa: Industriales, Urbanas, Municipales, Autonómicas, Regionales, de Contaminación Transfronteriza, etc.

Entre las distintas Redes de Vigilancia cabe mencionar:

- **La Red BAPMON** (Background Air Pollution Monitoring Network). Se trata de una Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica de Fondo, y contribuye, entre otras cosas, a la observación de la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
- **La Red EMEP** (European Monitoring Evaluation Programme), nacida del Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza, y cuya finalidad es el seguimiento y evaluación de contaminantes por su transporte a larga distancia.
- **El programa CAMP** (Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme), creado bajo el ámbito del Convenio de Oslo y París, y cuyo objetivo es la medida de contaminantes atmosféricos en la región atlántica.

- **Sistema AMIS** (Air management information system), El AMIS es un programa desarrollado por la OMS como parte del programa de Ciudades Saludables. El objetivo del AMIS es actuar como un sistema global de intercambio de información sobre la calidad del aire.

2. CAPÍTULO 2: MARCO REGULADOR

2.1 MARCO REGULATORIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS EN CHILE.

La constitución política de la República de Chile garantiza en su capítulo III, artículo 19, N°8: "El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza". Esta garantía constitucional sobre protección al ambiente la poseen pocos países, sin embargo, no se traduce en una normativa actual que sea eficaz en el manejo de los residuos, desde su generación hasta su disposición final.

La Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300, modificada por la Ley N° 20.417/2010, ambas del Ministerio Secretaría Regional de la Presidencia), establece en su artículo 32, la existencia de dos tipos de normas de calidad ambiental: primarias y secundarias. Las normas de calidad primarias, son aquellas normas de calidad ambiental que tienen como objetivo proteger la salud de la población humana dentro del territorio nacional; las normas de calidad secundaria, tienen por objetivo proteger o conservar el medio ambiente o la naturaleza y son de carácter local y no necesariamente nacional.

Una definición más precisa de norma primaria y secundaria es la que se establece en artículo 2° de la Ley:

Norma Primaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

Norma Secundaria de Calidad Ambiental: aquella que establece 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 la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.

A continuación se presentan las **Normas primarias de calidad del aire**, actualmente vigentes:

- 1.- Norma de calidad del aire para MP_{2,5} (D.S. N° 12/2010 del Ministerio de Medio Ambiente)
- 2.- Norma de calidad del aire para MP₁₀ (D.S. N° 59/1998, modificado por D.S. N° 45/2001, ambos del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)
- 3.- Norma de calidad del aire para SO₂ (D.S. N° 113/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)
- 4.- Norma de calidad del aire para NO₂ (D.S. N° 114/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)
- 5.- Norma de calidad del aire para CO (D.S. N° 115/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)

6.- Norma de calidad del aire para Plomo (D.S. N° 136/2000) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)

En lo que respecta a las **Normas secundarias de calidad del aire**, las siguientes son las vigentes en nuestro país:

1.- Norma de calidad del aire para SO₂ (D.S. N° 22/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)

2.- Norma de calidad del aire para MPS en la cuenca del río Huasco, III Región (D. Exento N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura)

Para efectos de carácter regulatorio, el material particulado, es clasificado acorde a su diámetro aerodinámico, debido a que existe consenso en la comunidad científica nacional e internacional y en las autoridades de que su depósito en el tracto respiratorio, estaría determinado por el tamaño de las partículas.

Como se mencionó con anterioridad, internacionalmente son reconocidas dos medidas de diámetro de material particulado con objeto regulatorio: Aquellas que son de fracción gruesa (MP 10), es decir, entre 2,5 y 10 micrones, y aquellas de fracción fina (MP 2,5) que tienen un tamaño de partículas menores a 2,5 micrones. Acorde a la última normativa de calidad primaria (2010) la fracción fina sería de particular interés dado que está compuesta por partículas lo suficientemente pequeñas para penetrar en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y los alvéolos, teniendo un impacto mayor en la salud de los agentes.

Básicamente, se proponen límites de concentración del material, diaria y anual, que se aplican de forma gradual por periodos de 10 años, y que iniciaron a partir del año 2012.

Internacionalmente, para efectos regulatorios, el material particulado se clasifica según su diámetro aerodinámico, dado que el tamaño de las partículas es la variable crítica que determina la probabilidad y el lugar de depositación en el tracto respiratorio. En este sentido, se ha visto una evolución de las regulaciones de material particulado; las primeras estaban dirigidas al material particulado total suspendido; en 1987 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (US-EPA) promulgó un estándar para el material particulado con diámetro aerodinámico hasta 10 micrones (MP10) y en 1997 se agregó un estándar para Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrones (MP2,5). La Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2000, elaboró guías respecto al riesgo para MP2,5 y el año 2005 hizo una actualización y una revisión completa de los estudios disponibles, proponiendo valores límites para la fracción fina de material particulado.

La OMS basa sus valores guías de MP2,5, en estudios epidemiológicos de Estados Unidos que dan como resultado aumentos de riesgo de mortalidad de 6% por cada 10 µg/m³ de MP2,5 para concentraciones anuales y de 1% de aumento de riesgo de muerte por cada 10 µg/m³ para concentraciones diarias.

La norma contenida en el presente decreto 12/2011 ha tomado en cuenta el estado de avance de los estudios científicos en cuanto a los efectos del MP2,5 en la salud de las personas, y se hace cargo de éstos, y aborda aspectos que son considerados importantes por la autoridad reguladora y fiscalizadora, con el fin de facilitar la gestión y aplicación de la norma.

Los valores de norma que se establecen consideran además, la información de calidad del aire disponible en nuestro país y la factibilidad técnica de reducir las emisiones directas de material particulado fino y de sus precursores, pudiendo ser revisados cada cinco años de forma tal de ajustarlos si los antecedentes disponibles así lo justifican.

Los límites que determinan las situaciones de emergencia ambiental consideran un aumento relativo de la mortalidad diaria respecto del valor de la norma de un 3% para situaciones de alerta, de un 6% para situaciones de preemergencia y de un 12% para emergencia.

El anteproyecto de la norma que fuera sometido a consulta pública contemplaba la implementación de límites de concentración escalonados y descendentes en el tiempo: desde el año 2012, con 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual y 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración diaria; desde el año 2022 con 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración diaria, y desde el año 2032 con 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración anual y 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como concentración diaria. Sin embargo, se han analizado nuevamente tales límites de concentración, estimándose pertinente adelantar al año 2012 la entrada en vigencia del escenario planteado a partir del año 2022 y dejar para una posterior revisión de la norma la evaluación de reducir los límites de concentración al último tramo establecido en dicho anteproyecto. Asimismo, como consecuencia de dicha modificación, fueron actualizados los valores asignados al Índice de Calidad de Aire referido a Partículas (ICAP 2,5).

Dado que la normativa para el MP2,5 y MP10 se encuentran íntimamente ligadas porque el segundo contaminante contiene al primero, es decir, los diversos contaminantes del aire, presentes en el MP2,5, representa aproximadamente el 50% del MP10.

2.1.1 NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10, EN ESPECIAL DE LOS VALORES QUE DEFINEN SITUACIONES DE EMERGENCIA. (Decreto N°20/2013, Ministerio del Medio Ambiente)

En el Artículo 3°, establece que la norma primaria de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10 es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) como concentración de 24 horas.

Se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable MP10 cuando:

- a) El percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea calificada como EMRP sea mayor o igual a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

b) Asimismo, se considerará superada la norma si antes que concluyese un período anual de mediciones de las estaciones monitoras de material particulado respirable MP10, calificada como EMRP, se registrare un número de días con mediciones sobre el valor de 150 µg/m³ mayor que siete.

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para MP10, son aquellos de acuerdo a los cuales, el valor calculado como promedio móvil de 24 horas se encuentre en el respectivo rango señalado en la Tabla siguiente:

Tabla 2-1: Niveles de situación de emergencia para MP10.

Nivel	Concentración 24horas MP10 (µg/m ³)
Alerta	195-239
Pre-emergencia	240-329
Emergencia	Más de 330

Fuente: Decreto N°20/2013

2.1.2 NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP2,5 (Decreto N°12/2011, Ministerio del Medio Ambiente).

En el Artículo 3º. La norma primaria de calidad del aire para material particulado fino es veinte microgramos por metro cúbico (20 µg/m³), como concentración anual, y cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³), como concentración de 24 horas.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad del aire para material particulado fino respirable MP2,5, en los siguientes casos:

- a) Cuando el percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año, sea mayor a 50(µg/m³), en cualquier estación monitora calificada como EMRP; o
- b) Cuando el promedio tri-anual de las concentraciones anuales sea mayor a 20(µg/m³), en cualquier estación monitora calificada como EMRP.

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para MP2,5, son aquéllos en que la concentración de 24 horas se encuentre dentro de los rangos que da cuenta la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Niveles de situación de emergencia para MP10.

Nivel	Concentración 24horas MP10 (µg/m ³)
Alerta	80-109
Pre-emergencia	110-169
Emergencia	Más de 170

Fuente: Decreto nº12/2011

Para ambas normativas, la fiscalización corresponde a la Superintendencia del Medio Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones del presente decreto. Asimismo, deberá informar anualmente acerca de los valores en que se sitúa la norma en las estaciones monitoras de la región respectiva, calificadas como EMRP durante los primeros tres meses de cada año.

2.1.3 DECLARA ZONA SATURADA POR MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP2,5 COMO CONCENTRACIÓN DIARIA, A LAS COMUNAS DE LOTA, CORONEL, SAN PEDRO DE LA PAZ, HUALQUI, CHIGUAYANTE, CONCEPCIÓN, PENCO, TOMÉ, HUALPÉN Y TALCAHUANO (Decreto Nº15/2015, Ministerio del Medio Ambiente)

La Superintendencia del Medio Ambiente, en base al resultado de las mediciones efectuadas en las estaciones de monitoreo Kingston College, Punteras y Cerro Merquin ubicadas dentro del área que abarca las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano, cuentan con representatividad poblacional (EMRP), para material particulado fino respirable MP2,5. concluye que la Norma Primaria para Material Particulado Fino Respirable MP2,5 como concentración diaria, se encuentra superada, Declarando zona saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración diaria, la zona geográfica que comprende las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano.

Entiéndase zona latente es aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental. Mientras que zona saturada es aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasada.

La autoridad competente debe adoptar las medidas correspondientes, dentro de los que están los Planes de descontaminación atmosféricas.

Las declaraciones de zonas saturadas o latentes asociadas a los planes de descontaminación y prevención se iniciaron en Chile en el año 1992, con el objetivo de reducir la concentración de emisiones en las zonas saturadas o latentes de manera de cumplir con la normativa de calidad del aire. El primer plan desarrollado corresponde al de Puchuncaví y Quintero (Ventanas)

En la actualidad existen 10 planes vigentes, cinco anteproyectos, dos proyectos en etapa final y dos zonas decretadas o en proceso. De ellos cinco se encuentran ubicados en el norte del país y corresponden principalmente a zonas mineras. En la zona central, en tanto, existen cuatro planes vigentes en la V, VI y Región Metropolitana. Solo uno de estos planes está en el sur del país y corresponde al plan de descontaminación de Temuco y Padre Las Casas.

La Estrategia de decretos de planes de descontaminación es el camino correcto para avanzar en la descontaminación de las ciudades en el mediano y largo plazo.

Los altos niveles de contaminación, requiere tomar medidas inmediatas que permita reducir los contaminantes que durante el invierno alcanzan niveles críticos para la salud de la ciudadanía.

El problema de no contar con Planes de Descontaminación en las principales ciudades del sur de Chile, es que no es posible realizar una gestión de episodios críticos (GEC). En otras palabras, las autoridades regionales no cuentan con las herramientas administrativas para decretar medidas que permitan reducir la contaminación. Es por ello, que en la Estrategia de Descontaminación Atmosférica contempla la aplicación de Alertas Sanitarias en las Zonas donde se cuantifiquen concentraciones de contaminantes que excedan la norma y no exista Plan de Descontaminación.

Algunas medidas de control de emisiones orientadas a disminuir la carga de contaminantes en las zonas de interés, en especial cuando se observe un aumento sostenido de concentraciones de contaminantes corresponden a las siguientes:

- i) Restricción de uso de leña para calefacción en lugares que sea pertinente (Domiciliarias y/o Comunitarias). Para esto se establecerán polígonos urbanos de restricción que permita disminuir emisiones durante la ocurrencia de episodios.
- ii) Paralización de fuentes fijas. A partir de los registros de la Autoridad Sanitaria y el establecimiento de un umbral de emisión, se paralizarán fuentes fijas con grandes emisiones.
- iii) Informar a la población de riesgos para la salud. Se recomendará restringir la realización de actividades deportivas masivas y al aire libre, y el reemplazo de las clases de educación física, en coordinación con el Ministerio de Educación, por actividades docentes en el aula en establecimientos educacionales mientras se observan altas concentraciones de contaminantes.
- iv) Programa multisectorial de fiscalización. Se fortalecerá la fiscalización de fuentes fijas que deben paralizarse de acuerdo a las restricciones que establezca la autoridad.

2.2 RECOMENDACIONES DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEGÚN LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorios y cardiovascular. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud.

En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 μ (MP 2,5) se ha estimado en 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas.

Es poco probable que una norma o un valor guía ofrezca una protección completa a todas las personas frente a todos los posibles efectos adversos del material particulado en la salud. El proceso de fijación de normas debe orientarse más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local.

Tanto la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos como la Comisión Europea han utilizado recientemente la "Guía de calidad del Aire (GCA) y sus fundamentos" de la OMS, para revisar sus normas de calidad del aire para el MP. Se alienta a los países a examinar la adopción de una serie de normas cada vez más estrictas y a hacer un seguimiento de los progresos mediante la vigilancia de la reducción de las emisiones y la disminución de las concentraciones de MP. Para contribuir a este proceso, los valores guía numéricos y los valores de los objetivos intermedios que se dan aquí reflejan las concentraciones a las cuales, según los descubrimientos científicos actuales, se prevé que habrá una respuesta de mortalidad creciente debida a la contaminación del aire con MP.

Aunque el MP10 es la medida más notificada y también el indicador de interés para la mayoría de los datos epidemiológicos, por los motivos que se examinan a continuación las GCA de la OMS para el MP se basan en estudios que utilizan el MP 2,5 como indicador. Los valores guía para el MP 2,5 se convierten a los valores guía correspondientes para el MP10 aplicando una razón MP2,5/MP10 de 0,5. Esta razón de 0,5 es característica de las zonas urbanas de los países en desarrollo y corresponde al límite inferior de la gama encontrada en las zonas urbanas de los países desarrollados (0,5–0,8). Al establecer normas locales, y suponiendo que se disponga de los datos pertinentes, se puede emplear un valor diferente para esta razón, es decir, uno que refleje mejor las condiciones locales.

Tomando como base los efectos conocidos en la salud, se necesitan guías tanto de la exposición breve (24 horas) como de la prolongada (media anual) para los dos indicadores de la contaminación por MP.

2.2.1 EXPOSICIONES PROLONGADAS.

Como valor guía para el MP 2,5 en exposiciones prolongadas se eligió una concentración anual media de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (AMS), este valor representa el extremo inferior de la gama en la que se observaron efectos significativos en la supervivencia.

La adopción de una guía en este nivel concede un valor importante a los estudios de exposición prolongada que utilizan los datos de la AMS y los de Harvard de seis ciudades. En todos estos estudios se notificaron asociaciones estrechas entre la exposición prolongada al MP 2,5 y la mortalidad. La concentración media histórica de MP 2,5 en el estudio de seis ciudades fue de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervalo de 11,0 a $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y en el estudio de la ACS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervalo de 9,0 a $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

No se observaron umbrales en ninguno de estos estudios, aunque no se pudieron determinar con precisión los periodos y las pautas de la exposición pertinente. En el estudio de la ACS se pone de manifiesto una incertidumbre estadística de las estimaciones del riesgo con concentraciones de unos $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor por debajo del cual aumentan de manera significativa los intervalos de confianza, puesto que las concentraciones están relativamente alejadas de la media.

Por consiguiente, se puede considerar que, según la bibliografía científica disponible, una concentración media anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estaría por debajo de la media para los efectos más probables.

2.2.2 EXPOSICIONES DE CORTA DURACIÓN

Suele haber diferencias de opinión entre los países sobre si el promedio más restrictivo de las GCA es el de 24 horas o el anual, dependiendo fundamentalmente de las características específicas de las fuentes de contaminación y de su localización. Al evaluar las GCA de la OMS y los objetivos intermedios, se suele recomendar que se dé preferencia al promedio anual sobre el de 24 horas, ya que con niveles bajos despiertan menos preocupación las desviaciones episódicas. Sin embargo, el logro de los valores guía para la media de 24 horas protegerá frente a niveles máximos de contaminación que de otra manera determinarían un exceso sustancial de morbilidad o mortalidad. Se recomienda que los países con zonas en las que no se cumplen los valores guía de 24 horas adopten medidas inmediatas para alcanzar estos niveles lo más pronto posible.

En estudios múltiples realizados en Europa (29 ciudades) y en los Estados Unidos (20 ciudades) se notificaron efectos de mortalidad a corto plazo con MP10 del 0,62% y el 0,46% por $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media de 24 horas), respectivamente.

En un análisis de los datos de 29 ciudades situadas fuera de Europa occidental y de América del Norte se observó un efecto de mortalidad del 0,5% por 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en realidad muy parecido al obtenido para las ciudades asiáticas (0,49% por 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estos resultados parecen indicar que los riesgos para la salud asociados con exposiciones breves al MP10 probablemente son semejantes en las ciudades de los países desarrollados y en desarrollo, con un aumento de la mortalidad de alrededor del 0,5% por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria. Por consiguiente, cabe suponer que una concentración de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5%, efecto que sería motivo de gran preocupación y para el cual se recomendarían medidas correctoras inmediatas.

3. CAPÍTULO 3: ANALISIS DE DATOS

3.1 ANALISIS DE DATOS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO MP10 Y MP2,5 , DE LOS AÑOS 2015, 2016, 2017 Y PARTE DEL 2018.

Se analizaron datos de emisiones de material particulado grueso y fino (MP10 y MP2,5), de cinco (5) estaciones de monitoreo ubicadas dentro de la comuna de Hualpén y Talcahuano, con efecto directo en la comunidad, los datos son mediciones realizadas desde el primero de enero del 2015 al 31 de mayo del 2018. Los resultados de esta información se presentan a continuación:

En la figura 3-1, se puede observar la concentración de material particulado respirable MP 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) como el promedio diario de las cinco (5) estaciones de monitoreo, de los años 2015, 2016, 2017 y parte del 2018. Se observa que para promedios diarios, no se supera la norma de 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), teniendo alzas en los meses de invierno.

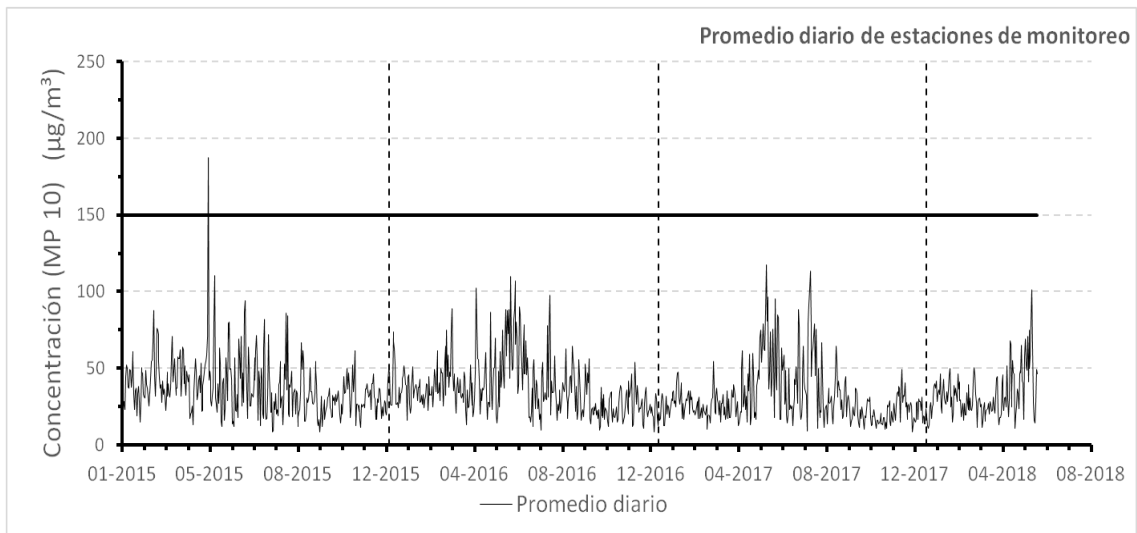


Figura 3-1: Promedio diario de estaciones de monitoreo de MP10 en los años 2015,2016,2017 y 2018.

En la figura 3-2, se describe el grafico de la concentración de material particulado fino MP 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) como el promedio diario de las cinco (5) estaciones de monitoreo, de los años 2015, 2016, 2017 y parte del 2018, con alzas en los meses de invierno, superando la norma diaria en varios puntos en todos los años; incluso superándolo en el año 2016, con un promedio anual de 23,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos valores nos explican en parte, porque Concepción Metropolitano, siendo Hualpén y Talcahuano parte de este, es declarado zona saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración diaria, por el decreto 15 del 2015, del Ministerio del Medio Ambiente.

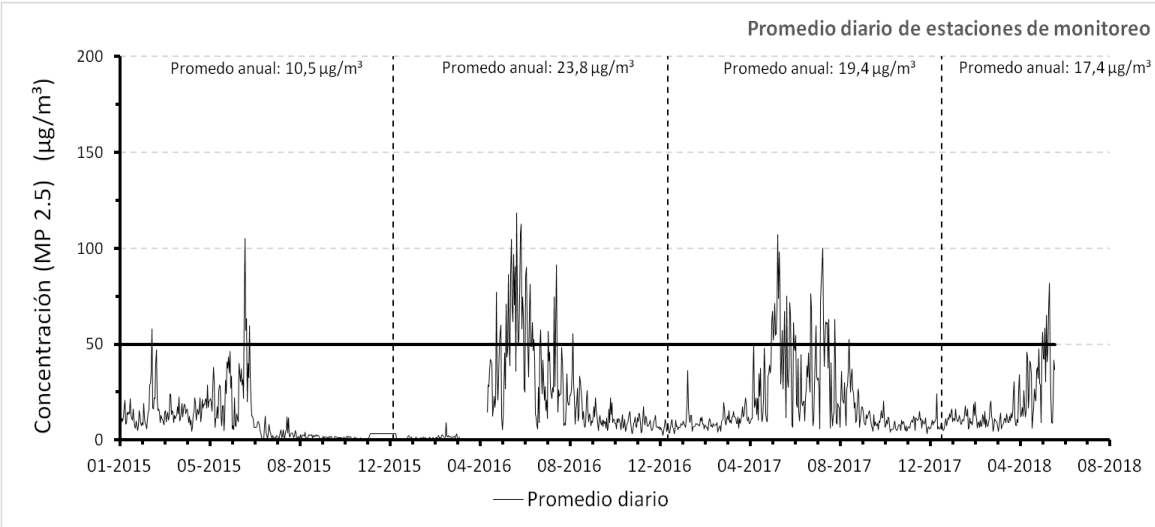


Figura 3-2: Promedio diario de estaciones de monitoreo, de MP 2,5 en los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

En los siguientes gráficos se presenta el promedio diario de las emisiones de material particulado respirable MP10 y MP2,5, de las diferentes estaciones, en el mismo rango de tiempo.

La estación de Monitoreo 1, ubicada a la orilla del río Biobío, con valores promedio por debajo de la norma para MP10 y sobrepasada en un par de puntos para MP2,5, pero con promedios anuales bajo los 16 µg/m³, sin representación poblacional, con alzas principalmente en los meses de invierno. Sin influencia permanente de emisiones por parte de la intercomuna, debido a las direcciones del viento, pero si presenta influencia de las otras comunas de Concepción metropolitano.

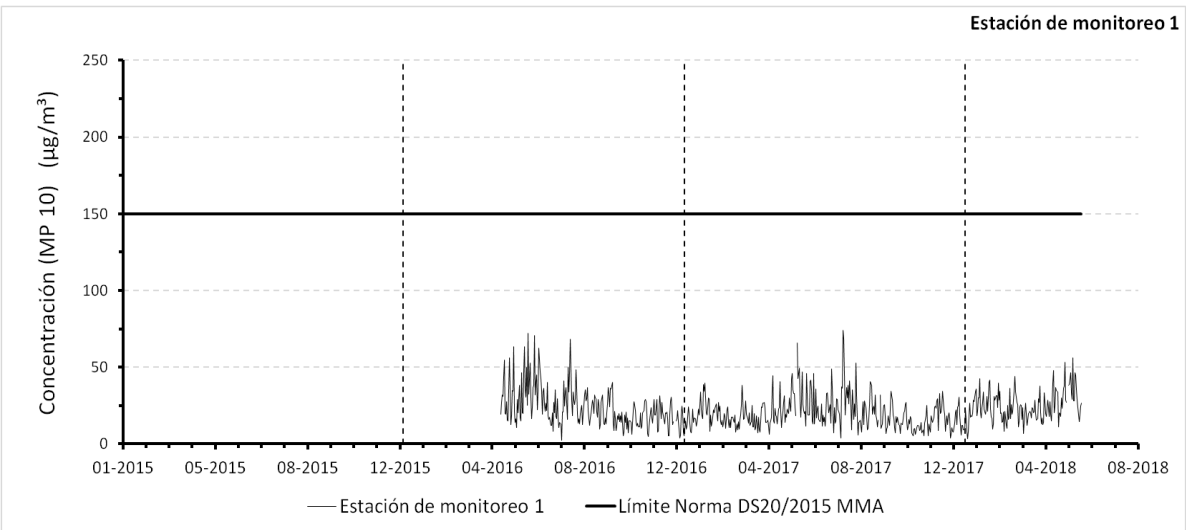


Figura 3-3: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 1 (Bocatoma), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

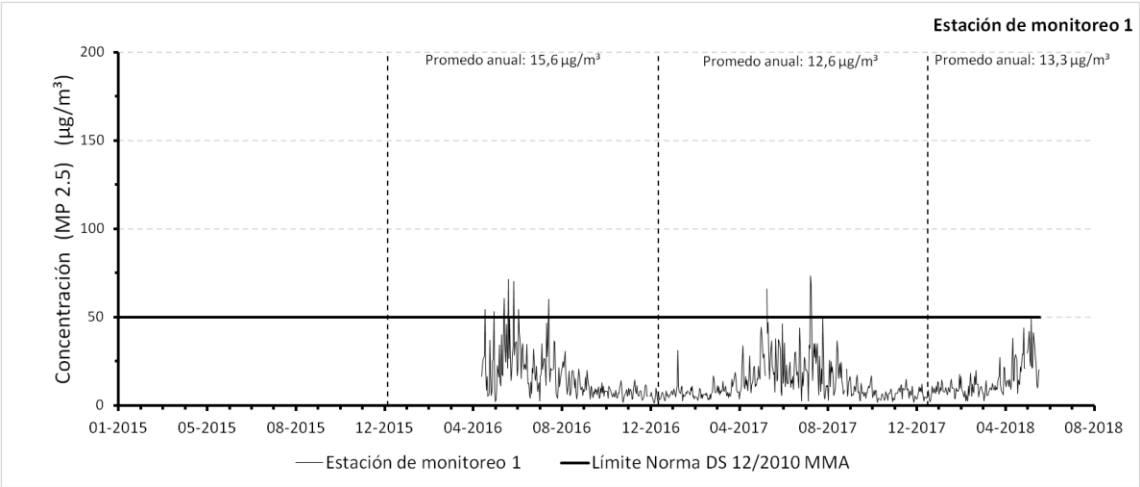


Figura 3-4: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 1 (Bocatoma), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

La estación de Monitoreo 2, presenta un mayor efecto industrial, ya que se encuentra inserta en el barrio industrial de la intercomuna Hualpén-Talcahuano, sin alzas significativas aunque con aumentos, principalmente en los meses de invierno. Con promedios anuales para MP2,5 sobre los 17 µg/m³.

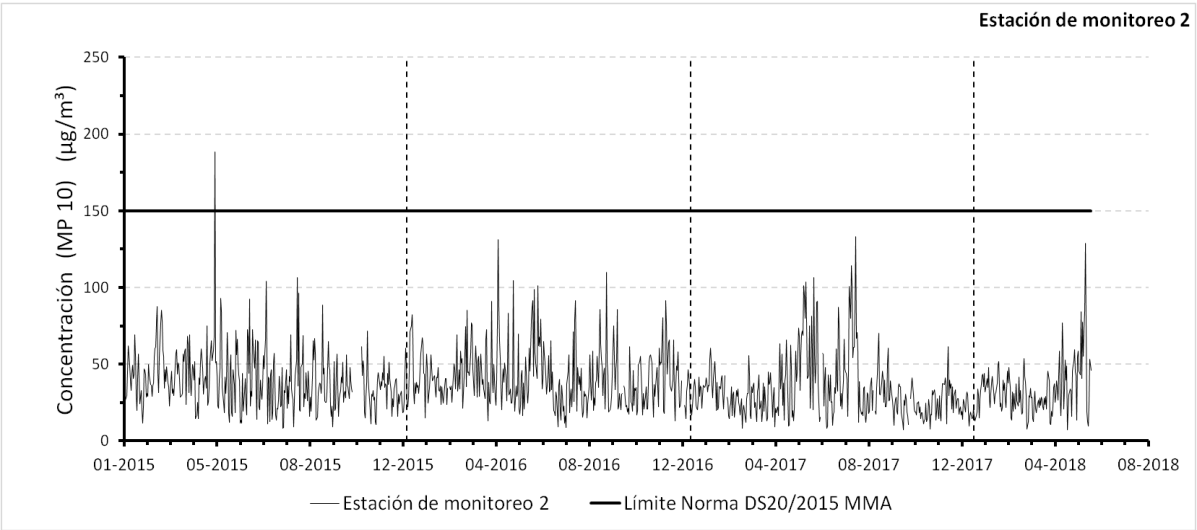


Figura 3-5: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 2 (INDURA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

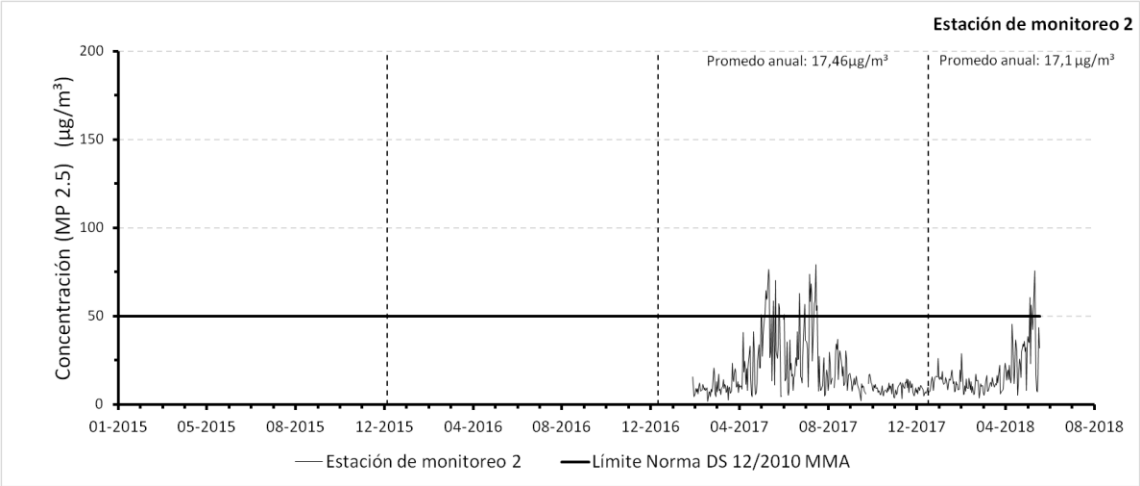


Figura 3-6: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 2 (INDURA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

La estación de monitoreo 3, grafica alzas significativas, con varios puntos sobrepasando la norma, principalmente en los meses de otoño- invierno, esta estación se encuentra, en la zona pesquera de Talcahuano, con influencia de fuentes residenciales. Con alzas en MP10 y MP2,5, con promedios anuales sobre los 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superando la norma todos los años analizados.

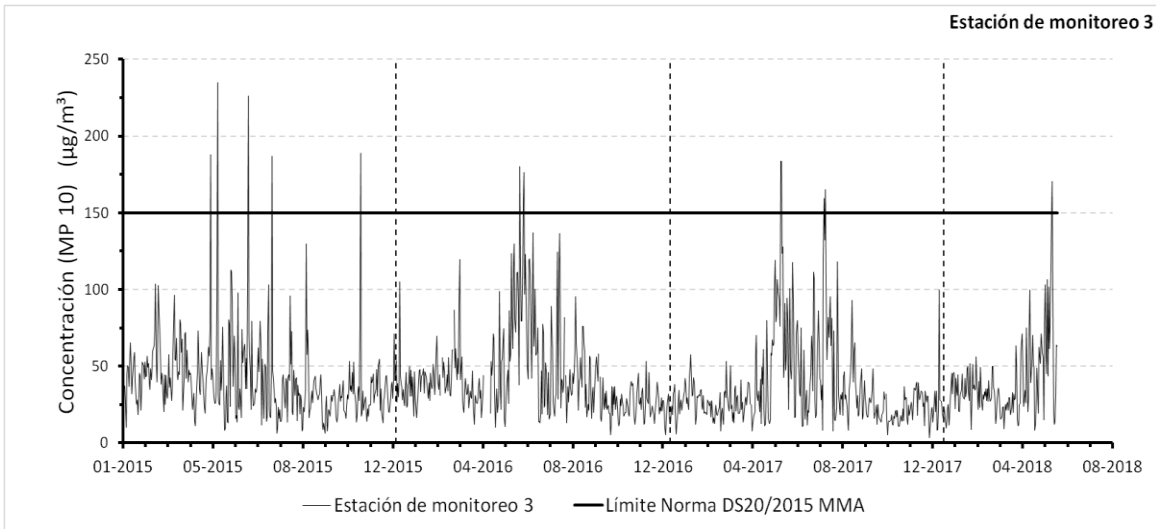


Figura 3-7: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 3 (INPESCA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

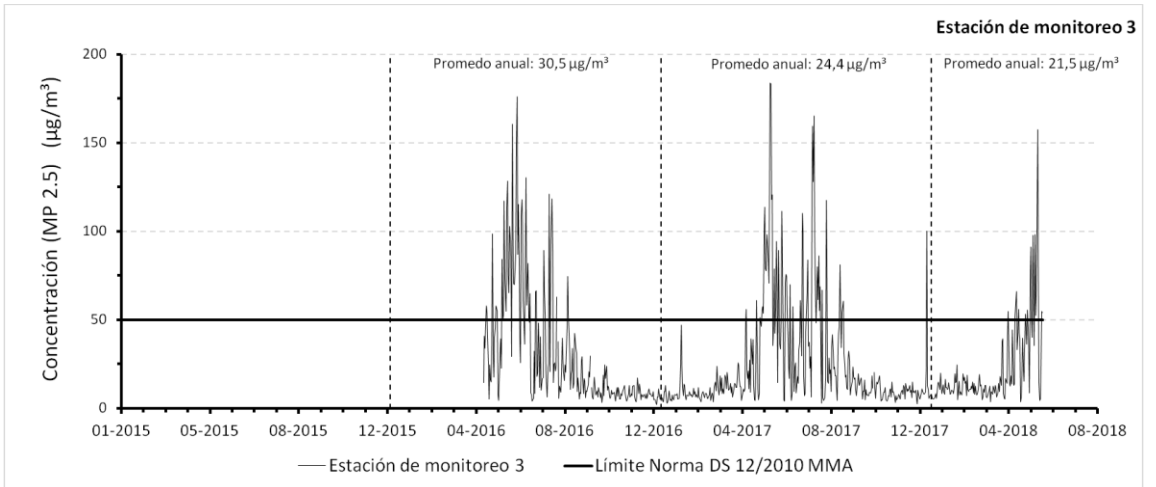


Figura 3-8: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 3 (INPESCA), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

La estación de monitoreo 4, está ubicada en medio de una población en Hualpén, donde recibe emisiones de fuentes residenciales e industriales, con alzas en los meses de otoño-invierno, para MP2,5 se supera la norma los 3 años, con un promedio anual sobre los 22,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estación ubicada en la emblemática población "El Triángulo" de Hualpén, donde se conjugan los problemas de ubicación con la población, en relación a la industria (ENAP) y las condiciones climáticas, para favorecer los altos niveles de material particulado.

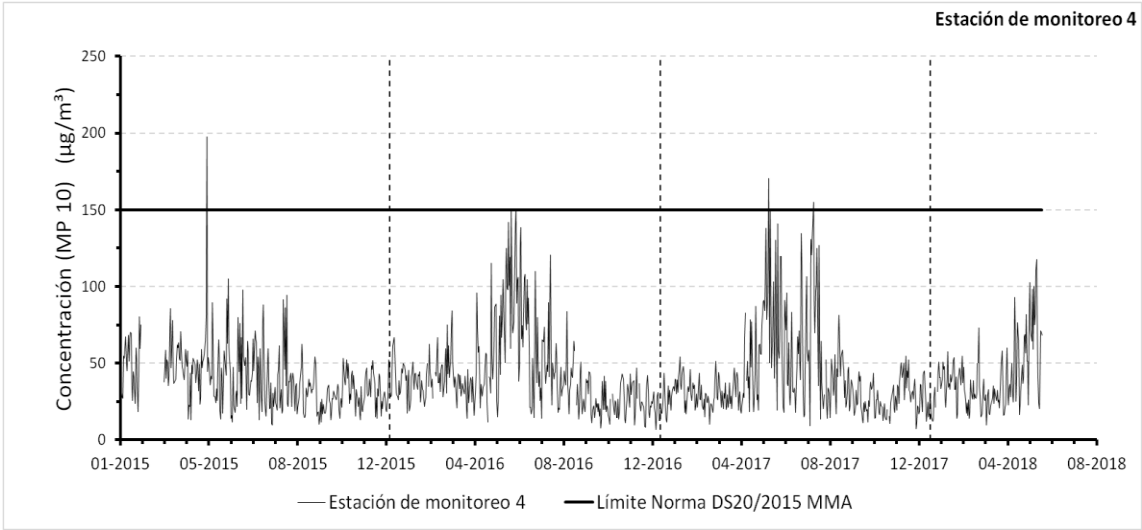


Figura 3-9: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 4 (JUNJI), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

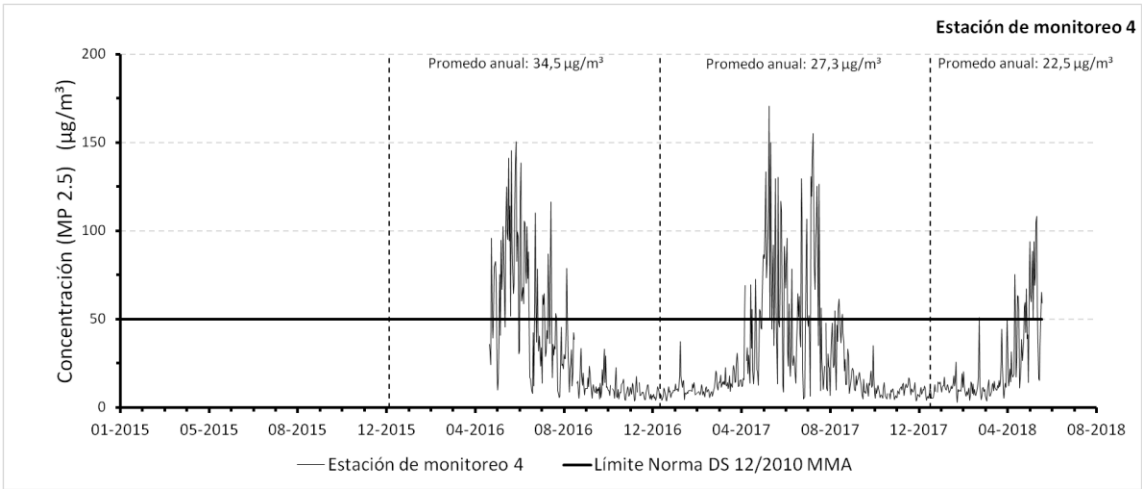


Figura 10:Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 4 (JUNJI), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

La estación de monitoreo 5, está ubicada en un área que recién se está urbanizando por lo que presenta poca influencia de fuentes residenciales, ubicada a orillas de un camino con alto tráfico vehicular y de camiones, presenta alzas en los meses de otoño- invierno, aunque no tan marcados para MP10, si para MP2,5; presenta un promedio anual que no supera los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no superando la normativa.

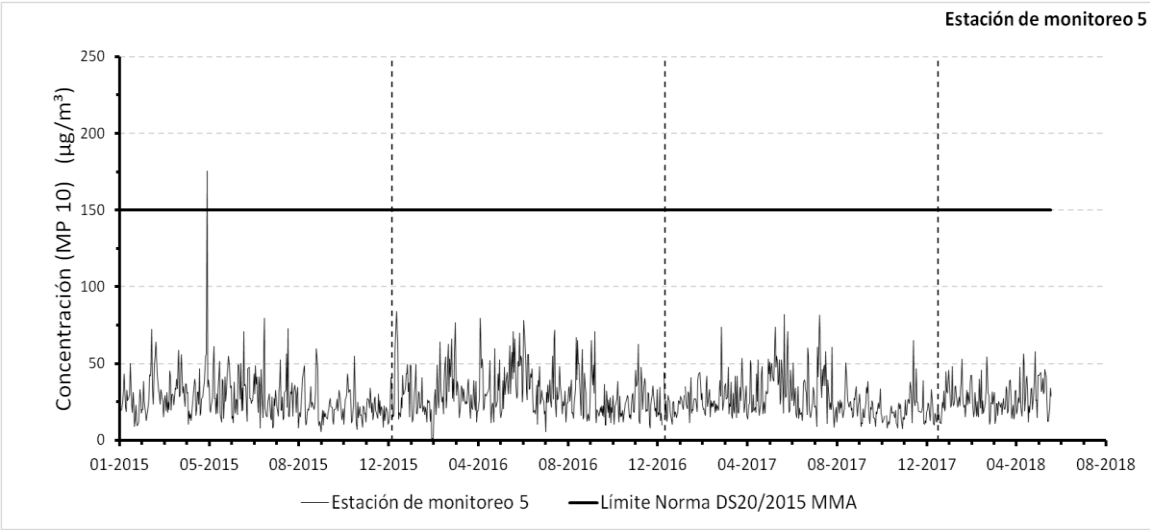


Figura 3-11: Concentración diaria de material particulado MP10, de la estación de monitoreo 5 (PRICE), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

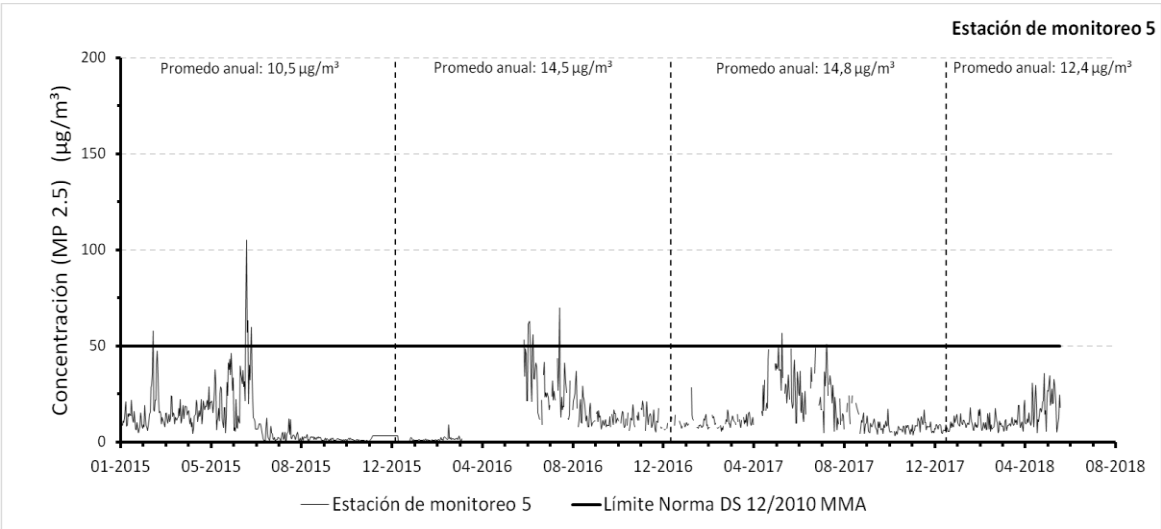


Figura 3-12: Concentración diaria de material particulado MP2,5, de la estación de monitoreo 5 (PRICE), con datos de los años 2016, 2017 y 2018.

Según la bibliografía revisada, el material particulado respirable fino MP2,5, representa el 50% del material particulado respirable MP10, luego del análisis de datos de 5 estaciones de monitoreo, la relación es de un 47,3%, lo que confirma la bibliografía.

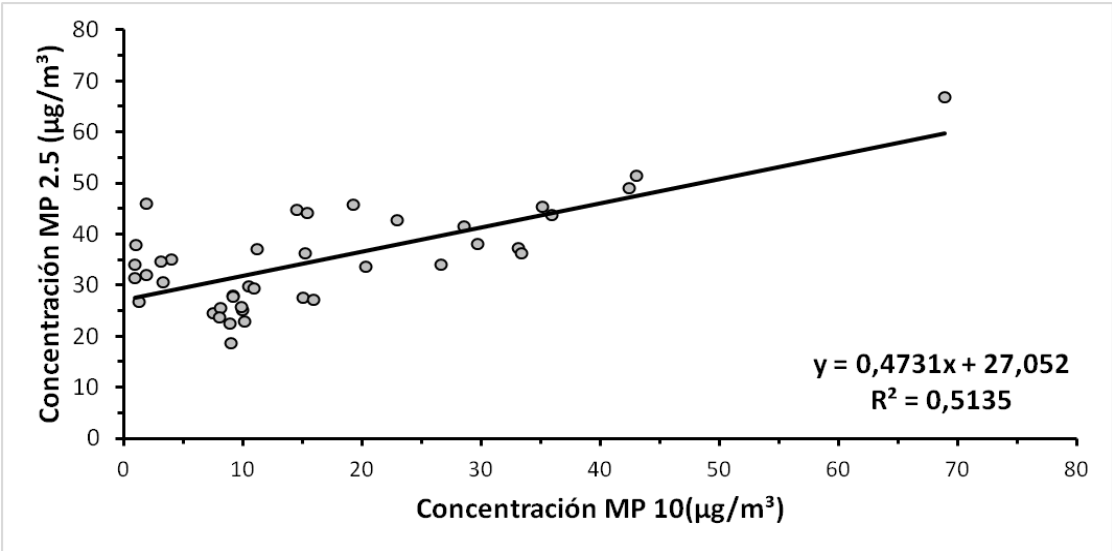


Figura 3-13: Relación de concentración diaria de material particulado MP10 y concentración diaria de material particulado MP2,5.

3.2. COMPARACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO CON LAS CONDICIONES CLIMATICAS PRESENTES EN LAS COMUNAS DE HUALPÉN Y TALCAHUANO, DE LOS AÑOS 2016, 2017 Y PARTE DEL 2018.

En los siguientes gráficos, se evaluó la relación de las concentraciones de material particulado MP10 y MP2,5, con las características climáticas de dirección de viento y temperatura de las comunas de Hualpén y Talcahuano, utilizando una estación de meteorológica, con datos de los años 2016, 2017 y parte del 2018.

Al analizar los valores de dirección del viento se obtiene una dominancia en dirección Sur-Oeste con un 43,9%, dirección predominante en los meses primavera-verano, valor obtenido de la suma de días por mes, en cada dirección. Al tener claridad de la dirección del viento, se puede apreciar que las concentraciones de emisiones de MP10 aumentan al haber vientos en dirección Sur-Este.

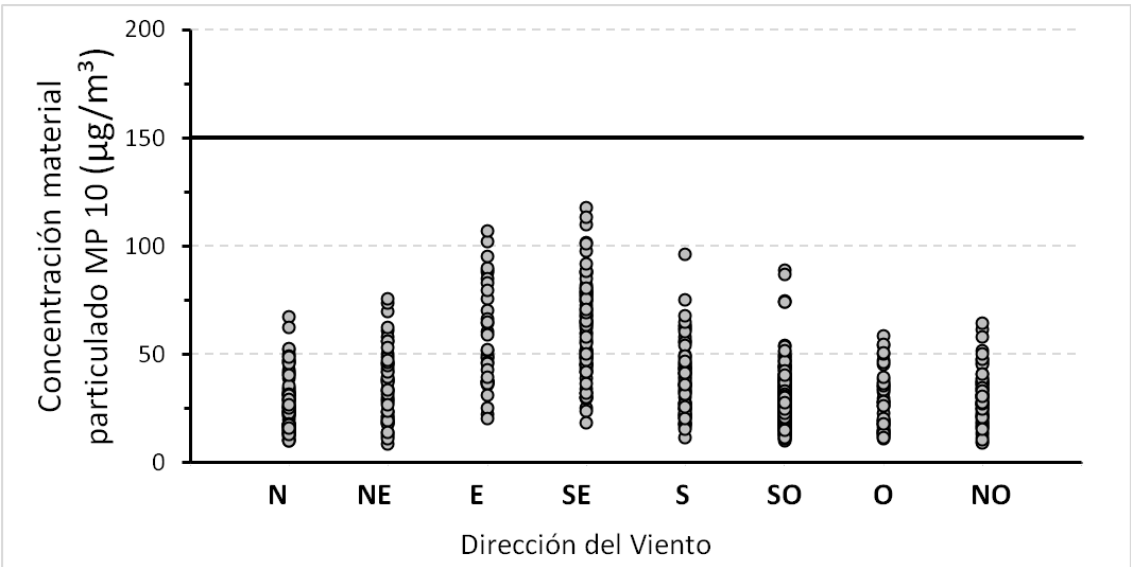


Figura 3-14: Relación de la concentración de MP10 y la dirección del viento.

La relación de la dirección del viento con la concentración de emisiones de MP2,5, aumenta, cuando la dirección del viento es Este con un 4,3% o Sur-Este con un 10,3% de frecuencia, principalmente en los meses de otoño-invierno, sobrepasando la norma de calidad del aire de 50 µg/m3, como concentración de 24 horas, esto se puede explicar, ya que el MP2,5 proveniente del humo calefacción del áreas residencial, reduciendo el impacto de las fuentes industriales.

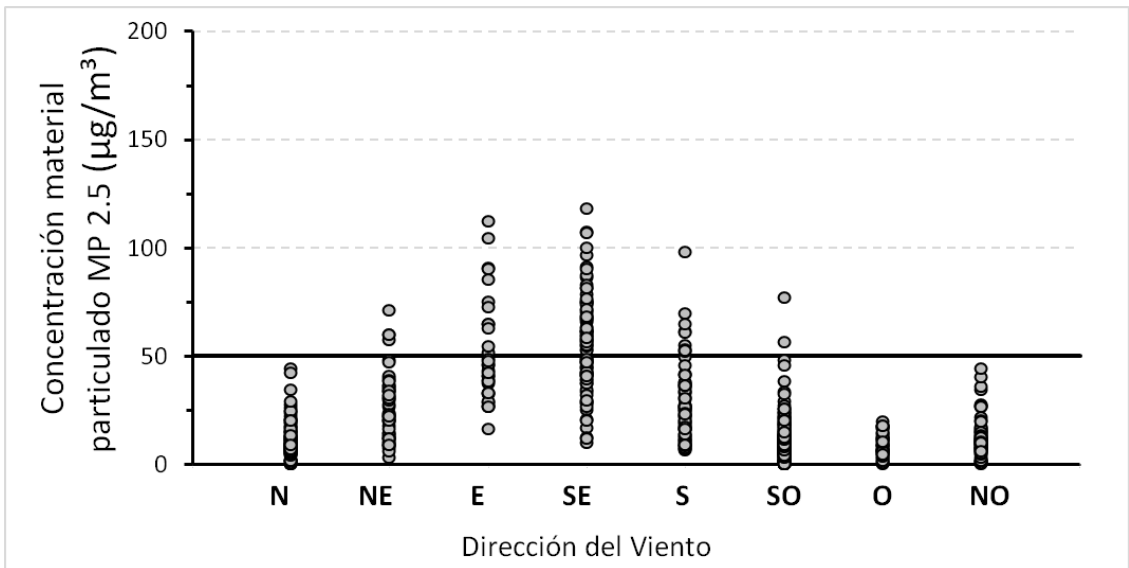


Figura 3-15: Relación de la concentración de MP2,5 y la dirección del viento.

Al analizar las temperaturas, se puede separar 3 rangos de temperatura, en temperaturas menores a 8°C, las concentraciones de MP10 se mantiene sin variaciones significativas, esto se puede deber a que al disminuir la temperatura, disminuye la ventilación de la intercomuna; luego para el rango de temperatura que va desde los 8°C a los 15°C, al ir aumentando la temperatura, va disminuyendo la concentración de MP10, esto se puede deber a la disminución de calefacción a leña de los hogares; el ultimo rango de temperatura es de los 15°C en adelante, donde las concentraciones de material particulado, aumentan lentamente algunos puntos, al aumentar los 15°C, comienzan a afectar otras condiciones climáticas, que no tienen necesariamente relación con la temperatura ambiental. A los 14°C está el valor mínimo de concentraciones de MP10, luego de esa temperatura es independiente de la temperatura el cambio de Material particulado.

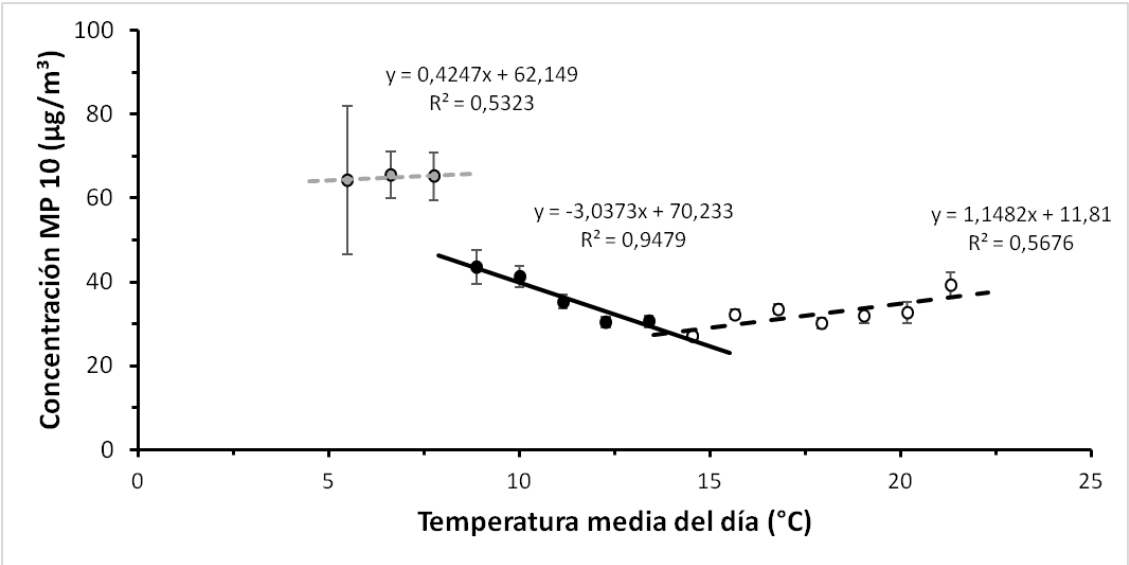


Figura 3-16: Relación de concentración MP10 y temperatura media del día.

La relación existente en la concentración de MP2,5 con la temperatura media del día, es inversamente proporcional, al aumentar la temperatura disminuye la concentración de MP2,5 hasta llegar a un punto constante, esto principalmente se debe a la calefacción domiciliaria a leña.

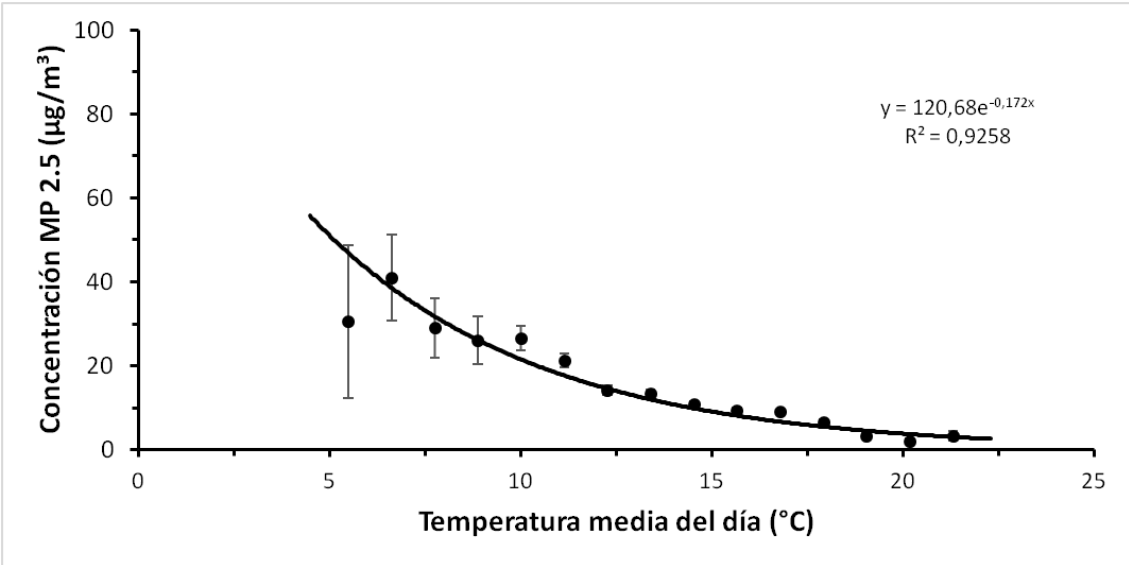


Figura 3-17: Relación de concentración MP2,5 y temperatura media del día.

CONCLUSIONES

Al contrario que otros contaminantes, el material particulado atmosférico (MPA) es emitido por una gran variedad de fuentes, en función de las cuales varían sus propiedades físicas y su composición química. Este es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas y las partículas arrastradas por el viento, como el aerosol marino. Dentro de las actividades antropogénicas se encuentran las emisiones de gases de escape vehicular, industrial y de calefacción.

Al Identificar las fuentes de emisión del material particulado en las comunas de Hualpén y Talcahuano, se obtiene que 47% proviene de Combustión de Biomasa residencial, el 46% de fuentes fijas industriales, el 5% de fuentes de área, y el 2% de fuentes móviles.

Una forma de reducir las emisiones de material particulado fino aportado por las fuentes residenciales es cambiar los artefactos actuales de calefacción a leña de los hogares, fuente de emisión de mayor aporte a la contaminación por material particulado, por otros que usen una fuente de energía distinta o por otros artefactos a leña que sean más eficientes y menos contaminantes. De esta forma, si los hogares adquieren equipos más limpios, contribuyen a reducir la contaminación e incluso pueden contribuir con el ahorro energético. Este recambio además podría ser financiado por organismos gubernamentales a través de programas públicos de subsidio, o por empresas privadas que buscan compensar sus emisiones.

Al analizar los datos de las 5 estaciones de monitoreo ubicadas en la intercomuna de Hualpén-Talcahuano se observa que para promedios diarios de MP10, no se supera la norma de 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque presenta alzas en los meses de invierno. Para MP2,5, superando la norma diaria en varios puntos en todos los años evaluados; incluso superándolo en el año 2016, con un promedio anual de 23,8 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos valores nos explican en parte, porque Concepción Metropolitano, siendo Hualpén y Talcahuano parte de este, es declarado zona saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración diaria, por el decreto 15 del 2015, del Ministerio del Medio Ambiente.

La contaminación del aire en Hualpén-Talcahuano por material particulado se concentra principalmente en los meses de otoño e invierno, registrando altos promedios diarios, que en más de algún caso sobrepasan la norma diaria establecida, lo que puede resultar perjudicial para la salud de las personas y de los ecosistemas. Al evaluar las estaciones de monitoreo por separado, considerando la ubicación de cada una, se refleja el efecto directo que tienen las emisiones de fuentes residencial por combustión de leña para calefacción y las fuentes industriales, sobre la contaminación del aire por material particulado.

Según la bibliografía revisada, el material particulado respirable fino MP2,5, representa el 50% del material particulado respirable Mp10, luego del análisis de datos de 5 estaciones de monitoreo, la relación es de un 47,3%, lo que confirma la bibliografía.

Al analizar los valores de dirección del viento se obtiene una dominancia en dirección Sur-Oeste con un 43,9%, dirección predominante en los meses primavera-verano, valor obtenido de la suma de días por mes, en cada dirección. Al tener claridad de la dirección del viento, se puede apreciar que las concentraciones de emisiones de MP10 y MP2,5 aumentan al haber vientos en dirección Sur-Este con un 10,3%. Esto debido a que proveniente del humo calefacción del áreas residencial, reduciendo el impacto de las fuentes industriales, así como también se sumas las emisiones proveniente de otras comunas, ya que dependiendo del tamaño de las partículas están pueden volar desde centenares a miles de kilómetros.

Al analizar las temperaturas, se puede separar 3 rangos de temperatura, en temperaturas menores a 8°C, entre 8°C a 15°C y Mayores a 15°C, dependiendo de las cuales varia las concentraciones de MP10, al disminuir la temperatura, disminuye la ventilación de la intercomuna.

Luego para el rango de temperatura que va desde los 8°C a los 15°C, al ir aumentando la temperatura, va disminuyendo la concentración de MP10, esto se puede deber a la disminución de calefacción a leña de los hogares; el ultimo rango de temperatura es mayores a los 15°C, comienzan a afectar otras condiciones climáticas, que no tienen necesariamente relación con la temperatura ambiental.

La relación existente en la concentración de MP2,5 con la temperatura media del día, es inversamente proporcional, al aumentar la temperatura disminuye la concentración de MP2,5 hasta llegar a un punto constante, esto principalmente se debe a la calefacción domiciliaria a leña.

Por todas estas condiciones, se hace necesario un plan de descontaminación atmosférico, medidas de control de emisiones orientadas a disminuir la carga de contaminantes en las zonas de interés, en especial cuando se observe un aumento sostenido de concentraciones de contaminantes. Es fundamental, bajar los niveles de material particulado, tratar de crear políticas públicas para reducir los efectos en salud.

BIBLIOGRAFIA

- Arteaga, J., H. Duran, 2001. Contaminación atmosférica en Chile: Antecedentes y políticas para su control. Medio ambiente, ecología y salud pública. Universidad de Santiago. Instituto Medio Ambiente.
- Artiñano, B., P. Salvador, D. Alonso, X. Querol, y A. Alastuey, 2003. Anthropogenic and natural influence on the PM10 and PM2.5 aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentration episodes. Environmental Pollution 125: 453-465.
- Balmaceda, M. 2016. Normativa de emisiones de material particulado fino (Ley n°19.300): Importancia para las políticas públicas y la regulación ambiental en Chile.
- Bell, M., J. Samet, 2005. Air Pollution. En: Frumkin, H. Environmental Health: From Global to Local. 1° Edition. San Francisco. 331-361.
- Billet, S., G. Garc-on, Z. Dagher, A. Verdin, F. Ledoux, F. Cazier, D. Courcot, A. Aboukais, y S.P. Pirouz, 2007. Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549). Environmental Research 105: 212-223.
- Chow, J.C. 1995. Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. Journal Air & Waste Manage, Association 45:320-382.
- Criollo, C., R. Assar, D. Caceres y M. Préndez. 2016. Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. Rev. Chil. enferm. respir. 32: 77-86
- Decreto N° 12. 18 de enero del 2011. Ministerio del Medio Ambiente, Chile.
- Decreto N° 20. 16 de diciembre del 2013. Ministerio del Medio Ambiente, Chile
- EULA. (2014). Analysis of the Economic Impact and Environmental stable supply of LNG to the Biobio region. Final Report.
- García, M., y H. Carreras, 2008. Análisis de la genotoxicidad de material particulado recolectado en dos ciudades de la Provincia de Córdoba, Argentina, mediante el ensayo de micronucleus. Theoria 17(1): 33-40.
- Korc, M., R. Sáenz. 1999. Monitoreo de la calidad del aire en América Latina. Programa de Control de calidad del aire.
- Mardones, C., C. Paredes, J. Jiménez, O. Farías, P. Catalán. 2015. Tecnologías de control de emisiones y disponibilidad de gas natural como opciones para reducir emisiones de MP 2,5 en el Concepción Metropolitano. Revista de análisis económico 30 (1):3-33.
- Menéndez, M.; J. Gil; X. Querol, A. Alastuey, M. Viana. 2003. Análisis de contribución de fuentes en PM10 y PM2.5 en un área de fondo urbano con influencia de emisiones industriales.
- O´Ryan, R., L. Larraguibel. Contaminación del aire en Santiago: Estado actual y soluciones.
- Organización mundial de la salud. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- Orozco, C., A. Pérez, M. González, F. Rodríguez y J. Alfayate. 2011. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Editorial Paraninfo. Madrid. 363-450 pp.
- Ostro, B.; J. Sánchez, C. Aranda, G. Eskeland. 1996. "Air Pollution and Mortality: Results from a Study of Santiago, Chile". Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 6 (1): 97-114
- Sbarato, V., D. Sbarato, R. Basan, P. Manzo, J. Ortega, M. Campos, M. Salort. 2000. Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. Ciudad de Córdoba, Argentina. Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional. Universidad Nacional de Córdoba.
- Tchernitchin, A.N. 2011. Análisis crítico de la nueva Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2,5. Cuad Méd. Soc. 51(1): 24-28.

ANEXOS.

Tabla 3: Porcentaje de viento predominante por dirección.

% de vientos predominantes									
Año	Mes	E	N	NE	NO	O	S	SE	SO
2016	1	-	16,1	-	12,9	9,7	-	-	61,3
2016	2	-	3,4	-	3,4	3,4	-	-	89,7
2016	3	-	12,9	-	9,7	9,7	-	-	67,7
2016	4	11,1	11,1	-	18,5	-	25,9	7,4	25,9
2016	5	22,6	6,5	32,3	3,2	-	12,9	16,1	6,5
2016	6	30,0	-	3,3	-	-	13,3	53,3	-
2016	7	14,3	10,7	25,0	7,1	-	3,6	28,6	10,7
2016	8	-	16,1	9,7	9,7	12,9	22,6	16,1	12,9
2016	9	3,6	10,7	7,1	10,7	7,1	25,0	7,1	28,6
2016	10	-	12,9	6,5	12,9	3,2	6,5	-	58,1
2016	11	-	10,3	-	6,9	10,3	-	-	72,4
2016	12	-	13,3	-	10,0	20,0	-	-	56,7
2017	1	-	-	-	6,5	3,2	-	-	90,3
2017	2	-	17,9	-	17,9	7,1	-	-	57,1
2017	3	-	16,1	-	12,9	9,7	3,2	-	58,1
2017	4	-	13,3	10,0	3,3	6,7	33,3	-	33,3
2017	5	3,4	17,2	13,8	-	-	10,3	51,7	3,4
2017	6	13,8	10,3	17,2	6,9	-	13,8	31,0	6,9
2017	7	13,3	10,0	3,3	10,0	-	16,7	33,3	13,3
2017	8	6,7	26,7	10,0	20,0	3,3	10,0	13,3	10,0
2017	9	-	13,8	-	6,9	6,9	24,1	-	48,3
2017	10	-	16,7	-	13,3	10,0	3,3	-	56,7
2017	11	-	13,3	3,3	-	6,7	3,3	-	73,3
2017	12	-	6,5	3,2	3,2	3,2	-	-	83,9
2018	1	-	3,3	-	13,3	10,0	-	-	73,3
2018	2	-	10,7	-	14,3	10,7	-	-	64,3
2018	3	-	6,7	-	13,3	6,7	6,7	-	66,7
2018	4	-	7,1	10,7	-	3,6	25,0	14,3	39,3
2018	5	6,7	10,0	26,7	3,3	-	23,3	26,7	3,3
Prom		4,3	11,2	6,3	8,6	5,7	9,8	10,3	43,9
			26,1				63,9		

Tabla 4: Promedio de temperaturas mensuales, en relación a los promedios de material particulado.

Año	Mes	PROM_MP10	PROM_MP2.5	PROM_TEMP
2015	1	36,95	11,21	16,38
2015	2	45,75	19,22	15,63
2015	3	44,80	14,49	16,27
2015	4	44,14	15,40	13,91
2015	5	42,80	22,92	11,46
2015	6	41,44	28,58	10,40
2015	7	34,97	3,99	10,05
2015	8	34,59	3,11	11,37
2015	9	32,04	1,88	11,87
2015	10	26,71	1,29	13,66
2015	11	31,35	0,93	15,52
2015	12	30,52	3,33	17,70
2016	1	37,79	0,99	20,00
2016	2	33,96	0,95	18,97
2016	3	45,93	1,91	16,81
2016	4	38,52		13,77
2016	5	37,15	33,10	13,69
2016	6	66,88	68,89	10,70
2016	7	36,22	33,42	11,09
2016	8	38,03	29,68	11,70
2016	9	36,22	15,23	13,77
2016	10	22,78	10,12	14,15
2016	11	27,90	9,19	16,44
2016	12	24,52	7,49	17,66
2017	1	27,65	9,17	16,47
2017	2	25,46	8,13	15,13
2017	3	25,01	9,93	15,22
2017	4	27,45	15,02	14,22
2017	5	51,32	43,07	12,86
2017	6	43,66	35,90	11,54
2017	7	48,92	42,41	10,61
2017	8	34,10	26,59	10,52
2017	9	27,18	15,96	11,16
2017	10	18,68	9,01	11,97
2017	11	23,78	8,04	13,87
2017	12	22,39	8,87	15,29
2018	1	29,71	10,47	16,32
2018	2	29,28	10,89	16,26
2018	3	25,67	9,91	15,10
2018	4	33,54	20,35	12,42
2018	5	45,25	35,10	12,27