



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

**Influencia de Covid-19 en la calidad del aire en  
Coronel**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título  
de Ingeniero Civil

**José Luis Esteban Valenzuela Pérez**

Concepción, 26 de agosto de 2021

## **Dedicatoria**

La presente tesis está dedicada a cada momento donde creía no poder continuar, a cada caída que significó un aprendizaje, a la constancia para lograr las metas propuestas y a no dar nada por perdido que mientras exista una pequeña posibilidad de lograrlo vale la pena intentarlo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por su amor y apoyo incondicional a través de estos años como estudiante creyendo y ayudando constantemente, por cada sacrificio que han realizado para que yo llegue a este momento, a mi novia por ser una motivación constante, por ayudarme a no bajar los brazos, dándome siempre una palabra de aliento y acompañarme siempre.

También destacar a los docentes que participaron de mi formación dándome las herramientas necesarias, además de consejos para mi desempeño como profesional.

Agradecer a mis amigos que estuvieron presente de alguna u otra forma dándome ánimos para seguir adelante y a todas las personas que participaron de mi proceso de formación académica.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
1.1 Justificación del tema	8
1.2 Objetivos	9
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
2.1 Contaminación del aire	10
2.2 Fuentes de contaminantes	10
2.3 Caracterización de los contaminantes	11
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>12</b>
3.1 Caracterización de la zona en estudio	12
3.2 Recopilación de datos	13
3.3 Criterios de selección	13
3.4 Procedimiento	13
3.5 Análisis temporal	15
<b>4 ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>17</b>
4.1 Resultados comparación periodos históricos vs pandemia	17
4.1.1 Análisis y comentarios sobre resultados tabla N° 1	19
4.2 resultados cumplimiento normativa	20
4.2.1 Análisis y comentarios sobre resultados tablas N° 2, 3 y 4	22
4.3 Resultados de emergencias ambientales	24
4.3.1 Análisis y comentarios sobre resultados tablas N° 5, 6 y 7	26
4.4 Resultados comparación periodos cuarentena vs restricciones sanitarias	27
4.4.1 Análisis y comentarios sobre resultados tabla N° 8	29
<b>5</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>30</b>
5.1 Conclusiones	30
5.2 Recomendaciones	31
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>32</b>
<b>7 Anexos</b>	<b>34</b>

-

## **NOMENCLATURA**

NCH	Norma chilena
PM	Material particulado
SINCA	Sistema de información nacional de la calidad del aire
UBB	Universidad del Bío-Bío
$\alpha$	Nivel de significancia
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
PPDA	Plan de prevención y/o descontaminación atmosférica

## **Influencia del Covid- 19 en la calidad del aire en Coronel**

**Autor: José Luis Esteban Valenzuela Pérez**

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: jlvalenz@alumnos.ubiobio.cl

**Profesor Patrocinante: Dr. [Álvaro Julio Suazo Schwencke](#)**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: asuazo@ubiobio.cl

### **RESUMEN**

Las autoridades del estado de Chile tomaron medidas restrictivas para detener el avance de la pandemia producto del Covid-19, desde que este hizo su arribo al país en marzo de 2020, entre las que se encuentran las restricciones de desplazamiento, aforo máximo, toque de queda, y cuarentenas, para detener su propagación. En este estudio se analizaron los periodos históricos versus pandemia en relación a los contaminantes atmosféricos PM 2.5 y PM 10 en la comuna de Coronel, estableciendo una comparativa que llevó a evaluar su impacto en el cumplimiento de la normativa chilena, en conjunto con el plan de prevención y de descontaminación, teniendo como resultado evidencias que permiten determinar el efecto positivo del periodo de cuarentenas la calidad del aire.

**Palabras clave:** Pandemia, Calidad del Aire, MP 2.5, MP 10.

6506 palabras

## **Influence of Covid-19 on air quality in Coronel**

**Author: José Luis Esteban Valenzuela Pérez**

School of Civil Engineering, Universidad del Bío-Bío

Email: [jvalenz@alumnos.ubiobio.cl](mailto:jvalenz@alumnos.ubiobio.cl)

**Advisor: Dr. [Álvaro Julio Suazo Schwencke](#)**

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío

Email: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### **ABSTRACT**

The Chilean state authorities took restrictive measures to stop the advance of the pandemic as a result of Covid-19, since it made its arrival in the country in March 2020, among which are restrictions on movement, maximum capacity, touch of remains, and quarantines, to stop its spread. In this study, the historical periods vs pandemic in relation to the atmospheric pollutants PM 2.5 and PM 10 in the Coronel county were analyzed, establishing a comparison that led us to evaluate their impact in the compliance of Chilean regulations, in conjunction with the prevention plan and decontamination, resulting in evidence that allows us to determine the positive effect of the quarantine period on air quality.

**Keywords:** Pandemic, Air quality, PM 2.5, PM10.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del Covid-19 en 2019, presentando sus primeros casos, la enfermedad no ha hecho más que expandirse por el orbe, causando grandes impactos en la población. El virus ha producido más de 4 millones de muertes (worldometer, 2021), siendo catalogada como pandemia por la OMS en 2020 (OMS, 2020).

Cuando en Chile se presentaron los primeros contagios en marzo de 2020 (Minsal, 2020), se tomaron diversas medidas para detener su avance, cuarentenas, controles sanitarios, cierre de fronteras, distanciamiento social y aforo máximo fueron alguna de las medidas adoptadas. En consecuencia, las actividades industriales, urbanas y ganaderas se vieron disminuidas y en algunos casos detenidas completamente por las cuarentenas, dando como origen un escenario único de paralización de actividades humanas, esto tiene relación directa con la calidad del aire ya que son uno de los principales causantes de la contaminación.

Con el covid-19 la contaminación del aire tomó mayor relevancia, ya que esta tiene una incidencia con las enfermedades respiratorias, junto con aumentar la letalidad del virus (Pestel & Isphording, 2021). Esto hizo que se volviera motivo de interés para su estudio, el cual fue replicado en distintos países como India (Jayatra, Sourav, Abhra, & Sandip, 2021), China (Li, Jingyuan, & Zhaolin, 2021), Canadá (Al-Abadleh, Martin, Lucas, Priyesh, & Wisam, 2021), EEUU (El-Sayed, Elshorbany, & Koehler., 2021), entre otros. Para este caso en particular se realiza el estudio en Coronel, Chile, la cual es una ciudad costera que posee 116.262 habitantes (BCN, 2020), donde se destaca su actividad industrial y de transporte. El presente proyecto busca proporcionar los antecedentes necesarios para establecer el alcance de las restricciones impuestas a la población, y la calidad del aire bajo el contexto de la pandemia.

## 1.1 Justificación del tema

El aire es uno de los elementos esenciales para la vida en la tierra, el cual es usado para procesos metabólicos fundamentales, sin el cual no podrían existir los animales, las plantas y los seres humanos. La actividad humana es una de las causas principales causas de la contaminación de este recurso, generando emisiones nocivas producto de la quema de combustibles fósiles y la actividad industrial. Las emisiones afectan la calidad del aire y se relacionan con enfermedades diversas entre las que están las cardiovasculares, cáncer, migrañas crónicas, infertilidad y respiratorias, entre las que se encuentra el covid-19, aumentando su letalidad en ciudades con altos índices de contaminantes aéreos (Dales, y otros, 2021)

Con la llegada del virus se tuvieron que adoptar medidas a nivel global, para parar su propagación, la paralización de actividades producto de estas medidas produjo un efecto positivo inesperado, estudios en países como China, India y EEUU indicaron una baja en la cantidad de emisiones a la atmosfera, con ello mejorando la calidad del aire.

Coronel es una ciudad industrial costera, la cual produce muchas emisiones a la atmosfera producto de las actividades que se realizan, por esta razón es relevante el presente estudio, que busca aportar los datos necesarios para determinar si la calidad del aire se vio afectada por la pandemia.

## 1.2 Objetivos

### Objetivo general:

- Analizar la influencia de las restricciones sanitarias por Covid-19 en la calidad del aire en Coronel.

### Objetivos específicos:

- Comparar los contaminantes PM2.5, PM10 durante 3 años consecutivos previos a la pandemia con el periodo de las restricciones sanitarias 2020-2021
- Contrastar la calidad del aire de Coronel en relación los límites de la normativa vigente en Chile, usando los datos obtenidos en el objetivo previo.
- Evaluar el efecto del confinamiento producto de las cuarentenas en el plan de prevención y de descontaminación comunal asociado a la calidad del aire.

## 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallan conceptos y definiciones necesarios para entender la metodología ocupada en la presente investigación.

### 2.1 Contaminación del aire

La contaminación se define como: El acto o proceso de contaminar o el estado de contaminado, especialmente la contaminación del suelo, el agua o la atmósfera por la descarga de sustancias nocivas. Por lo tanto, el término contaminación del aire se refiere al acto de descargar sustancias nocivas a la atmósfera, lo que se transforma en un verdadero problema en este complejo sistema gaseoso natural el cual es esencial para sustentar la vida en la Tierra (S & M, 2016).

### 2.2 Fuentes de contaminantes

La contaminación del aire ha estado junto a la vida en la tierra, mucho antes de la aparición del ser humano. (Placeres, Olite, & Álvarez, 2006) Afirman que: “Según su origen, puede ser clasificada por causas naturales o antropogénicas. Las naturales siempre han existido, mientras que las antropogénicas, como su nombre lo indica, son causadas por las actividades humanas”.

Causas naturales: Actividad volcánica, incendios forestales, plantas y animales en descomposición, polen y esporas, erosión del suelo y meteorización del mineral por el viento, tormentas de arena, emisión de sustancias gaseosas del suelo, ozono y óxidos nitrosos producto de tormentas eléctricas, etc.

Estos contaminantes tienen un nivel bajo en causar efectos en la salud humana y solo plantean un problema en la calidad del aire cuando se producen de manera significativa cerca de la población (Godish, 2003).

Causas antropogénicas: Combustión incompleta de la madera, uso de carbón como combustible, recursos usados para el transporte (vehículos de motor, barcos, aviones, trenes), plantas generadoras de electricidad alimentadas por combustibles fósiles, calderas industriales, plantas refinadoras de petróleo, fundición de minerales e incineración de los desechos municipales, etc.

Estos contaminantes siguen siendo un problema ambiental y de salud pública grave, ya que dañan el bienestar y la salud de la población (Godish, 2003).

## 2.3 Caracterización de los contaminantes

Junto con los contaminantes seleccionados para este estudio existen más componentes nocivos para la salud según (Ministerio del medio ambiente, 2016) los principales contaminantes de la atmósfera son:

- Material Particulado (MP):  
El MP se clasifica según su diámetro, característica de la cual depende la intensidad de sus impactos. En Chile se utilizan dos métricas para clasificarlo: partículas de diámetros menores a 10 micrones conocidas como MP 10 y de diámetros menores a 2,5 micrones conocidas como MP 2,5. Este último es el contaminante más dañino para la salud y que genera mayores niveles de mortalidad prematura en la población.
- Monóxido de carbono (CO):  
Este gas es producto de la combustión incompleta de los combustibles al existir una cantidad insuficiente de oxígeno, dando como resultado CO en vez de CO<sub>2</sub>. Los vehículos a motor y los procesos industriales son responsables de aproximadamente el 80% de estas emisiones a la atmósfera. Sin embargo, también se produce al interior del hogar por la combustión residencial de leña para calefacción, cocinas, humo de cigarrillo y calefones.
- Óxidos de nitrógeno (NOx):  
Estos gases se producen durante el quemado de maderas y combustibles fósiles, como gasolina, carbón y gas natural. El sector transporte constituye la fuente principal de emisión de NOx. El mayor desplazamiento en vehículos particulares por parte de la población en las grandes ciudades y el crecimiento sostenido del parque automotriz son una de las causas más importantes del aumento de las emisiones de este contaminante. Entre los óxidos del gas nitrógeno se incluyen: Óxido nítrico (NO), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Trióxido de nitrógeno (NO<sub>3</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Pentóxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).
- Óxidos de azufre (SOx):  
El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) son los óxidos dominantes del azufre presentes en la atmósfera. Son producto de la combustión de combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo y carbón. Los óxidos de azufre pueden acelerar la corrosión de los materiales al formar primero ácido sulfúrico en la atmósfera o sobre la superficie de los metales.

- Ozono troposférico (O<sub>3</sub>):  
Se trata del principal componente del esmog fotoquímico y uno de los más fuertes agentes oxidantes. El ozono se forma en la tropósfera y de la acción de ésta en las moléculas de ozono en la estratósfera, como producto de la reacción entre los NO<sub>x</sub>, los COV y los hidrocarburos (HC) en presencia de radiación solar. Las fuentes de hidrocarburos y NO<sub>x</sub> en las zonas urbanas son primordialmente los vehículos.

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se mencionan los procedimientos ocupados para el desarrollo de los objetivos presentes en el estudio.

#### 3.1 Caracterización de la zona en estudio

El lugar donde se llevó a cabo la investigación, corresponde a la comuna de Coronel la cual, pertenece a la provincia del Gran Concepción ubicada en la región del Biobío. En la figura N°1 se muestra la distribución espacial de las estaciones de monitoreo de calidad del aire seleccionadas.



Figura 1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire en Coronel.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la plataforma del MMA SINCA.

Ubicación de las estaciones seleccionadas en coordenadas UTM

- Estación Cerro Merquín: 664607 E 5901176 N
- Estación Coronel Sur: 665556 E 5899980 N

### **3.2 Recopilación de datos**

La compilación de la muestra se realizó mediante el sistema de información nacional para la calidad del aire (SINCA) proporcionada por el MMA (Ministerio de medio ambiente, 2009), pagina web que muestra información actualizada de las estaciones distribuidas en Chile en tiempo real.

### **3.3 Criterios de selección**

Los datos recopilados fueron tomados en base a su información histórica disponible. Es por esto que sólo se seleccionaron las estaciones que contienen 3 años de datos medidos consecutivos antes de la pandemia para poder establecer un análisis temporal, en concordancia con la normativa vigente de la calidad del aire, decreto N° 12 (Ministerio de Medio Ambiente, 2011), y decreto N° 59 (Ministerio de Medio Ambiente, 1998) junto al periodo de la pandemia, este procedimiento se realizó para cada estación y contaminantes de manera individual.

### **3.4 Procedimiento**

#### **Pruebas paramétricas y no paramétricas**

Después de ordenados y clasificados los datos por estación y contaminantes, es necesario saber qué tipo de análisis estadísticos aplicar, dependiendo de su distribución.

#### **Estadística paramétrica**

Es parte de la estadística que requiere determinados requisitos para emplear en la inferencia estadística, se necesita para su uso el supuesto de normalidad es decir que las muestras aleatorias (que sean semejante a una curva de Gauss) y que cumplan el supuesto de homogeneidad de varianza (Flores-Ruiz E, 2017).

#### **Estadística no paramétrica**

Cuando el supuesto de normalidad no se cumple, se pasa a ocupar métodos estadísticos de distribución libre, los cuales no suponen nada acerca de la distribución de la muestra (Nolberto Sifuentes & Ponce Aruneri, 2008, pág. 40)

La diferencia entre estadística paramétrica y no paramétrica está basada en el conocimiento o desconocimiento de la distribución de probabilidad de la variable que se pretende estudiar, en adición los procedimientos denominados paramétricos tienen una mayor precisión.

### **Criterios paramétricos:**

- **Variable numérica:**  
Que las variables en estudio describan una característica en términos numéricos o de cantidad.
- **Normalidad:**  
La distribución de probabilidad continua más importante en todo el campo de la estadística es la distribución normal. Su gráfica, denominada curva normal, es la curva con forma de campana, la cual describe de manera aproximada muchos fenómenos que ocurren en la naturaleza, la industria y la investigación. (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012, pág. 172)  
Es por esto es necesario comprobar si las concentraciones de los contaminantes siguen una distribución normal. Esta verificación se realiza con los test de bondad de ajuste, dentro de los cuales se destacan dos: Kolmogorov-Smirnov para muestras mayores a 50 datos y Shalpiro-wilk para muestras con cardinalidad igual o menor a 50. Ambos test comparan la distribución de datos mediante la función de distribución de datos empírica, la cual se compara con la distribución normal, si no existen diferencias grandes la Hipótesis se aceptará, en caso contrario se rechazará, es necesario aclarar que el nivel de confianza utilizado es de 95% y la significancia 0,05
- **Homocedasticidad:**  
Además de los criterios previos, la homogeneidad de varianzas es uno que también debe satisfacerse. Esto se cumple cuando las varianzas del grupo en estudio sean aproximadamente iguales, una forma práctica de hacerlo es mediante el test de Levene.

### **T-Student:**

La Prueba de análisis T para muestras relacionadas, corresponde a un test de carácter paramétrico, el cual permite comparar las medias de dos muestras, para determinar si existe una diferencia significativa entre estas.

Los requisitos para ejecutar el test son:

- Cumple con los criterios de normalidad.
- Sus varianzas son homogéneas.

Para este análisis se usó un nivel de confianza del 95% y una significancia de 0,05.

### **Wilcoxon:**

El test de Wilcoxon corresponde a un procedimiento no paramétrico alternativo, cuando no se cumple la suposición de normalidad. Cuando es relevante comprobar la igualdad entre las medias de dos distribuciones continuas, que no cumplen con las premisas paramétricas, y además las muestras son independientes, la prueba de rangos de Wilcoxon o la prueba de dos muestras de Wilcoxon es la alternativa conveniente a la prueba T-Student (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012, pág. 665).

### **3.5 Análisis temporal**

En relación a los periodos de tiempo, estos fueron agrupados bajo los siguientes criterios:

- Los datos fueron agrupados en trimestres, contando con 3 años consecutivos de datos previos a la pandemia, junto al periodo anual desde el inicio de las restricciones sanitarias.
- Se seleccionaron la máxima cantidad de semanas completas disponibles, en base al trimestre con la menor cantidad de datos, debido a que existe una falta de mediciones en las estaciones.
- Se procedió a trabajar con los datos máximos existentes, por periodo trimestral haciendo uso del programa Excel.

### **Contraste periodos históricos vs restricciones sanitarias**

Con la creciente actividad humana, la cantidad de emisiones atmosféricas se ha ido incrementando, analizar sus datos históricos y contrastarlos con el periodo de la pandemia 2020-2021, periodo donde se implementaron protocolos de restricción de movilidad, para observar si estas restricciones tuvieron efecto de variabilidad en sus contaminantes.

Trimestres agrupados en estudio: -1° trimestre (T1): Enero, febrero, marzo

-2° trimestre (T2): Abril, mayo, junio

-3° trimestre (T3): Julio, agosto, septiembre

-4° Trimestre (T4): Octubre, noviembre, diciembre

Posterior a la agrupación de los datos por trimestre y periodo anual, se procedió a realizar el análisis de normalidad, con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, mediante el uso de matrices de cálculo en Excel para cada estación y contaminante.

Se comparan las medianas de los grupos, haciendo uso de los datos históricos previos a la pandemia versus el periodo de las restricciones sanitarias, utilizando el test de Wilcoxon o T- Student con matrices de cálculo en Excel, según corresponda.

Se tabulan los resultados obtenidos, para su posterior análisis, cabe destacar que para los test mencionados se ocupó un nivel de confianza de 95% y un  $\alpha$  de 0.05.

### **Procedimiento ante la normativa vigente**

Chile posee una reglamentación para la calidad del aire, la cual indica los límites a los que un contaminante puede llegar, además de establecer cuando estos niveles son causantes de alertas ambientales. Esto para tomar medidas adecuadas para no afectar la salud de la población.

La normativa a usar es la siguiente:

- **Decreto supremo N° 12** (año 2011): Establece la NCH primaria de calidad del aire para material fino respirable MP 2.5
- **Decreto supremo N° 59** (año 1998): Establece la NCH primaria de calidad del aire para material grueso respirable MP 10

Los datos fueron organizados de forma anual, para cada contaminante y estación.

Se calcularon las medias de los datos anuales y trianuales haciendo uso de Excel, para comprobar la NCH.

A través de Excel se obtuvo el percentil 98 de cada periodo, con el fin de verificar la NCH.

Los datos con las concentraciones diarias de cada contaminante se tabulan para evaluar el cumplimiento de la NCH para 24 Hrs.

A partir de las medias de los periodos anuales se establecieron diferencias entre los periodos históricos vs las restricciones sanitarias.

### **Situaciones de emergencia ambiental**

Cuando los límites de superación de la normativa de calidad del aire son ampliamente superados, pudiendo tener consecuencias en la salud de la población, se decreta la emergencia ambiental, la cual establece medidas a tomar por la población para disminuir las emisiones.

Se agrupan los datos de menor a mayor y se tabulan los datos que se encuentran dentro de los rangos prestablecidos para generar una situación de emergencia ambiental.

### **Plan de prevención y de descontaminación ambiental (PPDA)**

En las comunas de Concepción dentro de las cuales se encuentra Coronel, los niveles de concentración de material particulado fino (MP 2.5) se encuentran sobrepasando la norma de calidad del aire en Chile y los niveles de material particulado grueso (MP 10) están muy cerca de ese límite, decretando zona saturada y zona latente debido a dichos contaminantes. Es por esto que se estableció el PPDA un instrumento de gestión ambiental diseñado para disminuir los niveles de los contaminantes y establecer niveles que no sean perjudiciales para

la salud de las personas. Este plan fue puesto en marcha el 17 de diciembre de 2019 (Seremi del medio ambiente, 2020).

Se agruparon los datos en forma trimestral perteneciente al periodo anual desde el inicio de las restricciones sanitarias iniciado en marzo 2020-2021.

Mediante matrices en Excel se verifica normalidad con el test de Shalpiro-Wilk y Levene para cada estación y contaminante.

Se comparan las medianas de los grupos, haciendo uso de los datos históricos previos a la pandemia versus el periodo de las restricciones sanitarias, utilizando el test de Wilcoxon o T- Student con matrices de cálculo en Excel, según corresponda.

Se tabulan los resultados obtenidos, para su posterior análisis, cabe destacar que para los test mencionados se ocupó un nivel de confianza de 95% y un  $\alpha$  de 0,05.

## **4 ANÁLISIS Y RESULTADOS**

### **4.1 Resultados comparación periodos históricos vs pandemia**

En la tabla N° 1 se visualizan los resultados de los test aplicados para el primer objetivo, tanto paramétricos como no paramétricos para analizar mediante sus medias las variaciones de los periodos históricos versus pandemia.

Para una mejor comprensión de los datos expuestos estos se agruparon por colores, cada uno corresponde a un periodo anual, para los periodos históricos se tiene naranja, mostaza y celeste, mientras que para el periodo de pandemia le corresponde el verde.

Por último, mencionar que los periodos trimestrales dentro de cada periodo anual se encuentran ordenados con la siguiente conjetura T1, T2, T3, T4 correspondiente a cada trimestre.

Tabla N° 1 variación temporal de los contaminantes históricos vs pandemia

Estación	contaminante	Periodo	Test - Shalpiro Wilk (Normalidad)	Test Levene (homogeneidad de varianzas)		Test wilcoxon	Test T-Student
			Nivel de confianza 95%/ $\alpha = 0.05$	Periodo	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.05$
Cerro merquin	PM 2.5	2016-2017 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2016-2017 T1 vs 2020-2021 T1	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2016-2017 T2	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2016-2017 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2016-2017 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2016-2017 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2016-2017 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2016-2017 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2017-2018 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T2	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2017-2018 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2017-2018 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2017-2018 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2018-2019 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T2	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2018-2019 T2 vs 2020-2021 T2	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2018-2019 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2018-2019 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				
		2020-2021 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
		2020-2021 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				
		2020-2021 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				
Cerro merquin	PM 10	2013-2014 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2013-2014 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2013-2014 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2013-2014 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	N/A	P- valor > 0.05 : Se acepta la hipótesis nula
		2013-2014 T3	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2013-2014 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2013-2014 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2013-2014 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	N/A	P- valor > 0.05 : Se acepta la hipótesis nula
		2014-2015 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2014-2015 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2014-2015 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2014-2015 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	N/A	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula
		2014-2015 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2014-2015 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2014-2015 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2014-2015 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2015-2016 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2015-2016 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2015-2016 T2	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2015-2016 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2015-2016 T3	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2015-2016 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2015-2016 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2015-2016 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
		2020-2021 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
		2020-2021 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				
		2020-2021 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
Coronel Sur	PM 10	2016-2017 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2016-2017 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2016-2017 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2016-2017 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	N/A	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula
		2016-2017 T3	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2016-2017 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2016-2017 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2016-2017 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2017-2018 T1 vs 2020-2021 T1	Son homogéneas	N/A	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula
		2017-2018 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2017-2018 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	N/A	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula
		2017-2018 T3	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2017-2018 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor > 0.05 : Se acepta la hipótesis nula	N/A
		2017-2018 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2017-2018 T4 vs 2020-2021 T4	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T1	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad	2018-2019 T1 vs 2020-2021 T1	no son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2018-2019 T2 vs 2020-2021 T2	Son homogéneas	N/A	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula
		2018-2019 T3	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2018-2019 T3 vs 2020-2021 T3	Son homogéneas	P- valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2018-2019 T4	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad	2018-2019 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P- valor > 0.05 : Se acepta la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T1	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
		2020-2021 T2	P- valor > 0.05 : Cumple normalidad				
		2020-2021 T3	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				
		2020-2021 T4	P- valor < 0.05 : No cumple normalidad				

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.1 Análisis y comentarios sobre resultados tabla N° 1**

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 2.5

La normalidad se cumple en un 18,75% de los periodos seleccionados. En cuanto a la homogeneidad de varianzas esta se cumple un 66,6% entre los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student ninguno de los periodos a comparar cumple con los requisitos para su aplicación. Para el test de Wilcoxon se rechazó la hipótesis nula 100% de los periodos seleccionados.

Se puede decir a través de la comparación de los periodos históricos versus el periodo de las restricciones sanitarias, que existe una diferencia entre sus medias antes y después en el 100% de los casos, por lo que hay una variación significativa entre los periodos, esto puede tener su origen en factores como restricciones de desplazamiento por el toque de queda y el confinamiento voluntario para evitar contagios, además de los periodos de cuarentena.

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 10

La normalidad se cumple en 56,25% de los periodos seleccionados para esta estación. En cuanto a la homogeneidad de varianzas se cumple en un 75% entre los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student se aceptó la hipótesis nula en un 66.6% de los casos donde se cumplieron los requisitos para aplicarlo. Con respecto al test de Wilcoxon se rechazó la hipótesis nula 100% en los periodos donde se aplicó.

Se puede decir mediante la comparación de los periodos históricos versus el periodo de las restricciones sanitarias, que existe una diferencia entre sus medias antes y después en el 83,3% de los casos, por lo que en la mayoría de los casos hay una variación significativa entre los periodos, esto puede tener su origen en factores como restricciones de desplazamiento por el toque de queda y el confinamiento voluntario para evitar contagios, además de los periodos de cuarentena.

##### En la estación Coronel sur en relación a PM 10

La normalidad se cumple en 81,25% de los periodos seleccionados para esta estación. En cuanto a la homogeneidad de varianzas se cumple en un 66,6% entre los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student se rechazó la hipótesis nula en 100% de los casos donde se aplicó. Con respecto al test de Wilcoxon se rechazó la hipótesis nula 75% de los periodos donde se aplicó.

Se puede decir mediante la comparación de los periodos históricos versus el periodo de las restricciones sanitarias, que existe una diferencia entre sus medias antes y después en el 83,3% de los casos, por lo que en la mayoría de los casos hay una variación significativa entre los periodos, esto puede tener su origen en factores como restricciones de desplazamiento por el toque de queda y el confinamiento voluntario para evitar contagios, además de los periodos de cuarentena.

En resumen, en cuanto a los contaminantes analizados se puede observar que hubo una variación significativa en las medias de los periodos históricos vs pandemia analizados en el presente estudio.

#### 4.2 resultados cumplimiento normativa

En las tablas N° 2, 3 y 4 se presentan los resultados en relación a la aplicación de la normativa chilena de calidad del aire, en los datos recopilados de las estaciones en estudio.

Para comprender mejor lo presentado, se mantendrán los colores presentados en la tabla N°1, además lo periodos fueron separados para cada limite expuesto por la normativa.

Tabla N° 2 cumplimiento de la normativa, estación Cerro Merquín MP 2,5

Cerro Merquin MP 2,5		
Periodo anual	Concentración anual < 20 (µg/m3)	
2016-2017	21,48	no cumple con la normativa
2017-2018	26,29	no cumple con la normativa
2018-2019	19,40	cumple con la normativa
2020-2021	19,64	cumple con la normativa
Periodo Trianual		
(2016-2017;2017-2018;2018-2019)	22,39	no cumple con la norma
	Percentil "98" < 50 (µg/m3)	Cumplimiento de la norma
2016-2017	46,01	Cumple
2017-2018	54,50	No Cumple
2018-2019	50,62	No Cumple
2020-2021	54,98	No Cumple
	Concentraciones diarias < 50 (µg/m3)	Cumplimiento de la norma
2016-2017	3	NO Cumple
2017-2018	6	NO Cumple
2018-2019	4	NO Cumple
2020-2021	6	NO Cumple

Tabla N° 3 cumplimiento de la normativa, estación Cerro Merquín MP 10

Cerro Merquin MP 10		
Periodo anual	Concentración anual < 50 (µg/m3N)	
2013-2014	40,11	cumple con la normativa
2014-2015	42,26	cumple con la normativa
2015-2016	39,64	cumple con la normativa
2020-2021	39,24	cumple con la normativa
Periodo Trianual		
(2013-2014;2014-2015;2015-2016)	40,67	cumple con la norma
Percentil "98" < 150 (µg/m3)		
2013-2014	87,76	Cumple
2014-2015	99,76	Cumple
2015-2016	91,26	Cumple
2020-2021	101,66	Cumple
Concentraciones diarias < 150 (µg/m3)		
2013-2014	0	Cumple
2014-2015	0	Cumple
2015-2016	1	No Cumple
2020-2021	0	Cumple

Tabla N° 4 cumplimiento de la normativa, estación Coronel sur MP 10

Coronel sur MP 10		
Periodo anual	Concentración anual < 50 (µg/m3N)	
2016-2017	62,62	no cumple con la normativa
2017-2018	48,45	cumple con la normativa
2018-2019	64,93	no cumple con la normativa
2020-2021	50,71	no cumple con la normativa
Periodo Trianual		
(2013-2014;2014-2015;2015-2016)	58,67	no cumple con la norma
Percentil "98" < 150 (µg/m3)		
2016-2017	131,61	Cumple
2017-2018	101,66	Cumple
2018-2019	153,00	No Cumple
2020-2021	131,30	Cumple
Concentraciones diarias < 150 (µg/m3)		
2016-2017	0	Cumple
2017-2018	0	Cumple
2018-2019	6	No Cumple
2020-2021	2	No Cumple

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1 Análisis y comentarios sobre resultados tablas N° 2, 3 y 4

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 2.5 (tabla N° 2)

Con respecto a las concentraciones anuales el 50% de los periodos en estudio sobrepasa la normativa. Sobre la concentración trianual de los datos históricos esta sobrepasa la normativa. En relación con el percentil 98 de los datos, éstos sobrepasan la norma 75% de los periodos seleccionados para esta estación. Para las concentraciones diarias el 100% de los periodos sobrepasan la normativa.

En resumen, la normativa se ve sobrepasada en todos los periodos donde se aplicó, por lo que no existen diferencias entre los datos históricos y el periodo de las restricciones sanitarias.

Por otro lado en la tabla N° 2a que se desprende del análisis de la NCH se puede ver la diferencia entre los promedios anuales.

Tabla N°2a comparación máximos y mínimos históricos vs pandemia

Media pandemia	Máximo de históricos seleccionados	Mínimo de históricos seleccionados
19,64	26,29	19,4
Diferencia	-25,29%	1,24%

Se puede observar una disminución importante del periodo de la pandemia con respecto a los promedios máximos, más no así con el periodo mínimo donde resultó un pequeño incremento en el promedio de este contaminante.

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 10 (tabla N° 3)

Con respecto a las concentraciones anuales el 100% de los periodos en estudio cumple la normativa. Sobre la concentración trianual de los datos históricos esta cumple la normativa. En relación con el percentil 98 de los datos, éstos cumplen la norma 100% de los periodos seleccionados para esta estación. Para las concentraciones diarias el 75% de los periodos sobrepasan la normativa.

En resumen, la normativa se cumple para el 66% de los datos históricos y un 100% para el periodo de las restricciones sanitarias, por lo que existen diferencias para el periodo de pandemia, donde no fue sobrepasada la NCH durante este periodo.

Por otro lado, en la tabla N° 3a que se desprende del análisis de la NCH se puede ver la diferencia entre los promedios anuales.

Tabla N° 3a comparación máximos y mínimos históricos vs pandemia

Media pandemia	Máximo de históricos seleccionados	Mínimo de históricos seleccionados
39,24	42,26	39,64
Diferencia	-7,15%	-1,01%

Se puede observar una disminución en el promedio anual del periodo de la pandemia con respecto a los promedios máximos y mínimos históricos.

En la estación Coronel sur, en relación a PM 10 (tabla N° 4)

Con respecto a las concentraciones anuales el 75% de los periodos en estudio sobrepasa la normativa. Sobre la concentración trianual de los datos históricos esta no cumple la normativa. En relación con el percentil 98 de los datos, éstos cumplen la norma 75% de los periodos seleccionados para esta estación. Para las concentraciones diarias el 50% de los periodos sobrepasan la normativa.

En resumen, la normativa se cumple para el 33% de los datos históricos y se ve sobrepasada en el periodo de las restricciones sanitarias, por lo que existen diferencias durante la pandemia de manera negativa.

Por otro lado, en la tabla N° 4a que se desprende del análisis de la NCH podemos ver la diferencia entre los promedios anuales.

Tabla N° 4a comparación máximos y mínimos históricos vs pandemia

Media pandemia	Máximo de históricos seleccionados	Mínimo de históricos seleccionados
50,71	64,93	48,45
Diferencia	-21,90%	4,66%

Se puede observar una disminución importante del periodo de la pandemia con respecto a los promedios máximos, más no así con el periodo mínimo donde resultó un incremento en el promedio de este contaminante.

### 4.3 Resultados de emergencias ambientales

En las tablas N° 5, 6 y 7 se presentan los resultados en relación a las emergencias ambientales decretadas en los periodos históricos y de pandemia.

La conjetura de colores establecida para la tabla N°1 se mantendrá, además mencionar que se separaron en trimestres, separando cada situación ambiental, junto con la cantidad de veces presentada en ese periodo.

Tabla N° 5 Situaciones de emergencia ambiental, estación Cerro Merquín MP 2.5

Cerro Merquin MP 2.5						
Periodo 2016-2017						
Nivel	Concentración 24 Hrs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	80-109	0	1	0	0	
Preemergencia	110-169	0	0	0	0	
Emergencia	>170	0	0	0	0	
Periodo 2017-2018						
Nivel	Concentración 24 Hrs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	80-109	0	0	0	0	
Preemergencia	110-169	0	1	0	0	
Emergencia	>170	0	2	0	0	
Periodo 2018-2019						
Nivel	Concentración 24 Hrs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	80-109	1	0	0	0	
Preemergencia	110-169	0	0	0	0	
Emergencia	>170	0	0	0	0	
Periodo 2020-2021						
Nivel	Concentración 24 Hrs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	80-109	0	0	1	0	
Preemergencia	110-169	0	0	0	0	
Emergencia	>170	0	0	0	0	

Tabla Nº 6 Situaciones de emergencia ambiental, estación Cerro Merquín MP 10

Cerro merquin MP 10						
Periodo 2013-2014						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2014-2015						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2015-2016						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	1	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2020-2021						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	

Tabla Nº 7 Situaciones de emergencia ambiental, estación Coronel sur MP 10

Coronel sur MP 10						
Periodo 2016-2017						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2017-2018						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2018-2019						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	
Periodo 2020-2021						
Nivel	Concentración 24 Hrs( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	T1	T2	T3	T4	
Alerta	195-239	0	0	0	0	
Preemergencia	240-329	0	0	0	0	
Emergencia	340 o superior	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

#### **4.3.1 Análisis y comentarios sobre resultados tablas N° 5, 6 y 7**

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 2.5 (tabla N° 5)

Para las situaciones que generan una alerta ambiental se alcanza un 18,75% de los periodos seleccionados para esta estación. En relación a las situaciones que generan una pre- emergencia ambiental, se presenta un 6,25% de los periodos seleccionados para esta estación. Sobre las situaciones que generan una emergencia ambiental se presentan 12,25% de los periodos seleccionados para esta estación.

En resumen, mediante la observación podemos ver que entre los periodos históricos seleccionados, la situación de emergencia ambiental se presentó dos veces, mientras que en periodo de pandemia no hubo emergencia.

##### En la estación Cerro Merquín, en relación a PM 10 (tabla N° 6)

Para las situaciones que generan una alerta ambiental se alcanza un 6,25% de los periodos seleccionados para esta estación. En relación a las situaciones que generan una pre- emergencia ambiental, estas no se dieron para los periodos seleccionados para esta estación. Sobre las situaciones que generan una emergencia ambiental, estas no se dieron para los periodos seleccionados para esta estación.

En resumen, mediante la observación podemos ver que en los periodos históricos como en el periodo de pandemia no hubo emergencias ambientales.

##### En la estación Coronel sur, en relación a PM 10 (tabla N° 7)

Para las situaciones que generan una alerta ambiental, estas no se alcanzan para los periodos seleccionados para esta estación. En relación a las situaciones que generan una pre- emergencia ambiental, estas no se dieron para los periodos seleccionados para esta estación. Sobre las situaciones que generan una emergencia ambiental, estas no se dieron para los periodos seleccionados para esta estación.

En resumen, mediante la observación podemos ver que en los periodos históricos como en el periodo de pandemia no hubo emergencias ambientales.

Generalizando en relación a las emergencias ambientales sólo se presentaron para los datos históricos del contaminante PM 2.5, mientras que en el periodo pandemia los datos no excedían los límites para decretar una emergencia ambiental.

#### 4.4 Resultados comparación periodos cuarentena vs restricciones sanitarias

En la tabla N° 8 se visualizan los resultados de los test aplicados para el tercer objetivo, tanto paramétricos como no paramétricos para analizar mediante sus medias las variaciones de los periodos restricciones sanitarias vs cuarentenas.

Cada periodo trimestral contrastado corresponde a un trimestre de restricciones sanitarias vs uno de cuarentenas

Por último, mencionar que los periodos trimestrales dentro de la pandemia se encuentran ordenados con la siguiente conjetura T1, T2, T3, T4 correspondiente a cada trimestre.

Tabla N° 8 Resultados de análisis de normalidad y variación temporal de los contaminantes periodos pandemia.

Estación	contaminante	Periodo	Test- Shalpiro Wilk (Normalidad)	Test Levene (homogeneidad de varianzas)		Test wilcoxon	Test-T-Student
			Nivel de confianza 95%/ $\alpha=0.05$	Periodo	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$
Cerro merquin	PM 2.5	2020-2021 T1	P-valor > 0.05 : Cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T2	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T3	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T4	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
Cerro merquin	PM 10	2020-2021 T1	P-valor > 0.05 : Cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T2	P-valor > 0.05 : Cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T3	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T4	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
Coronel Sur	PM 10	2020-2021 T1	P-valor > 0.05 : Cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T2	P-valor > 0.05 : Cumple normalidad	2020-2020 T1 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T3	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T4	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A
		2020-2021 T4	P-valor < 0.05 : No cumple normalidad	2020-2020 T4 vs 2020-2021 T3	no son homogéneas	P-valor < 0.05 : Se rechaza la hipótesis nula	N/A

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.1 Análisis y comentarios sobre resultados tabla N° 8**

##### En la estación Cerro Merquin, en relación a PM 2.5

La normalidad se cumple para 25% de los periodos seleccionados para esta estación. En cuanto a la homogeneidad de varianzas no se cumple en el 100% de los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student ninguno de los periodos cumple con los requisitos para su aplicación. Con respecto al test de Wilcoxon se rechaza la hipótesis nula en el 100% de los periodos seleccionados.

En resumen, a través del contraste de los periodos pertenecientes a la pandemia entre 2020-2021, relacionando los trimestres cuarentena versus los que sólo tenían restricciones sanitarias, podemos decir que existe diferencia entre sus medias en el 100% de los casos comparados, por lo que existe una variación significativa entre estos trimestres, esto se puede deber al confinamiento obligatorio (cuarentenas), aplicadas por el gobierno para detener la propagación del virus.

##### En la estación Cerro Merquin, en relación a PM 10

La normalidad se cumple para 50% de los periodos seleccionados para esta estación. En cuanto a la homogeneidad de varianzas no se cumple en el 100% de los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student ninguno de los periodos cumple con los requisitos para su aplicación. Con respecto al test de Wilcoxon se rechaza la hipótesis nula en el 100% de los periodos seleccionados.

En resumen, a través del contraste de los periodos pertenecientes a la pandemia entre 2020-2021, relacionando los trimestres cuarentena versus los que sólo tenían restricciones sanitarias, podemos decir que existe diferencia entre sus medias en el 100% de los casos comparados, por lo que existe una variación significativa entre estos trimestres, esto se puede deber al confinamiento obligatorio (cuarentenas), aplicadas por el gobierno para detener la propagación del virus.

##### En la estación Coronel sur, en relación a PM 10

La normalidad se cumple para 50% de los periodos seleccionados para esta estación. En cuanto a la homogeneidad de varianzas no se cumple en 100% de los periodos seleccionados para esta estación. Sobre el test de T- Student ninguno de los periodos cumple con los requisitos para su aplicación. Con respecto al test de Wilcoxon se rechaza la hipótesis nula en el 100% de los periodos seleccionados.

En resumen, a través del contraste de los periodos pertenecientes a la pandemia entre 2020-2021, relacionando los trimestres cuarentena versus los que sólo tenían restricciones sanitarias, podemos decir que existe diferencia entre sus medias en el 100% de los casos comparados, por lo que existe una variación significativa entre estos trimestres, esto se puede deber al confinamiento obligatorio (cuarentenas), aplicadas por el gobierno para detener la propagación del virus.

Generalizando en cuanto a los periodos de restricciones sanitarias vs cuarentena podemos ver que existe una diferencia significativa entre todas las medias de los grupos contrastados.

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

En base a lo expuesto anteriormente en la comparación de datos históricos y de pandemia permite concluir que hay evidencia significativa en la variación entre las medias de los periodos históricos y el periodo de las restricciones sanitarias para el caso de PM 2.5 y PM10, lo que implica en que el Covid-19 tuvo un impacto importante de manera favorable en la fluctuación del material particulado en la comuna de Coronel disminuyéndolo.

En cuanto a la normativa chilena de calidad del aire, en el caso del material particulado fino 2.5 no hubo variaciones ya que fue sobrepasada en ambos estadios de estudio. Para material particulado grueso 10 hubo diferencias entre ambas estaciones, ya que la norma fue sobrepasada en una de las estaciones en estudio. Sin embargo, para la siguiente estación se cumplió la norma, por lo que no es posible dilucidar una tendencia clara. En referencia a los promedios anuales se puede deber a casos particulares donde fueron alcanzados mayores valores lo cual corresponde a casos aislados que afectaron el promedio anual y no representa un cambio con respecto al análisis expuesto para el primer objetivo.

Asimismo, las situaciones de emergencia ambiental se decretan cuando los niveles de los contaminantes entran en niveles perjudiciales para la salud. En este sentido para los contaminantes en estudio hubo una tendencia positiva para el periodo pandemia, donde no se presentaron situaciones de emergencia ambiental, a diferencia de los periodos históricos, por lo que se puede identificar la influencia del Covid-19 como un activo componente en el mejoramiento de la calidad del aire en la comuna de Coronel.

Por último, para el análisis expuesto para el plan de prevención y descontaminación comunal complementario a la normativa chilena de calidad del aire, lo que permite establecer acciones para disminuir los niveles de contaminantes. Recopilando los resultados puede deducir que el efecto de las cuarentenas aplicadas en Coronel tuvieron una mayor influencia respecto a la disminución del material particulado en

el aire en comparación a el periodo donde sólo hubieron restricciones sanitarias. Lo que se puede inferir es que el confinamiento obligatorio disminuyó el desplazamiento de las personas que transitan con transporte privado o público y ayudó a la disminución de los contaminantes. Sintetizando lo presentado es que las cuarentenas fueron más efectivas en el mejoramiento de la calidad del aire que los periodos de sin confinamiento obligatorio.

## **5.2 Recomendaciones**

Si bien el efecto de la pandemia fue positivo en relación a la calidad del aire, éste podría ser más bien pasajero, para cuando logre erradicar la pandemia. Es por esto que en relación a la calidad del aire en Coronel como tema de estudio debería ser continuado, para observar la tendencia real en plan de prevención y de descontaminación en relación a la variación de estos contaminantes, producto de la puesta en marcha de éste, para el cuidado de la población.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Al-Abadleh, H. A., Martin, L., Lucas, N., Priyesh, P., & Wisam, M. (2021). Rigorous quantification of statistical significance of the COVID-19 lockdown effect on air quality: The case from ground-based measurements in Ontario, Canada. *Elsevier*. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125445
- BCN. (diciembre de 2020). *Coronel Reporte Comunal 2020*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: [https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2020&idcom=8102](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2020&idcom=8102)
- Dales, R., Blanco Vidal, C., Romero-Meza, R., Schoen, S., Lukina, A., & Cakmak, S. (2021). The association between air pollution and COVID-19 related mortality in Santiago, Chile: A daily time series analysis. *Elsevier*. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111284
- El-Sayed, M. M., Elshorbany, Y. F., & Koehler., K. (2021). On the impact of the COVID-19 pandemic on air quality in Florida. *Elsevier*. doi:10.1016/j.envpol.2021.117451
- Flores-Ruiz E, M.-N. M.-K. (junio de 2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergia México*. doi:https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304
- Godish, T. ( 2003). *Air Quality. 4ta edición*. Boca raton: LEWIS PUBLISHERS.
- Jayatra, M., Sourav, S., Abhra, C., & Sandip, H. (2021). Effects of COVID-19 pandemic on the air quality of three megacities in india. *Elsevier*. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105659
- Li, H., Jingyuan, Z., & Zhaolin, G. (2021). Assessing air quality changes in heavily polluted cities during the COVID-19 pandemic: A case study in Xi'an, China. *Elsevier*. doi:10.1016/j.scs.2021.102934
- Ministerio de Medio Ambiente. (16 de Marzo de 1998). ESTABLECE NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10, EN ESPECIAL DE LOS VALORES QUE DEFINEN SITUACIONES DE EMERGENCIA. *Decreto N° 59*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=99434>
- Ministerio de medio ambiente. (2009). *Sinca*. Recuperado el 6 de agosto de 2021, de <https://sinca.mma.gob.cl/>
- Ministerio de Medio Ambiente. (8 de Enero de 2011). NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP 2,5. *Decreto N°12*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1025202>
- Ministerio del medio ambiente. (2016). *Guia de calidad del aire y educación ambiental*. Editorial. Recuperado de <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire.pdf>.

- Minsal. (3 de Marzo de 2020). *Ministerio de salud confirma el primer caso de coronavirus en Chile*. Obtenido de Ministerio de salud: <https://www.minsal.cl/ministerio-de-salud-confirma-primer-caso-de-coronavirus-en-chile/>
- Nolberto Sifuentes, N. S., & Ponce Aruneri, M. E. (2008). *ESTADÍSTICA INFERENCIAL APLICADA*. Lima: Unidad de Post Grado de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- OMS. (27 de abril de 2020). *COVID-19: cronología de la actuación de la OMS*. Obtenido de Organización mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- Pestel, N., & Isphording, I. E. (2021). Pandemic meets pollution: Poor air quality increases deaths by COVID-19. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102448>
- Placeres, R., Olite, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 2. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lang=es).
- S, A., & M, D. I. (2016). Pollutants and Air pollution. En A. S, & D. I. M, *The quality of air* (pág. 27). Amsterdam: Elsevier .
- Seremi del medio ambiente. (Mayo de 2020). *calefacción sustentable*. Recuperado el 21 de Agosto de 2021, de <https://calefaccionsustentable.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/08/Preguntas-Frecuentes-PPDA-Concepcion-Metropolitano.pdf>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- worldometer. (6 de agosto de 2021). *wordometer*. Obtenido de [https://www.worldometers.info/coronavirus/?utm\\_campaign=homeAdvegas1?%22](https://www.worldometers.info/coronavirus/?utm_campaign=homeAdvegas1?%22)

## **7 Anexos**

### **7.1 TABLAS DE CÁLCULOS Y RESULTADOS DETALLADOS**

Todos los test aplicados se encuentran organizados en matrices de Excel, en formato .xlsx los cuales serán entregados en un archivo winrar, los análisis se encuentran separados por estación y contaminante, organizados de manera correspondiente para su visualización.