



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

Facultad De Ingeniería Química

## **“COMPORTAMIENTO DE CONTAMINANTES CRITERIO EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA ENTRE LOS AÑOS 2018 A 2023 CON ÉNFASIS EN EL CONFINAMIENTO POR COVID-19”**

**Tesis Profesional**

**Para obtener el grado de:  
Licenciatura En Ingeniería Ambiental**

**Presenta:  
Antonio Vargas Pérez**

**Directora y Asesora de Tesis:  
Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández**

**Codirectora de Tesis:  
Dra. María Dolores Guevara Espinosa**

**Febrero 2024**



## **Agradecimientos**

A la tutora de esta tesis, Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández, gracias por su tiempo y asesoramiento que resultaron en esta tesis. Una excelente profesora, y una excelente persona.

Al Ing. Francisco Javier Solano Huitzil, jefe del departamento de emisiones a la atmosfera y responsable de la red de monitoreo atmosférico de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) por la disposición de los datos necesarios para la realización de la tesis presente.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por permitirme ser un ingeniero. A los docentes de la BUAP por compartir sus conocimientos para mi formación profesional. A mis amigos y compañeros que me acompañaron durante mi formación profesional y que compartimos lindos momentos juntos.

A mi familia que gracias a su esfuerzo me permitieron tener esta formación profesional, gracias por todo su amor, su apoyo y valoro mucho la educación con la que me criaron. Gracias Miriam, por tu apoyo y protección. Gracias Antonio, por tu sabiduría y enseñanzas. Cada logro siempre va a ir dedicado a ustedes.

A Malinalli, por su compañía llena de tus hermosas palabras. Gracias por escucharme. Gracias por motivarme en la realización de la tesis presente y agradezco tus lecciones de escritura. Te quiero.

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del problema .....	1
Justificación .....	1
Objetivos .....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos .....	2
Hipótesis .....	3
<b>Capítulo 1. Marco teórico .....</b>	<b>4</b>
1.1 Contaminación atmosférica.....	4
1.2 Contaminantes .....	4
1.3 Origen y clasificación de los contaminantes atmosféricos .....	5
1.3.1 Meteorología y contaminantes .....	5
1.3.2 Temperatura .....	6
1.3.3 Velocidad del viento .....	6
1.3.4 Humedad relativa.....	7
1.3.5 Precipitación .....	7
1.4 Contaminantes criterio .....	8
1.4.1 Ozono .....	8
1.4.2 Monóxido de carbono .....	9
1.4.3 Dióxido de azufre .....	10
1.4.4 Dióxido de nitrógeno .....	11
1.4.5 Partículas suspendidas con un diámetro menor igual de 10 y 2.5 micrómetros .....	12
1.5 Contaminación y salud de la población.....	14
1.6. Puebla, contaminación atmosférica y daños a la salud.....	15
1.6.1 Buena calidad del aire, un derecho constitucional .....	16
1.7 Monitoreo de los contaminantes criterio en el municipio de Puebla.....	17
1.7.1 Monitoreo PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> .....	19
1.7.2 Monitoreo ozono .....	19
1.7.3 Monitoreo dióxido de nitrógeno.....	20

1.7.4 Monitoreo de dióxido de azufre.....	21
1.7.5 Monitoreo de monóxido de carbono.....	21
1.8 COVID-19 .....	22
1.8.1 Cronología de COVID-19.....	22
1.8.2 Confinamiento provocado por COVID-19 en México .....	23
1.8.3 Efectos del confinamiento a la contaminación atmosférica.....	24
1.8.4 Efectos del confinamiento a la contaminación atmosférica en México ..	27
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>31</b>
2.1 Recolección de datos.....	31
2.1.2 Formato de los datos de la REMA y RAMM .....	31
2.2 Selección de datos.....	32
2.3.1 Promedio datos de REMA.....	33
2.3.2 Promedios datos de RAMM .....	34
2.4 Correlación.....	35
<b>Capítulo 3. Resultados y discusión .....</b>	<b>37</b>
3.1 Gráficas de promedio de meteorología .....	37
3.1.1 Temperatura .....	37
3.1.2 Velocidad del viento.....	38
3.1.3 Humedad relativa.....	39
3.1.4 Precipitaciones pluviales.....	40
3.2 Graficas de promedio de contaminantes criterio .....	41
3.2.1 Ozono (O <sub>3</sub> ).....	41
3.2.2 Monóxido de carbono (CO).....	42
3.2.3 Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	44
3.2.4 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	46
3.2.5 Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ).....	47
3.2.6 Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ) .....	48
3.3.1 Correlación contaminantes y meteorología .....	49
3.3.2 Correlación entre contaminantes criterio.....	51
3.4 Discusión de resultados .....	52
<b>Conclusiones.....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>58</b>

Tablas de promedio de meteorología.....	58
Temperatura .....	58
Velocidad del viento.....	60
Humedad relativa.....	62
Precipitaciones pluviales.....	65
Tablas de promedio contaminantes .....	67
Ozono (O <sub>3</sub> ).....	67
Monóxido de carbono (CO).....	69
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	71
dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	74
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ).....	76
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ) .....	78
Tablas de correlación.....	80
Temperatura .....	81
Velocidad del viento.....	81
Humedad relativa.....	82
Precipitaciones .....	83
Correlaciones entre contaminantes criterio .....	84
<b>Bibliografía .....</b>	<b>85</b>

## **Introducción**

### **Planteamiento del problema**

La importancia de la calidad del aire ha tomado mayor relevancia en las últimas décadas debido al incremento de contaminantes en la atmósfera. Si bien algunos de estos contaminantes presentes en la atmósfera pueden tener un origen natural (actividad volcánica, incendios, entre otros), los de mayor estudio son aquellos originados por actividad humana debido a sus efectos negativos a la atmósfera y, por lo tanto, a la salud de la población. Los contaminantes criterio son aquellos que están normados por un límite máximo permisible para proteger al medio ambiente y a los habitantes. Los contaminantes criterio son: el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas en suspensión con un diámetro a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) y 10 µm (PM<sub>10</sub>), ozono, (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs). Una elevada concentración de estos contaminantes reduce la calidad del aire. La Organización Mundial de la Salud, estimó que la contaminación del aire atmosférico, junto con la contaminación del aire doméstico está asociada con 6.7 millones de muertes prematuras al año en todo el mundo causado por enfermedades pulmonares y cardíacas, así como cáncer de pulmón e infecciones respiratorias (World Health Organization , 2022).

### **Justificación**

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio de Puebla cuenta con una población de 1,692,181 habitantes (Puebla Capital, 2022). Esto coloca a la capital poblana como el cuarto municipio más poblado en la república mexicana. Según el programa de calidad del aire del estado de Puebla 2012-2020, el inventario de emisiones señala que las principales fuentes generadoras de emisiones son por fuentes móviles y fuentes de área (Gobierno del Estado de Puebla, 2012).

Para monitorear la calidad del aire en el municipio de Puebla, se creó en el año 2000 la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA) la cual es administrada por la Secretaría del Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT). La REMA es un instrumento para diagnosticar la calidad del aire, así como las condiciones meteorológicas en el área conurbada de la Ciudad de Puebla, que se conforma por los municipios de Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, Puebla, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula (Calidad del Aire Puebla, 2023).

A pesar de la necesidad de políticas ambientales para cambiar la calidad del aire, implementar cambios es difícil debido a las implicaciones económicas que conlleva. Por lo tanto, la mejora de la calidad del aire requiere la comprensión de la variación de contaminantes criterio para así elaborar las estrategias correctas. Aunque hay investigaciones sobre la contaminación atmosférica en Puebla, la información sobre cómo el confinamiento modificó la concentración de los contaminantes en la ciudad es limitada. Esto es relevante, puesto que el confinamiento producido por la emergencia sanitaria de COVID-19, presenta un escenario en el que se redujeron considerablemente las fuentes móviles de contaminación atmosférica.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el impacto que tuvo el confinamiento por COVID-19 analizando la calidad del aire del municipio de Puebla empleando datos recopilados de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico entre los años 2018 a 2023.

### **Objetivos específicos**

- Graficar e interpretar las concentraciones de contaminantes criterio del año 2018 al 2023 registradas por las estaciones de monitoreo.
- Analizar si el confinamiento en el año 2020 redujo las concentraciones de contaminantes criterio en el municipio de Puebla.
- Comparar la concentración de contaminantes criterio antes, durante y después del confinamiento por COVID-19.

## **Hipótesis**

El confinamiento por COVID-19 provocó la reducción de contaminantes criterio en comparación con años anteriores y posteriores en el municipio de Puebla mejorando la calidad del aire por un corto periodo de tiempo.

# Capítulo 1. Marco teórico

## 1.1 Contaminación atmosférica

La **atmósfera** es una mezcla de gases que rodea la tierra. Los componentes de la atmósfera son el nitrógeno (78.1%), el oxígeno molecular (20.9%), el argón (0.9%) y otros gases en porcentajes mucho menores. Se le denomina **contaminar** a alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos. Por lo que la contaminación atmosférica es la presencia en él de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera (Ibañez, 2013) (WHO, s.f.)(RAE).

## 1.2 Contaminantes

Se puede denominar a un contaminante como una sustancia de origen externo al medio ambiente que, al depositarse, puede causar efectos adversos, ya sea al medio ambiente o a la población que habite en él. La capacidad del ser humano le ha dado la facultad de modificar el sitio en el que se desarrollan. Tradicionalmente, se establece que el progreso de la industria marcado en la revolución industrial durante el siglo XVIII fue el inicio de la alteración a gran escala del medio ambiente por las actividades humanas. La especie humana ha tenido grandes avances tecnológicos en los últimos dos siglos y con ellos se ha deteriorado la calidad del medio ambiente, causando problemas que comprometen el desarrollo de la especie humana en el futuro. Si bien se han hecho esfuerzos para mejorar el medio ambiente y con ello la calidad de vida de los humanos y demás especies que habitan el planeta tierra, aún parece distante la idea de que las actividades humanas, así como sus avances tecnológicos, no comprometan la integridad del medio ambiente.

### **1.3 Origen y clasificación de los contaminantes atmosféricos**

Algunos contaminantes atmosféricos pueden tener un origen natural, debido a erupciones volcánicas, polvo arrastrado por el viento, incendios forestales, polen, entre otros. Los contaminantes de mayor preocupación son aquellos que provienen de fuentes antropogénicas. Las fuentes principales de estos contaminantes provienen de actividades industriales de combustión y vehículos de motor. El tipo y concentración de contaminantes en la atmósfera dependen del tipo de proceso de combustión, así como el tipo de combustible. Una combustión incompleta e impurezas en el combustible favorecen la presencia de contaminantes en las emisiones liberadas hacia la atmósfera, afectando la calidad del aire. (Baumbach, 1996). Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse como contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera. Algunos ejemplos son partículas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono. Los contaminantes secundarios se forman a partir de interacciones de algunos contaminantes primarios con otros factores presentes en la atmósfera en la que son emitidos. Algunos contaminantes secundarios son el ozono y dióxido de nitrógeno (UC Riverside, s.f.) (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

#### **1.3.1 Meteorología y contaminantes**

Cuando las emisiones con contaminantes son liberadas en la atmósfera, estas se ven regidas por las condiciones meteorológicas de la zona local. El clima tiene un impacto directo en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos. El acarreo, dilución y transporte de contaminantes se produce por los movimientos del aire en la atmósfera. Una alta temperatura produce reacciones químicas en algunos contaminantes atmosféricos. La más remarcable es la formación de ozono

troposférico. El **ozono estratosférico** se forma naturalmente entre la interacción entre oxígeno y radiación solar ultravioleta. El **ozono troposférico** se forma a partir de contaminantes precursores que son óxidos de nitrógeno y contaminantes orgánicos volátiles en presencia de radiación solar (EPA, 2023). Mientras que el ozono a nivel de la troposfera absorbe la radiación ultravioleta proveniente del sol, el ozono a nivel de la estratosfera es un contaminante que disminuye la calidad del aire.

### 1.3.2 Temperatura

La **temperatura** de un área determinada tiene un efecto directo en la temperatura del aire y a su vez en su movimiento. De manera vertical, el aire caliente fluye de forma ascendente, mientras que el aire frío desciende. Esto se debe a que el aire con mayor temperatura se vuelve menos denso y por lo cual asciende, mientras que el frío desciende al tener mayor densidad ocupando el sitio del aire caliente. También los cambios de altitud provocan este movimiento. Este movimiento vertical del aire también se encarga de dispersar contaminantes provenientes de la troposfera a capas superiores de esta o permite que estas emisiones se disuelvan en capas superiores de la misma troposfera. Este movimiento se puede ver afectado debido a la inversión térmica. En una inversión térmica el aire caliente se encuentra en capas superiores de la troposfera impidiendo que el aire con menor temperatura de las capas inferiores cercanas al suelo pueda ascender y permitir una circulación del aire. Las inversiones se generan por diversas razones como la temperatura, estación del año, relieve y altura de la zona además de que generalmente son originadas durante la noche. Las inversiones térmicas impiden la mezcla de los contaminantes atmosféricos, ya que quedan almacenados en las capas inferiores de la troposfera.

### 1.3.3 Velocidad del viento

El viento es el movimiento horizontal del aire. Este se produce debido a los cambios de presión del movimiento vertical del aire determinado por cambios de temperatura y el movimiento de rotación del planeta (National Weather Service, 2009). El viento se encarga de transportar y dispersar los contaminantes atmosféricos. Una alta velocidad de viento ayudará a diluir los contaminantes presentes en una zona, por el contrario, un viento en calma favorecerá la concentración de estos contaminantes.

### **1.3.4 Humedad relativa**

La **humedad relativa**, RH, es la relación del contenido de agua del aire al contenido de agua de saturación. El contenido de agua de la atmósfera, en la saturación, aumenta con rapidez al aumentar la temperatura. A cualquier temperatura, la cantidad absoluta de agua en el aire se incrementa al aumentar la RH (Nevers, 1994). La humedad relativa se expresa en porcentaje, un mayor porcentaje significa que la mezcla entre el aire y el agua resulta ser más húmeda. Mientras más cerca este del 0% significa que el aire contiene la menor cantidad posible de vapor de agua. En este caso, el aire está seco y no hay saturación. Al 100% de humedad relativa, el aire está saturado y se encuentra en su punto de rocío a medida que el vapor se condensa. La cantidad de humedad afecta la concentración de contaminantes en la atmósfera. Puede tener una reacción mixta. Una alta humedad impide que la radiación solar sea directa en la troposfera y por lo cual impide la formación de ozono troposférico. Mientras que las partículas pueden interactuar con la humedad al adherirse en las moléculas. Esta interacción puede impedir que estos contaminantes se dispersen en niveles superiores de la atmósfera.

### **1.3.5 Precipitación**

La **precipitación** son todas las partículas acuosas en fase líquida o sólida que se originan en la atmósfera y caen a la superficie terrestre. Se expresa generalmente en milímetros de agua líquida, de la sustancia acuosa que ha caído en un punto

determinado durante un período de tiempo específico. Las precipitaciones producen la deposición húmeda en la cual algunos contaminantes atmosféricos que son arrojados por la lluvia hacia el suelo (Yamamoto, 2023). La deposición húmeda es causada por dos mecanismos distintos llamados lluvia y lavado (AMS, 2021). Los dos procesos son distintos en términos del mecanismo de eliminación de aerosoles: la lluvia implica la activación de aerosoles por núcleos de condensación de nubes en condiciones de sobresaturación sobre la base de la nube, mientras que el lavado es la recolección de aerosoles por la caída de hidrometeoros. (Kajino & Aikawa, 2015) Los hidrometeoros están compuestos de partículas de agua líquida o sólida que pueden estar suspendidas en la atmósfera, precipitar a través de ella, ser arrastradas por el viento desde la superficie de la Tierra o estar depositadas sobre otros objetos. Convencionalmente, la nieve o el agua depositadas sobre el suelo no se consideran un hidrometeoro (WMO, 2017).

## 1.4 Contaminantes criterio

**Los contaminantes criterio** son aquellos contaminantes normados a los que se les ha establecido un límite máximo de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. Estos son el **ozono (O<sub>3</sub>)**, el **monóxido de carbono (CO)**, el **dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**, el **dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**, el plomo (Pb), las **partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)** y las **partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>)**, para las normas oficiales mexicanas, se excluye el plomo (Pb) (SEMARNAT, 2019).

### 1.4.1 Ozono

El **ozono (O<sub>3</sub>)** es una molécula inorgánica formada por tres átomos de oxígeno. Es un gas de color azul pálido con un olor distintivamente acre (PubChem, s.f.). Como se mencionó anteriormente, el ozono se forma naturalmente en la estratosfera,

mientras que el ozono troposférico es aquel que se forma debido a contaminantes precursores, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, con la interacción de la radiación solar en las capas inferiores de la superficie terrestre. Las condiciones que favorecen la formación de ozono troposférico en grandes ciudades son las emisiones de los contaminantes precursores y días calurosos, en especial a la hora del mediodía o al atardecer. Así como las condiciones meteorológicas de la zona (EPA, 2023). El ozono es un gas altamente irritante y oxidante, por lo que dependiendo el nivel de exposición al ozono puede causar dolor, picazón e inflamar las vías respiratorias. También una exposición aguda al ozono puede dificultar la respiración profunda. Una exposición crónica al ozono puede agravar enfermedades respiratorias como asma, bronquitis, enfisema, etc. (EPA, 2023).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, tiene como objetivo establecer los valores límite de concentración de ozono para la protección de la salud humana. Según la norma, el valor límite de concentración de ozono el ambiente en 1 hora es 0.090 ppm. En 8 horas es 0.065 ppm. Los valores límite están establecidos a condiciones de referencia, temperatura de 25°C (298K) y 1 atm de presión (101.3 kPa) (SSA, 2021).

#### **1.4.2 Monóxido de carbono**

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro. El monóxido de carbono está formado por un átomo de carbono y un átomo de oxígeno conectados por un triple enlace (PubChem, s.f.). El monóxido de carbono se libera al medio ambiente principalmente por reacciones de combustión incompletas. El monóxido de carbono es el intermediario en el proceso de combustión de CO<sub>2</sub>. Si la temperatura de combustión y el tiempo de resiliencia de la flama son insuficientes, o si hay escasez de aire en el proceso de combustión, se producirá CO. Este gas se genera en motores de combustión interna, hornos domésticos, hornos industriales, chimeneas, etc. (Baumbach, 1996). Este gas es altamente tóxico para los seres vivos en altas concentraciones. Esto se debe a la interacción que tiene sobre la unión del oxígeno

a la molécula de la hemoglobina en la sangre. El monóxido de carbono se une a la hemoglobina formando carboxihemoglobina (COHb) con una afinidad un 220% mayor por la hemoglobina que el oxígeno. Esto reduce la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina y conduce a hipoxia celular. Este efecto puede ser mortal (Dubey & Chouksey, 2017). En concentraciones bajas puede causar fatiga y dolores de pecho. En concentraciones moderadas causa visión deficiente y disminución de la función cerebral. En concentraciones altas provoca mareos, confusión, náuseas, coordinación y visión deficiente (EPA, 2023). Si bien en la atmósfera no es muy probable encontrar concentraciones altas de monóxido de carbono que puedan ser mortales para la población, es necesario prestar atención en personas con problemas cardiacos. Como se mencionó anteriormente, el CO en el sistema respiratorio impide una buena circulación de oxígeno hacia órganos y tejidos. La exposición a corto plazo a niveles elevados de CO puede provocar una reducción de oxígeno en el corazón acompañada de dolor en el pecho (EPA, 2023).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, tiene como objetivo establecer los valores límite de concentración de monóxido de carbono para la protección de la salud humana. De acuerdo con la norma, los valores límites de concentración de CO en 1 hora es de 26 ppm, para 8 horas es de 9 ppm. Los valores límite están establecidos a condiciones de referencia, temperatura de 25°C (298K) y 1 atm de presión (101.3 kPa) (SSA, 2021).

### **1.4.3 Dióxido de azufre**

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro con un olor asfixiante o sofocante. Se disuelve en agua fácilmente. Es un gas muy tóxico por inhalación y puede irritar los ojos y las mucosas (PubChem, s.f.). El dióxido de azufre se puede formar durante, la combustión de minerales fósiles que contienen componentes de azufre, como puede ser azufre en carbón mineral, azufre en gasolina, o azufre en gas natural (Baumbach, 1996). Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la mayor fuente de SO<sub>2</sub> en la atmósfera provienen de la quema de

combustibles fósiles en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales (EPA, 2023). Algunas otras fuentes de dióxido de azufre incluyen refinerías de petróleo, actividades mineras y metalurgia. Algunos combustibles de locomotoras o grandes barcos a base de diésel con azufre emiten este contaminante a la atmósfera. Las erupciones volcánicas también emiten  $\text{SO}_2$  a la atmósfera. Las emisiones que provocan altas concentraciones de  $\text{SO}_2$  en el aire generalmente también provocan la formación de otros óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ). Los  $\text{SO}_x$  pueden reaccionar con otros compuestos de la atmósfera para formar pequeñas partículas. Estas partículas contribuyen a la contaminación por materia particulada (PM). La exposición a corto plazo a altos niveles de dióxido de azufre puede causar sensaciones de ardor en la nariz y la garganta. Además, puede provocar dificultades para respirar, cambios en la capacidad pulmonar y agravamiento de enfermedades cardíacas existentes. Las exposiciones breves de  $\text{SO}_2$  pueden dañar el sistema respiratorio y aumentar el riesgo de infecciones del tracto respiratorio. El  $\text{SO}_2$  puede agravar condiciones como el asma y la bronquitis crónica (Wisconsin Department of Health Services, 2022), (Queensland Government, 2023)

La NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, tiene como objetivo establecer los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente para la protección a la salud humana. De acuerdo con esta norma, el valor límite máximo en 1 hora es de 0.075 ppm. Para 24 horas, el valor límite es de 0.04 ppm (SSA, 2019).

#### **1.4.4 Dióxido de nitrógeno**

El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) es un contaminante gaseoso del aire compuesto de nitrógeno y oxígeno, forma parte de un grupo de gases relacionados llamados óxidos de nitrógeno o  $\text{NO}_x$ . El dióxido de nitrógeno aparece como un gas de color marrón rojizo o un líquido de color marrón amarillento cuando se enfría o se comprime (PubChem, s.f.). El dióxido de nitrógeno no suele liberarse directamente a la atmósfera, ya que se forma a partir de la reacción de óxidos de nitrógeno con otras sustancias químicas presentes en el aire. Los principales emisores de  $\text{NO}_2$

son camiones, autobuses y automóviles, seguidos por equipos no viales con motores diésel, procesos industriales como la producción de petróleo y gas, calderas industriales y centrales eléctricas alimentadas con carbón. El NO<sub>2</sub> se forma durante la combustión a altas temperaturas, tanto en la oxidación de nitrógeno en el aire de combustión como en la combustión del nitrógeno presente en el combustible. Cuanto mayor es la temperatura de combustión, más óxido nítrico se genera (American Lung Assosiation, 2023), (Ministry for the Environment , 2021) (Baumbach, 1996). La inhalación de aire con concentraciones elevadas de dióxido de nitrógeno puede irritar las vías respiratorias. Esto puede resultar en síntomas como tos o dificultad para respirar. Exposiciones prolongadas a niveles altos de NO<sub>2</sub> pueden contribuir al desarrollo de asma y aumentar la susceptibilidad a infecciones respiratorias. El dióxido de nitrógeno también puede causar daño al tracto respiratorio, aumentando la vulnerabilidad y gravedad de infecciones respiratorias y el asma. La exposición prolongada a altos niveles de NO<sub>2</sub> puede incluso dar lugar a enfermedad pulmonar crónica. En el sistema respiratorio, la inhalación de dióxido de nitrógeno, especialmente en niños, aumenta el riesgo de infecciones respiratorias y puede afectar la función pulmonar a largo plazo. Asociado con concentraciones en el aire, el NO<sub>2</sub> se vincula con el aumento de la mortalidad y los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias. También debilita las defensas pulmonares contra bacterias, haciendo que los pulmones sean más susceptibles a infecciones y agravando el asma (Queensland Government , 2023), (EPA, 2023).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, tiene como objetivo establecer los valores límites permisibles de concentración de dióxido de nitrógeno en el medio ambiente para la protección de la salud humana. De acuerdo con la norma, el valor límite de exposición en 1 hora es de 0.106 ppm. El valor límite de exposición anual es de 0.021 ppm (SSA, 2021).

#### **1.4.5 Partículas suspendidas con un diámetro menor igual de 10 y 2.5 micrómetros**

Las partículas o material particulado atmosférico son partículas de materia sólida o líquida suspendidas en el aire. Las partículas se pueden clasificar según su tamaño. Las partículas gruesas se refieren a las PM con un diámetro aerodinámico igual o menor a  $10\ \mu m$  (PM<sub>10</sub>). Las partículas finas son aquellas que tienen un diámetro aerodinámico igual o menor a  $2.5\ \mu m$  (PM<sub>2.5</sub>) (Jun, Chen, Jingsha, & Yong, 2022). Las partículas suspendidas permanecen en la atmósfera por periodos variables de tiempo, con características físicas y químicas diversas que dependen de su origen entre los ambientes urbanos y rurales, así como de las fuentes específicas de generación y tipo de precursores. De igual forma las, condiciones atmosféricas locales y topográficas pueden influir el valor de variabilidad de las partículas. Algunas partículas se originan de forma natural por emisiones volcánicas, tormentas de polvo, incendios forestales, erosión, etc., Las partículas también tienen un origen por actividades humanas por quema de combustibles fósiles, actividades industriales, actividades agrícolas. Algunas partículas se emiten directamente a la atmósfera desde sus fuentes, como el carbono negro, y se consideran contaminantes primarios, mientras que otros, como el SO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub> y los COV, pueden reaccionar con los contaminantes primarios existentes en el aire para formar PM<sub>2.5</sub>. Las PM tienen una masa pequeña, pero una gran superficie, esto hace que puedan ser visibles. La parte del sistema respiratorio afectado por las PM depende del tamaño de las partículas. El tracto respiratorio superior (cavidad nasal, faringe, laringe) son afectados por las PM<sub>10</sub>. Mientras que las PM<sub>2.5</sub> pueden albergarse hasta los pulmones y penetrar los alveolos (El Morabet, 2018).

Los estudios epidemiológicos poblacionales han informado asociaciones entre personas enfermedades preexistentes, las cuales parecen ser los más susceptibles a los efectos del PM. Estudios poblacionales han corroborado vínculos entre exposiciones a corto plazo a PM<sub>2.5</sub> y admisiones hospitalarias cardiovasculares y respiratorias en diversas regiones, abarcando desde EE. UU. hasta Europa y Asia. Aunque los niños parecen ser especialmente susceptibles, otros factores como la edad, enfermedad preexistente y ciertos factores genéticos también influyen en la determinación de la sensibilidad a los efectos de las PM. las exposiciones prolongadas a PM<sub>2.5</sub> han sido vinculadas con la mortalidad total y

cardiovascular, el desarrollo acelerado de aterosclerosis, la disminución del crecimiento de la función pulmonar, el aumento de los síntomas respiratorios y el desarrollo de asma. Cabe señalar que los efectos de salud ocasionados están relacionados con su composición y origen de las emisiones del contaminante, por lo que es difícil caracterizar a detalle sus efectos sobre la salud (Stanek & Brown, 2019), (Duffney, Stanek, & Brown, 2024).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, tiene como objetivo establecer los valores límites permisibles de concentración de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el medio ambiente para la protección de la salud humana (SSA, 2021).

## **1.5 Contaminación y salud de la población**

Una atmósfera contaminada afecta la salud de la población. En el año 2019, según datos de la organización mundial de la salud, la contaminación del aire ambiente en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras (WHO, 2022). Una alta concentración de contaminantes, el tiempo de exposición, además de los efectos y toxicidad de los contaminantes son las causas de que causen problemas en la salud de la población. Los contaminantes llegan al interior del organismo a través del sistema respiratorio. Algunas sustancias o partículas son absorbidas o eliminadas en diferentes partes del tracto respiratorio, mientras que otras pueden penetrar profundamente el sistema respiratorio. Además de los posibles decesos, una mala calidad provoca enfermedades o padecimientos como accidentes cerebrovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de tráquea, bronquios, asma agravada e infecciones de las vías respiratorias inferiores (EEA, 2023). Los sectores de la población más sensible a estos padecimientos son bebés y niños pequeños con un sistema respiratorio y cardiovascular en desarrollo, adultos mayores con problemas en el corazón o en el sistema respiratorio, y gente enferma con asma, bronquitis o enfermedades cardiovasculares.

## 1.6. Puebla, contaminación atmosférica y daños a la salud

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio de Puebla cuenta con una población de 1,692,181 habitantes (Puebla Capital, 2022). Esto coloca a la capital poblana como el cuarto municipio más poblado en la república mexicana. Está claro que existe una relación directa entre el aumento de población y el incremento de la contaminación y ciudades. Una mayor población significa un aumento de la quema de combustibles fósiles, ya sea para generar electricidad, por procesos industriales y un mayor número y uso de vehículos a motor. Como ya se mencionó, estas son las mayores fuentes de contaminantes criterio. Por lo que un **mayor crecimiento de población en años futuros supondría una mayor concentración de contaminantes atmosféricos, con lo cual aumentarían los casos de habitantes enfermos debido a la exposición de un medio ambiente no sano.**

De acuerdo con datos del Institute for Health Metrics and Evaluation, en México, durante el año 2019, por cada 100,000 muertes registradas, 38.69 podrían estar relacionadas por contaminación atmosférica. De esas 100,000 muertes, 10.31 se atribuye a diabetes y enfermedades renales, 6.04 por enfermedades respiratorias crónicas, 17.79 por enfermedades cardiovasculares, 1.39 por neoplasias, 0.76 por trastornos maternos y neonatales, 2.4 por enfermedades respiratorias y tuberculosis (IHME, 2019). En el estado de Puebla, según la “Evolución de los indicadores sociodemográficos de la mortalidad en el Estado de Puebla”, los decesos producidos por enfermedades respiratorias (Influenza, neumonía, EPOC, bronquitis crónica, enfisema pulmonar, asma respiratoria) son la cuarta causa de mayor mortalidad en el estado de Puebla (8.8%). La principal causa de muerte en el estado de Puebla (26.5%) son las enfermedades del sistema circulatorio (cerebrovasculares, isquémicas del corazón). Como se mencionó previamente, la exposición a contaminantes criterio en el medio ambiente está relacionada con

estas enfermedades que pueden ser la causa de ciertos decesos en la población, sin embargo, no hay datos suficientes en el municipio de Puebla que apoyen esta hipótesis (Gobierno de Puebla, 2022).

### **1.6.1 Buena calidad del aire, un derecho constitucional**

La exposición a contaminantes atmosféricos tiene efectos negativos hacia la salud de la población. Por ello es necesario garantizar que los habitantes no estén expuestos a los posibles daños que tiene una exposición a una alta concentración de contaminantes que se encuentran en la atmósfera. El artículo 4° de la Constitución política de los estados unidos mexicanos, señala que, **Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.** El artículo 116 de la Ley General de Salud, señala que **las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente** (Estados Unidos Mexicanos, 2023).

Las normas deben señalar los límites máximos de emisiones permitidos en el aire, así como la descripción de los métodos para el cumplimiento de dichas normas. Para garantizar una atmósfera limpia, se necesitan hacer mediciones en la atmósfera para determinar cuál es la concentración de los contaminantes atmosféricos. Para realizar una medición de la contaminación atmosférica se tiene que obtener una muestra representativa correcta y una correcta concentración del contaminante a analizar.

La NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud, indica que existe una obligación por parte del estado de monitorear la calidad del aire, así como de comunicar los resultados a la población. Esta información tiene mayor utilidad si se le vincula hacia la salud de la población, expresado en los niveles de riesgo asociados a la calidad de aire. De esta forma, la población en

general y en particular los grupos sensibles de la población puedan utilizar eficazmente la información brindada para tomar medidas protectoras. El monitoreo de la calidad del aire es fundamental para proveer la información necesaria a fin de evaluar la calidad del aire de cada región y sus tendencias, así como para desarrollar estrategias de prevención y de control, así políticas ambientales integrales para la reducción de estos contaminantes. (SEMARNAT, 2019).

### **1.7 Monitoreo de los contaminantes criterio en el municipio de Puebla**

Para monitorear la calidad del aire en el municipio de Puebla, en el año 2000 se creó la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA) la cual es administrada por la Secretaría del Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT). La REMA es un instrumento para diagnosticar la calidad del aire, así como las condiciones meteorológicas en el área conurbada de la Ciudad de Puebla, que se conforma por los municipios de Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, Puebla, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula (Calidad del Aire Puebla , 2023). Hay 5 estaciones encargadas de monitorear la calidad del aire en el municipio de Puebla (Agua Santa, NINFAS, UTP, BINE, Velódromo) (SMADSOT, 2023).

A continuación, se muestra un mapa con la ubicación y la extensión de las estaciones de la REMA en el municipio de Puebla. 1 estación Velódromo, 2 estación BINE, 3 estación UTP, 4 estación NINFAS, 5 estación AGUA SANTA



Ilustración 1. Mapa Red Estatal de Monitoreo Atmosférico. SMADSOT. 2023

Estas estaciones pueden medir la concentración de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , y  $CO$ . Cada equipo emplea técnicas diferentes para medir la concentración del contaminante deseado debido a la su naturaleza molecular. De forma general, los componentes de cualquier dispositivo de monitoreo de calidad de monitoreo del medio ambiente se componen de lo siguiente: Una entrada para el flujo de gases de la muestra. Seguido por un dispositivo para excluir los materiales no deseados para la muestra. Puede incluir una sonda de muestreo calentada de ser necesario para impedir la condensación de los gases. Un detector que se encarga de cuantificar de forma instantánea o acumulada la cantidad de contaminante ingresada en el dispositivo. Todo el movimiento de los gases está impulsado por una bomba de aire. Para medir la concentración de gases es necesario un medidor de

la concentración del gas ingresado en el dispositivo. Para la salida de la muestra se cuenta con un desfogue del aire hacia la atmósfera (Nevers, 1994).

### **1.7.1 Monitoreo PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>**

Para medir la concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, se utiliza la aplicación de la técnica de atenuación por radiación beta para cuantificar la concentración de Partículas Suspendidas de fracción respirable PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Es un método equivalente federal (FEM) para el monitoreo continuo de partículas, certificado por la USEPA (Agencia de Protección al ambiente de los Estados Unidos).

En la atenuación de rayos beta, se emplea un elemento radiactivo como carbono 14 (<sup>14</sup>C) que emite electrones de alta energía (rayos beta). La radiación emitida se hace pasar a través de un punto de la cinta de fibra de vidrio limpia. Los rayos beta son detectados y cuantificados por un detector de centelleo sensible para asociarlos a una lectura cero o peso inicial. Los rayos beta son detectados y cuantificados por un detector de centelleo sensible para asociarlos a una lectura cero o peso inicial.

Posteriormente, la cinta avanza a la boca de la muestra, donde una bomba de vacío succiona una cantidad medida y controlada de aire-polvo a través esta, impregnándola con el aire-polvo recolectado. Al final de una hora de muestreo, este punto "sucio" se coloca nuevamente entre la fuente de radiación beta y el detector, de tal modo que se obtiene una nueva medición de radiación, la cual es menor debida a la presencia de la muestra. La atenuación de la señal de la radiación se utiliza para determinar la masa de las partículas depositadas en la cinta. La concentración volumétrica de partículas se determina considerando la cantidad del flujo, la presión y temperatura (Calidad del aire Puebla, 2023).

### **1.7.2 Monitoreo ozono**

Para medir la concentración de ozono, se utiliza la técnica de fotometría ultravioleta. La detección de las moléculas de Ozono se basa en la absorción de luz ultravioleta

en una longitud de onda de 254 (NM) nanómetros, debido a una resonancia electrónica interna de la molécula de ozono. En su gran mayoría, este tipo de analizadores utilizan lámparas de mercurio de cátodo frío, construida para que en un 99.99% genere una emisión de luz dentro de la longitud de onda de 254 NM. La luz generada por la lámpara ilumina el interior de una celda, que es alternadamente llenada con gas de muestra y completando el ciclo con gas depurado (libre de ozono). La relación de intensidad de luz que pasa a través del gas depurado y la intensidad de luz a través del aire muestra y mediante la diferencia entre las intensidades se obtiene la concentración de Ozono en el aire (Calidad del aire Puebla, 2023).

### **1.7.3 Monitoreo dióxido de nitrógeno**

Para medir la concentración de  $\text{NO}_2$  se usa la técnica de quimioluminiscencia (producción de luz a partir de una reacción química), consiste en hacer reaccionar dos compuestos químicos para formar un intermediario en estado excitado (alta energía) que, al regresar a su estado basal, libera energía en forma de fotones de luz. La intensidad de la luz emitida es proporcional a la concentración del contaminante en la muestra. La reacción que produce la quimioluminiscencia se da entre el óxido nítrico y el ozono. El método no es capaz de detectar al  $\text{NO}_2$  contenido en la muestra de aire, ya que este no reacciona con el ozono, por lo que es necesario hacer pasar la muestra previamente por un convertidor catalítico de molibdeno (Mo) el cual se encuentra a una temperatura de 315 °C. El molibdeno reacciona con  $\text{NO}_2$  reduciéndolo a  $\text{NO}$ . Para determinar la concentración de  $\text{NO}_2$  en el aire, primero se mide la quimioluminiscencia generada por la muestra original sin que haya pasado por el convertidor catalítico; esta corresponderá a la concentración de  $\text{NO}$  en la muestra, posteriormente se pasa la misma muestra por el convertidor catalítico y se mide nuevamente la quimioluminiscencia, esta corresponderá a la concentración de  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_2 + \text{NO}$ ). La diferencia entre los  $\text{NO}_x$  y el  $\text{NO}$  corresponderá a la concentración de  $\text{NO}_2$  presente originalmente en la muestra (Calidad del Aire Puebla , 2023).

#### **1.7.4 Monitoreo de dióxido de azufre**

Para medir la concentración de dióxido de azufre, se utiliza la técnica de fluorescencia pulsante en el ultravioleta. Esta técnica se aplica a la medición de la concentración de  $\text{SO}_2$  en el aire. Aquí se emplea la propiedad que tienen las moléculas de dióxido de azufre de emitir luz (fluorescencia), cuando estas son excitadas por luz ultravioleta. La molécula de  $\text{SO}_2$ , tiene la propiedad de que tras ser apagada una fuente de luz ultravioleta (UV), que la ilumina, emite un pulso de energía luminosa dentro de la región del ultravioleta, pero en una longitud de onda diferente. Si esta luz es encendida y apagada de forma constante y con mucha frecuencia, obtenemos una serie de pulsos muy rápidos. Cuanto mayor sea la concentración de moléculas de  $\text{SO}_2$ , más intensos serán los pulsos de luz emitidos. Midiendo la intensidad de la luz correspondiente a cada pulso, se podrá conocer la concentración de  $\text{SO}_2$  presente en la muestra de aire que se analiza (Calidad del Aire Puebla , 2023).

#### **1.7.5 Monitoreo de monóxido de carbono**

Para medir la muestra de CO en la atmósfera, se emplea la técnica de correlación de gases en el rango infrarrojo. Se basa en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas de CO en longitudes de onda cercanas a los 4.7 micrómetros. Se utiliza un elemento calentado de alta energía (resistencia) para generar una banda ancha de luz infrarroja, esta luz pasa a través de un filtro de gas rotativo (rueda de correlación) que causa que el rayo pase alternadamente a través de una celda llena con mezcla de monóxido de carbono (celda de referencia) y otra celda que contiene solo nitrógeno (celda de muestra). Esto ocurre a una proporción de un número de ciclos establecidos por segundo y provoca que el rayo sea modulado en pulsos de referencia y medida, durante un pulso de referencia, el filtro de gas rotativo despoja efectivamente al rayo de toda energía infrarroja en longitudes de onda en donde el

monóxido de carbono puede ser absorbido; esto resulta en un rayo que no es afectado por ningún monóxido de carbono presente en la celda de muestra (Calidad del aire Puebla, 2023).

## **1.8 COVID-19**

La pandemia por COVID-19 planteo un escenario el cual la sociedad moderna no había presenciado. En unos cuantos meses la forma de vivir de millones de personas en el mundo cambio abruptamente debido a la rápida y extensa propagación que tuvo este virus desde su aparición en los primeros meses en 2020. En tiempos actuales, casi 4 años después del surgimiento del COVID-19 se siguen evaluando los daños que provocó alrededor del mundo.

### **1.8.1 Cronología de COVID-19**

A finales del año 2019, en la ciudad de Wuhan, China, se comenzaron a registrar varios casos de una enfermedad con síntomas parecidos a la neumonía. A inicios del año 2020, esta enfermedad se empezó a propagar rápidamente por la ciudad de Wuhan. Ante la preocupación de una posible epidemia, El Centro Nacional de Inmunización y Enfermedades Respiratorias y funcionarios de salud en China, comenzaron a investigar e identificaron que este brote es causado por un nuevo Coronavirus. La OMS llama a este nuevo virus como “nuevo Coronavirus del 2019” o SARS-CoV-2. Durante enero del año 2020, se empieza a propagar rápidamente el coronavirus por la ciudad de Wuhan y se empieza a esparcir por otras ciudades chinas e incluso se empiezan a registrar otros casos fuera de China. Ante la rápida propagación e incremento de casos de coronavirus fuera de China, El Comité de Emergencia del Reglamento Sanitario Internacional de la OMS declaró el brote del

nuevo coronavirus de 2019 una Emergencia de Salud Pública de Importancia Internacional (ESPII). En febrero del año 2020, el virus se siguió propagando por el mundo, se registran los primeros casos en países americanos y europeos. La OMS anuncia que el nombre oficial del nuevo coronavirus pasaría a ser **COVID-19**. El 27 de febrero se registra el primer caso de COVID-19 en México. El 11 de marzo, con alrededor de 100,000 casos registrados de COVID-19, la OMS declaró al virus como pandemia (WHO, 2020) (CDC, 2023).

### **1.8.2 Confinamiento provocado por COVID-19 en México**

Debido a su transmisibilidad y rápida propagación en todo el mundo, varios gobiernos impusieron severas restricciones tanto a la vida social como a la actividad económica, incluidas órdenes de quedarse en casa, distanciamiento social, cuarentenas obligatorias, además de trabajo y escuela a distancia. En México, el 23 de marzo del año 2020, la Secretaría de Salud, emite la declaración de la “Jornada Nacional de Sana Distancia”. Con esto se implementaron medidas sanitarias y distanciamiento social para disminuir los contagios por COVID-19. El 1 de abril de 2020, el gobierno de México realiza una declaratoria de emergencia, y con ello en país entro en fase 3 de la pandemia. Esta etapa consistía en extender la jornada de “Sana Distancia” y anunció la suspensión de actividades no esenciales en el sector público y privado, escuelas y universidades fueron suspendidas como parte de las medidas de contención (SSA, 2020).

Esto conllevó que una gran parte de la población realizara sus actividades habituales desde casa. El 13 de mayo, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social anunció el plan de “Regreso a la nueva normalidad”. Este plan consistía en las estrategias previstas para la reapertura de actividades sociales, económicas y educativas en el país debido a la emergencia sanitaria por COVID-19 (PROFEDET, 2020). El 7 de agosto, el gobierno de Puebla estableció algunos lineamientos para la reapertura responsable de algunas actividades económicas (Zenteno, 2020). En diciembre del año 2020, debido a las fiestas decembrinas y a la temporada invernal, hubo un gran incremento en los contagios por COVID-19 en México. Además, en

el mes de diciembre llegó al país el primer lote de vacunas Pfizer para comenzar con la vacunación contra el COVID-19 en México (El Financiero, 2020).

Durante los primeros meses del año 2021, continuaron las restricciones y medidas de prevención en el país para evitar el aumento de casos de COVID-19. A lo largo del año 2021 se investigó la aparición de nuevas variantes de COVID-19. También se avanzaron y agilizaron los procesos de vacunación en el país. Durante el año 2022 se veían reducidos los contagios por COVID-19 y con ello la disminución de medidas sanitarias en la población. El 9 de mayo del año 2023, la Secretaría de Salud anuncio que oficialmente se daba fin a la emergencia sanitaria en México por COVID-19 (SSA, 2023).

### **1.8.3 Efectos del confinamiento a la contaminación atmosférica**

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) publicó “WMO Air Quality and Climate Bulletin No. 1” (Organización Meteorológica Mundial, 2021). Este boletín hace énfasis en el impacto de la pandemia de COVID-19 en la contaminación atmosférica. El boletín menciona que se realizó un estudio coordinado por la Global Atmosphere Watch Programme (GAW) y la OMM, el cual examinó el comportamiento de especies clave de contaminantes del aire durante la pandemia de COVID-19. El estudio examinó los datos de observaciones terrestres in situ de la calidad del aire de más de 540 estaciones en alrededor de 63 ciudades de 25 países ubicados en siete regiones geográficas del mundo, la mayoría de estas estaciones están ubicadas en centros urbanos y algunas otras en los alrededores o en poblaciones rurales. Los datos se utilizaron para analizar los cambios en la calidad del aire para los principales contaminantes, las partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico equivalente inferior a  $2,5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) y  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ), así como para el oxidante gaseoso total ( $\text{OX} = \text{NO}_2 + \text{O}_3$ ). Los estudios realizados demostraron **que durante el confinamiento debido al COVID-19 en el**

**año 2020, las emisiones de contaminantes atmosféricos disminuyeron significativamente en todo el mundo.**

Hubo una correlación positiva entre la reducción de NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y la disminución de la actividad humana en la mayoría de las ciudades, pero no se observaron cambios notables en otros contaminantes, lo que sugiere que otras fuentes como el cambio climático o el calentamiento global además de los vehículos y la industria también influyeron en la calidad del aire. Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> mostraron comportamientos complejos, con aumentos en algunas ciudades, por ejemplo, en algunas regiones de España, esto se puede producir debido al transporte de polvo africano y/o la quema de biomasa. Las concentraciones de O<sub>3</sub> variaron ampliamente entre regiones, esto se podría deber a la complejidad química del ozono y las condiciones meteorológicas de cada región. Las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyeron en todas las regiones donde se midieron, y los niveles de CO también fueron más bajos en varias zonas, con la mayor disminución en América del Sur. El boletín concluye que, si bien el confinamiento tuvo un impacto claro en la calidad del aire, aún era necesario realizar investigaciones para comprender el cómo los contaminantes secundarios responden químicamente a los cambios de emisiones en la atmósfera.

Debido al interés de investigadores de diversas partes del mundo por el estudio de la calidad del aire durante el confinamiento debido a la oportunidad única a escala global y local para evaluar la efectividad de algunas medidas a corto plazo para reducir la contaminación del aire. Se realizaron diversos artículos e investigaciones científicas desde finales del año 2020 hasta la fecha sobre este tema. Debido a la gran cantidad de información disponible, los investigadores Ana Catarina T. Silva, Peter TBS Blanco y Sofía IV Sousa (2022) en el artículo "Impact of COVID-19 Pandemic on Air Quality: A Systematic Review", analizaron un total de 114 estudios realizados en diversas partes del mundo, las cuales cuantificaban el impacto de la pandemia de COVID-19. Del artículo se destacan los siguientes puntos. El grado de reducción de los contaminantes del aire puede variar de una ciudad a otra debido a factores locales como la severidad de las medidas de

cuarentena, la distribución de las fuentes de emisión, y la meteorología local. El 41% de los artículos revisados integraron tanto condiciones climáticas como datos históricos para lograr resultados más precisos. Los principales contaminantes evaluados fueron, el dióxido de nitrógeno y las partículas en suspensión de 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , estas últimas fueron los más analizados, seguidos del ozono. También se analizaron monóxido de carbono y dióxido de azufre. El mayor número de investigaciones se realizaron en países asiáticos, principalmente en la India y China. En estos países se lograron la mayor reducción de contaminantes durante el confinamiento. Siendo principalmente del 20% al 30% para PM y del 30% al 60% para  $\text{NO}_2$ , como se esperaba dados los altos niveles de contaminación del aire en esos lugares antes del confinamiento. Algunos estudios también informaron aumentos para los períodos posteriores al confinamiento porque la concentración de contaminantes aumentó a los niveles previos a la cuarentena tan pronto como terminó el período de cuarentena. Se observó que los resultados de  $\text{SO}_2$  y  $\text{CO}$ , no fueron tan consistentes, dependiendo más de la ubicación del estudio presentando aumentos, disminuciones y, en ocasiones, permaneciendo sin cambios. Parte de los estudios revisados informaron de una disminución de las concentraciones de  $\text{CO}$ , en algunos casos incluso superiores a las de PM y  $\text{NO}_2$ . En cuanto al  $\text{O}_3$ , se evidenció un aumento en casi todos los estudios. Algunos autores correlacionaron este incremento de  $\text{O}_3$  con la reducción de  $\text{NO}$ . Sin embargo, en algunas ciudades, la concentración de  $\text{O}_3$  también se redujo, principalmente debido a condiciones climáticas desfavorables para la formación de este contaminante. **En general, se demostró una mejora en la calidad del aire durante el confinamiento en comparación con periodos previos a este.** En particular,  $\text{NO}_2$  y las PM se redujeron especialmente en áreas urbanas con niveles más altos de contaminación del aire. El  $\text{O}_3$  registró principalmente un aumento, mientras que el  $\text{SO}_2$  y el  $\text{CO}$  obtuvieron resultados más diversos. **Las conclusiones de los artículos determinaron que el confinamiento por COVID-19 brindó la oportunidad de repensar nuevas políticas para mejorar la calidad del aire considerando un desarrollo económico sostenible.**

#### **1.8.4 Efectos del confinamiento a la contaminación atmosférica en México**

En el buscador de Google Academic se buscó artículos científicos sobre los impactos que tuvo la pandemia en la calidad del aire en México. Esto con el fin de encontrar información sobre el estado de Puebla. En el buscador no apareció algún artículo científico que tratara sobre la ciudad de Puebla, sin embargo, se encontraron unos cuantos que hicieron estudios de la calidad del aire en la Ciudad de México. Uno de dichos artículos fue “Impacts of the COVID-19 lockdown on air quality and its association with human mortality trends in megapolis Mexico City” (Pérez, Kutralam, Roy, & Shruti, 2021). La Ciudad de México es la segunda ciudad con mayor población de Latinoamérica, además de las condiciones meteorológicas locales provocan que sea una urbe con una mala calidad del aire. Los autores del artículo ven necesario la realización de este estudio para analizar y comparar los niveles de contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México debido al confinamiento por COVID-19 para implementar o modificar estrategias existentes para mejorar la calidad del aire de esta ciudad. Para la realización de este artículo se utilizaron los datos de las redes de monitoreo atmosférico manual y automatizado (REDMA y RAMA), red de depósitos atmosféricos (REDDA) y meteorología y Red de radiación solar (REDMET) ubicados en distintos puntos de la zona metropolitana de la ciudad de México y algunos del Estado de México.

Los datos que utilizaron fueron los registros de contaminantes  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , previos al confinamiento, y se compararon con los obtenidos durante los primeros periodos de la cuarentena entre abril y mayo de año 2020. Se tomaron en consideración las condiciones atmosféricas de la Ciudad de México y se compararon con las mediciones previas en años y meses previos. Después de un análisis estadístico, determinaron que **la concentración de  $SO_2$  mostró una reducción máxima del 55%, y detectaron reducciones del 29% y 11% en  $NO_2$  y  $PM_{10}$ . También observaron que las concentraciones de  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$  y  $CO$  aumentaron durante el período de confinamiento.** En comparación con mediciones anteriores a la pandemia, el aumento del  $O_3$  fue muy elevado, cerca

63% y las concentraciones de CO y PM<sub>2.5</sub> mostraron incrementos de 1,1% y 19%, respectivamente. NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> registraron reducciones del 29 % y 11 % durante el período de confinamiento y el período previo al confinamiento, mientras que registraron reducciones mayores del 33 % y 25 % en comparación con la tendencia de cinco años (2015-2019). Aunque las concentraciones de CO y PM<sub>2.5</sub> aumentaron durante el período de confinamiento, se observó una disminución significativa del 29% y el 19% en comparación con los 5 años anteriores.

En general, estos resultados indican que **la mayoría de los contaminantes en la atmósfera de la Ciudad de México disminuyeron significativamente durante la pandemia en comparación con los registros de cinco años antes de la aparición del COVID-19**. Este artículo concluyó que las variaciones observadas en los contaminantes del aire no mostraron alguna asociación significativa con parámetros meteorológicos y fueron causadas principalmente por estrictas restricciones a las actividades antropogénicas durante la pandemia de COVID-19. Por ejemplo, **NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> mostraron fuertes relaciones con el recuento de tráfico local, lo que indica un efecto significativo de los movimientos vehiculares en la calidad del aire**. Analizaron que respecto al O<sub>3</sub>, observaron una **correlación negativa** con el conteo de **tráfico urbano en la ciudad y fuertes interacciones con PM<sub>2.5</sub> para los periodos de prepandemia y durante la pandemia**. También observaron que hay una **correlación positiva entre las defunciones por COVID-19 y las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, CO y O<sub>3</sub> en la atmósfera**.

El artículo titulado “Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic” (Peralta, y otros, 2021) aborda como fueron las mediciones de los contaminantes registrados por las redes de monitoreo atmosférico durante la cuarentena en la Zona Metropolitana del Valle de México. Al igual que en artículos antes mencionados, **obtuvieron niveles altos de O<sub>3</sub>**. En el artículo se atribuye esto a que la formación de **ozono está impulsada por complejos procesos fotoquímicos no lineales y está controlada principalmente por las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y NO<sub>x</sub>**. Las acciones para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> de las

principales fuentes disminuirán las concentraciones de ozono a nivel del suelo en áreas limitadas por NOx, pero aumentarán las concentraciones de ozono en áreas limitadas por COV. Por otro lado, las estrategias de control para reducir las emisiones de COV disminuirán las concentraciones de ozono en regímenes limitados de COV, pero aumentarán su formación y concentración en áreas limitadas de NOx. También analizaron que los datos obtenidos por las redes de monitoreo automático durante el confinamiento demostraban una **disminución de las concentraciones de NOx y NO<sub>2</sub>**. Sin embargo, los niveles de ozono no mostraron una disminución apreciable. Señalaron que los niveles de ozono en la región metropolitana de la Ciudad de México ha sido reconocida como sensible a los COVs.

En el artículo se llega a la conclusión de que gracias al **confinamiento producido por el COVID se pudo determinar que la formación de ozono se produce en el régimen sensible a COV, donde un aumento de COV conduce a un aumento de O<sub>3</sub> y que un aumento de NOx conduce a una disminución de O<sub>3</sub>**. Añaden que el régimen limitado de COVs ocurre frecuentemente en atmósferas urbanas densamente pobladas. Por lo tanto, **la concentración generalmente alta de ozono ambiental en la Ciudad de México ya no puede atribuirse únicamente a los vehículos que recorren la ciudad**. Añaden que es necesario un cambio de paradigma para extender las políticas de control de emisiones a otras fuentes o actividades.

En el artículo “Impact of the COVID-19 Lockdown on Air Quality and Resulting Public Health Benefits in the Mexico City Metropolitan Area” (Hernández, y otros, 2021), los investigadores realizaron un extenso análisis estadístico con los datos obtenidos en las redes de monitoreo automático ubicadas en distintos puntos de la Ciudad de México y del Estado de México. En esta investigación se hace un mayor énfasis en los datos meteorológicos de la Ciudad de México, como lo es el viento y sus efectos en los contaminantes atmosféricos. Señalaron que **los contaminantes del aire pueden acumularse debido al estancamiento del aire relacionado con condiciones meteorológicas que favorecen regímenes secos y estables**

**caracterizados por falta de ventilación, presencia de temperatura y sistema de alta presión con influencia a escala sinóptica.** Por lo tanto, se debe considerar un escenario en el que los cambios en las concentraciones de contaminantes atmosféricos durante el confinamiento por el COVID-19 podrían ser impulsados por la meteorología en lugar de por reducciones en sus emisiones.

Las conclusiones del estudio son que **las concentraciones de NO<sub>2</sub> disminuyeron significativamente debido a la reducción de las emisiones de los vehículos de motor, y que otros contaminantes criterio requieren políticas de control de emisiones más estrictas para su reducción dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México.** Señalaron que los resultados obtenidos por su investigación confirmaron que **para reducir los niveles de O<sub>3</sub> dentro de la zona metropolitana, se deben introducir estrategias futuras para reducir las emisiones de COV de otras fuentes y no solo de los vehículos de motor.** En general, la calidad del aire mejoró durante el confinamiento en respuesta a la reducción de las emisiones de NO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> a pesar de los aumentos en los niveles de O<sub>3</sub>.

## Capítulo 2. Metodología

### 2.1 Recolección de datos

Para la obtención de datos sobre los registros meteorológicos y la concentración de contaminantes criterio, se le solicitó al ingeniero Francisco Javier Solano Huitzil, jefe del departamento de emisiones a la atmósfera/ responsable de la red de monitoreo atmosférico de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT), que pusieran a disposición estos datos para la realización de la tesis presente. Algunos datos están disponibles en la página web de la REMA, sin embargo, muchos de los datos disponibles en el sitio web no están actualizados, por lo cual se solicitaron los datos directamente con la SMADSOT. El ingeniero Francisco cordialmente proporcionó los datos de las redes de monitoreo para la realización de esta tesis.

#### 2.1.2 Formato de los datos de la REMA y RAMM

Los datos de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA) y Red Automática de Monitoreo Meteorológico (RAMM) suministrados se encuentran almacenados en hojas de Excel. Los datos que se proporcionaron de la REMA abarcaron desde el año 2010 hasta la fecha en que se solicitaron estos datos (5 de septiembre del 2023). Cada fila indicaba la hora en la que fue tomada la muestra del contaminante, durante los 365 días del año (366 días en el año 2020) cada 24 horas. Las columnas se dividían en 6 grupos para los contaminantes, criterio, así como su unidad de concentración. Para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> su unidad de medición es de partes por billón (ppb), para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> su unidad de medición es de µgm<sup>3</sup>, para el CO, su unidad de medición es de partes por millón (ppm). Cada contaminante se divide en subcategorías indicando la ubicación de la estación de monitoreo donde se registró la muestra (Agua santa, BINE, Ninfas, UTP, Velódromo).

Para los datos de la RAMM se proporcionaron los datos del año 2018 a la fecha. El formato de estos datos fue inconsistente. Entre los años 2018 a 2020, cada estación contaba con sus propios datos en su propio formato, lo cual generó problemas para la recolección de datos meteorológicos debido a que el gran volumen de datos se encuentra disperso e incluso en desorden, con fechas y horas sin registro alguno.

A partir del año 2022, datos meteorológicos se ordenaron en una única hoja de Excel donde las filas correspondían al día y hora en el que se tomó la muestra. En las columnas se colocó la ubicación de la estación de monitoreo (Agua santa, BINE, Ninfas, UTP, Velódromo) y el parámetro que se registró. La RAMM en sus diferentes estaciones, registra la dirección del viento (DV), velocidad del viento (VV), temperatura del aire (TEMP), radiación solar (RS), humedad relativa (RS), presión barométrica (PB), lluvia, índice ultravioleta (UVI). Para la realización de esta tesis solo será necesario analizar la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y lluvia

## **2.2 Selección de datos**

De los datos disponibles en las hojas de Excel, para fines de esta tesis, solo fueron necesarios aquellos registros a partir de año 2018 hasta el 2023. De las hojas de REMA se utilizaron los datos de los años de interés. En las hojas de RAMM se hizo lo mismo. Para la REMA es necesario tener la mayor cantidad de datos posibles para observar y analizar la variabilidad de la concentración de los contaminantes, criterio en periodos, de antes del confinamiento (2018 -2020), durante el confinamiento (2020-2021) y después del confinamiento (2022-2023). Los datos meteorológicos son necesarios para analizar una correlación con la concentración de contaminantes. Debido a que los factores meteorológicos generalmente tienen un patrón a lo largo del año debido principalmente a las estaciones del año, no habría una gran variación entre los periodos de análisis si no se cuenta con la gran

mayoría de los datos disponible. Los resultados de correlación de contaminantes y factores meteorológicos se analizarán más adelante.

### **2.3.1 Promedio datos de REMA**

El promedio o media aritmética es la suma de todos los valores de una lista de valores numéricos dividida por el número de elementos de la lista. Se realizó una serie de promedios para obtener el valor medio de la concentración de contaminantes. Para discernir el conjunto de datos, se hizo un promedio mensual de la concentración de cada uno de los contaminantes criterio registrado por cada una de las estaciones de monitoreo desde enero del año 2018 hasta agosto del año 2023. Estos promedios mensuales se agruparon por años para así registrar el promedio anual de la concentración de los contaminantes en la ciudad de Puebla. Posteriormente, estos datos se graficaron para analizar el comportamiento de los contaminantes durante los años de estudio. Dichas gráficas se presentarán más adelante (ir a [anexo](#)).

Las estaciones REMA y RAMM generalmente no están en funcionamiento las 24 horas del día durante todo el año, en ciertos periodos de tiempo reciben mantenimiento o se encuentran fuera operación por algún otro motivo. Por lo que ciertos valores dentro de la colección de datos están incompletos. Para ello, se hizo un conteo del número de muestras que realizan las estaciones durante cada mes del año y contar aquellos espacios donde la estación no registró la toma de la muestra. Para determinar que mediciones tenían mayor grado de confianza, se separaron por colores según el porcentaje de números de muestras que realizó la estación durante el mes. A continuación, se muestra una tabla donde se detallan estas clasificaciones.

	Porcentaje de confianza						
	100%	≤94%	94%-90%	90%-75%	75%-50%	50%-30%	≥30
Mes	Número de muestras						
Enero	744	699	699-670	670-558	558-372	372-223	223
Febrero (2018,2019,2021,2023)	672	632	632-605	605-504	504-336	336-202	202
Febrero bisiesto (2020)	696	654	654-626	654-522	522-348	348-209	209
Marzo	744	699	699-670	670-558	558-372	372-223	223
Abril	720	677	677-648	648-540	540-360	372-216	216
Mayo	744	699	699-670	670-558	558-372	372-223	223
Junio	720	677	677-648	648-540	540-360	372-216	216
Julio	744	699	699-670	670-558	558-372	372-223	223
Agosto	744	699	699-670	670-558	558-372	372-216	223
Septiembre	720	677	677-648	648-540	540-360	372-223	216
Octubre	744	699	699-670	670-558	558-372	372-216	223
Noviembre	720	677	677-648	648-540	540-360	372-223	216
Diciembre	744	699	699-670	670-558	558-372	372-216	223

Tabla 1. Tabla de porcentajes de confianza de muestras. Elaboración propia. 2023

### 2.3.2 Promedios datos de RAMM

Se quiso replicar el mismo proceso de los datos de la REMA con los datos de la RAMM, pero esto no se logró completamente debido a diversos factores del ordenamiento de la información en las hojas de Excel. A pesar de estas dificultades del formato de los datos se calculó el promedio de la humedad, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento del año 2018 y 2019. En el año 2020 no había datos registrados de la RAMM para calcular el promedio mensual de los datos, únicamente se tenían algunos disponibles de la estación de Velódromo, pero no tenían un alto grado de confianza; esto se podría deber a la falta de mantenimiento que se les dieron a los dispositivos de monitoreo provocados por el confinamiento. El conjunto de datos del año 2020 y 2023 son los más completos y estructurados de la RAMM. Obtener los promedios de los datos de estos años no causaron mayor problema, ya que debido a su ordenamiento se usaron funciones similares que en los datos de la REMA que se explicaron anteriormente.

De forma similar, se analizó el grado de confianza de los datos meteorológicos de los años 2022 y 2023 usando los límites establecidos de la [tabla 1](#). El promedio de los datos obtenidos se utilizó para la correlación entre los datos

meteorológicos y la concentración de contaminantes (ir a [correlación de contaminantes y meteorología](#)).

## 2.4 Correlación

La correlación es una medida estadística que expresa el grado en que dos variables están relacionadas linealmente. El método de correlación más común es el coeficiente de Pearson, en el que sus valores pueden oscilar entre -1 a 1. Cuando el valor del coeficiente obtenido se encuentre más cerca del cero, ya sea como -1 o 1, mejor será su ajuste. Los valores cercanos a -1 indican una correlación negativa, mientras que si los valores están más cercanos al 1 indican una relación positiva, más cercano al 0 señalan que no hay correlación entre las variables (Fernando, 2023).

Con el análisis de correlaciones se buscó determinar si existe una correlación entre los promedios de concentraciones de contaminantes criterios con el promedio factores meteorológicos. Esto con el objetivo de que si algún contaminante criterio tuviera un incremento o deceso repentino se pueda asociar a que tiene alguna relación con determinado factor meteorológico local. Primeramente, se hizo este análisis con el promedio total de los contaminantes criterio durante todos los años de estudio, sin embargo, los resultados no fueron los esperados, esto se puede atribuir a que los datos no tenían un número de muestras confiables. Por lo cual se repitió este proceso en una segunda prueba, utilizando únicamente el promedio mensual del año en el que los contaminantes criterio tuvieran el mayor número de muestras tomadas. En la mayoría de los contaminantes su mayor número de muestras se tomaron en el año 2022, únicamente para las PM<sub>2.5</sub> su año de mayor confianza fue en el año 2018. También para aquellas estaciones que no tuvieran un buen porcentaje de confianza, el número de muestras obtenidas se descartaron para el promedio total. Nuevamente con esta prueba no se obtuvieron los resultados esperados.

Se hizo una tercera prueba de correlación ahora empleando los promedios de las estaciones REMA y RAMM de los años 2022 y 2023 debido a que son los datos meteorológicos con mayor confianza. Estos datos de promedios se traspasaron al programa Eviews el cual se encargó de determinar la correlación de los datos. Esta prueba fue la con la que se obtuvieron mejores resultados y son lo que se presentaran en esta investigación. Más adelante se mostrarán los resultados obtenidos (ir a [anexo](#)).

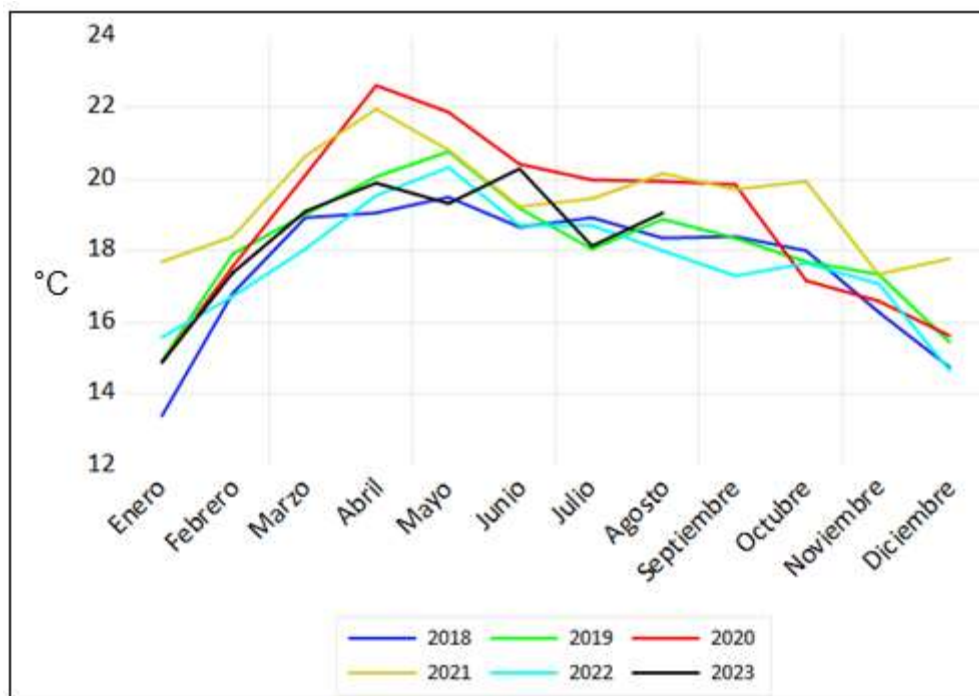
Para la correlación entre los contaminantes criterio se utilizaron los promedios mensuales totales obtenidos en todos los años de estudio. Estos datos se traspasaron a Eviews para elaborar las tablas de correlación. Las pruebas presentaron resultados que hasta cierto punto no pueden concluyentemente certeros debido a la confianza total de los datos utilizados para su elaboración.

## Capítulo 3. Resultados y discusión

### 3.1 Gráficas de promedio de meteorología

Los promedios meteorológicos anuales se graficaron para así observar su comportamiento durante los años de estudio.

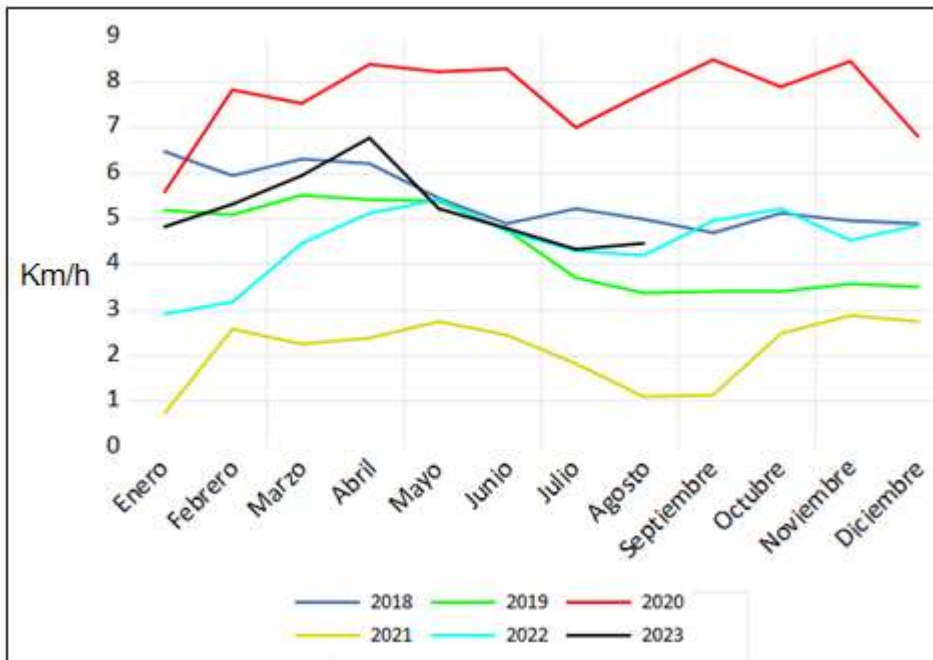
#### 3.1.1 Temperatura



Gráfica 1. Promedio anual de temperatura. Elaboración propia. 2023

La gráfica indica que el año con mayor variación de temperatura se produjo en el año 2020 y 2021, sin embargo, únicamente la estación de Velódromo estuvo en funcionamiento durante ese año (consultar [tabla 6](#)). Se necesitarían más datos durante el año 2020 para confirmar si hubo una variación significativa de la temperatura en dicho año.

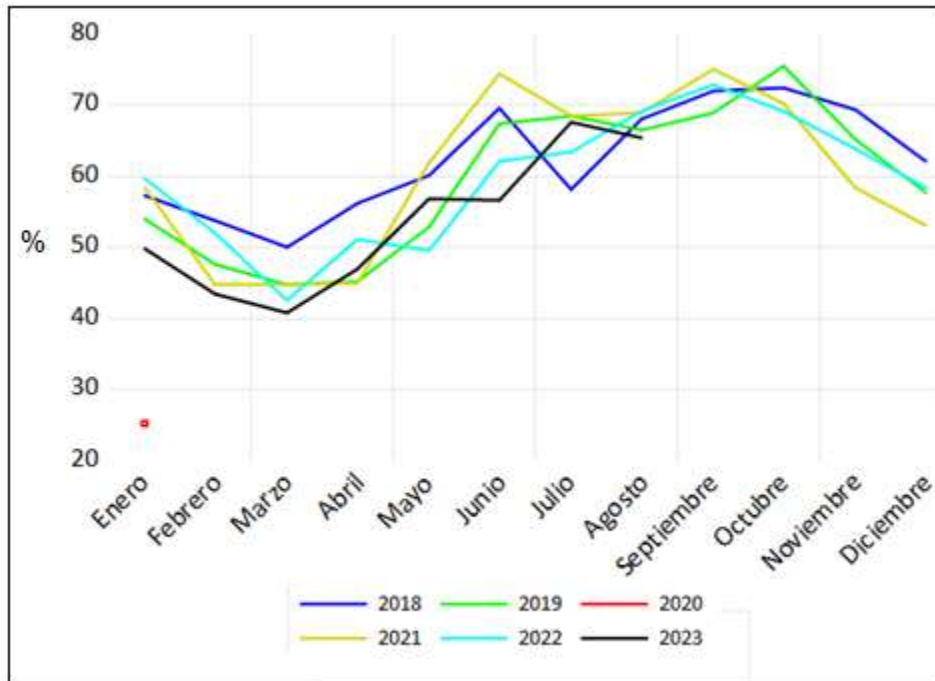
### 3.1.2 Velocidad del viento



Gráfica 2, Promedio anual de velocidad del viento. Elaboración propia. 2023

En la gráfica se observan registros atípicos en el año 2020 y 2021, esto se debe a que en el año 2020 la estación de Velódromo fue la única que estuvo en operación a lo largo del año (consultar [tabla 12](#)). Esta estación tiene registros altos de velocidad del viento. En el año 2021 dicha estación no estuvo en funcionamiento, por lo que los valores promedio totales bajos de ese año se pueden deber a la falta de los registros de la estación de Velódromo.

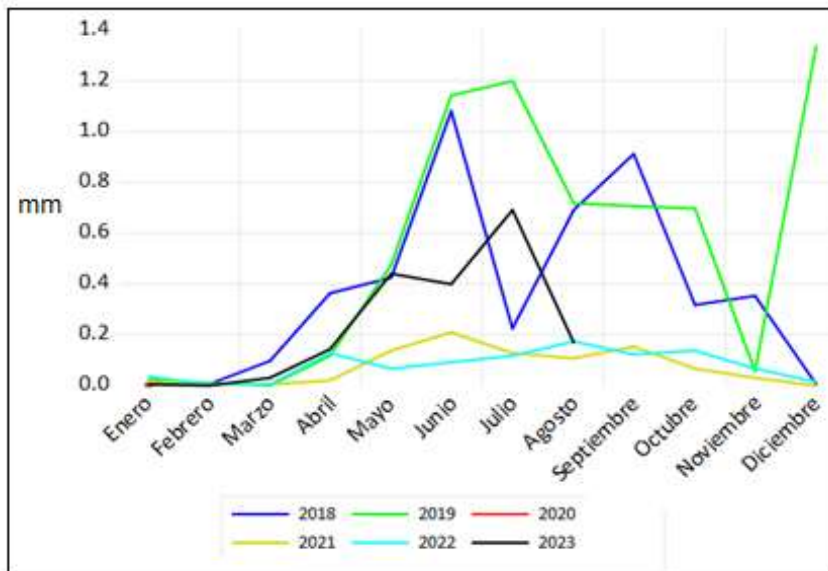
### 3.1.3 Humedad relativa



Gráfica 3. Promedio anual de humedad relativa. Elaboración propia. 2023

No se contaron con registros de humedad relativa en ninguna de las estaciones de monitoreo atmosférico durante el año 2020 (consultar [tabla 18](#)).

### 3.1.4 Precipitaciones pluviales

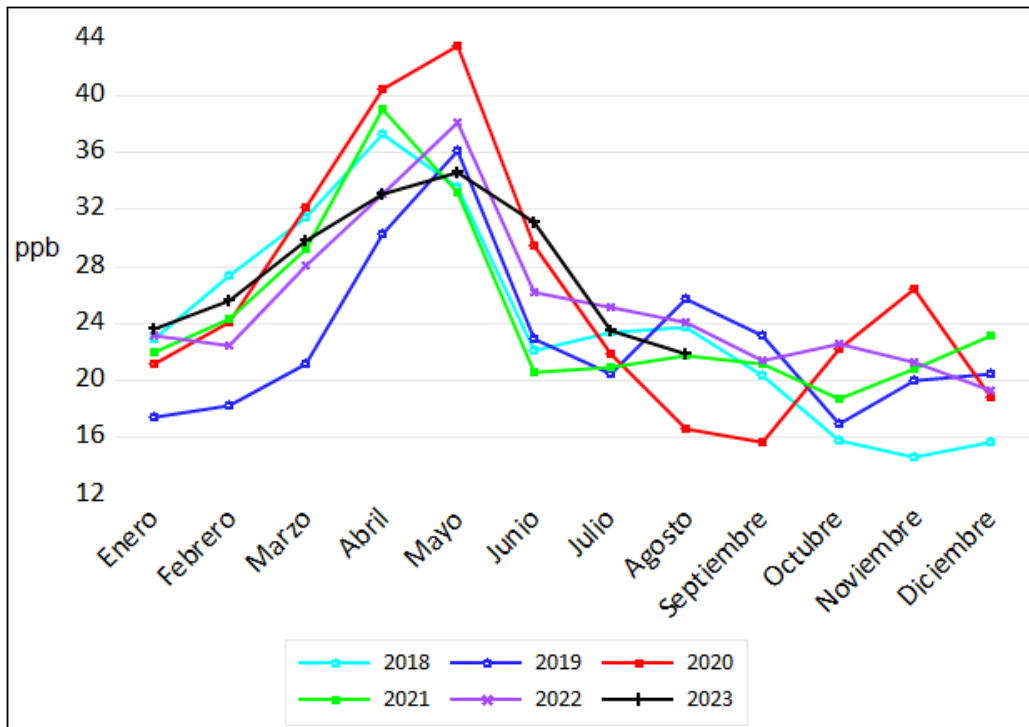


Gráfica 4. Promedio anual de precipitaciones pluviales. Elaboración propia. 2023

No se contaron con registros de precipitaciones pluviales en ninguna de las estaciones de monitoreo atmosférico durante el año 2020. (consultar [tabla 24](#))

## 3.2 Graficas de promedio de contaminantes criterio

### 3.2.1 Ozono (O<sub>3</sub>)



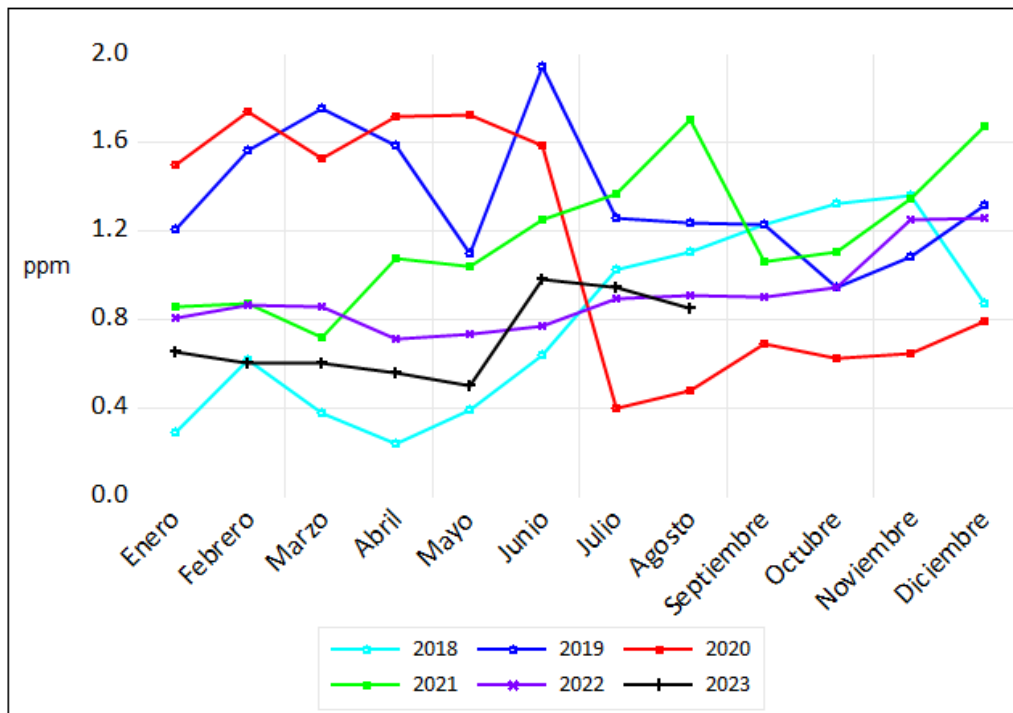
Gráfica 5. Promedio anual de concentración de O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

Las concentraciones promedio de ozono en los años de estudio tienen patrones muy similares, con niveles altos durante los meses de marzo, abril y mayo. **En el año 2020 se registraron las concentraciones más altas de O<sub>3</sub> durante el mes de mayo.** De igual forma, en él en año **2020** se registró una notable **reducción de ozono en la atmósfera durante los meses de agosto y septiembre** en comparación con las mediciones obtenidas en los otros años de estudio. Así mismo, se registró un pico elevado de la concentración de O<sub>3</sub> en noviembre del año 2020. El O<sub>3</sub> es un contaminante secundario que se forma a partir de la interacción de COVs y NOx con la radiación solar. De acuerdo con la [gráfica 1](#), durante el mes de abril y mayo se registraron las temperaturas más altas del periodo de estudio. Esto podría explicar por qué, a pesar de que el periodo de confinamiento por COVID

iniciado a finales del mes de marzo de 2020, se obtuvieron altos registros de la concentración de O<sub>3</sub>.

Durante los meses siguientes se observaron patrones similares de concentración de ozono a pesar del confinamiento hasta la notable disminución del contaminante en el mes de julio y septiembre. Las concentraciones de contaminantes a partir de octubre vuelven a los niveles usuales en comparación con los registros de otros años de estudio. Este incremento podría estar relacionado con las primeras reaperturas responsables de diversas actividades y establecimientos en el municipio de Puebla. Se podría suponer que, con esta reapertura, los contaminantes precursores para la formación de ozono volvieron a estar presentes en la atmósfera y junto a otros factores meteorológicos propiciaron que se obtuviera un pico inusual de concentración de O<sub>3</sub> en noviembre de 2020. La concentración de ozono en la atmósfera ha sido similar antes y después de la pandemia.

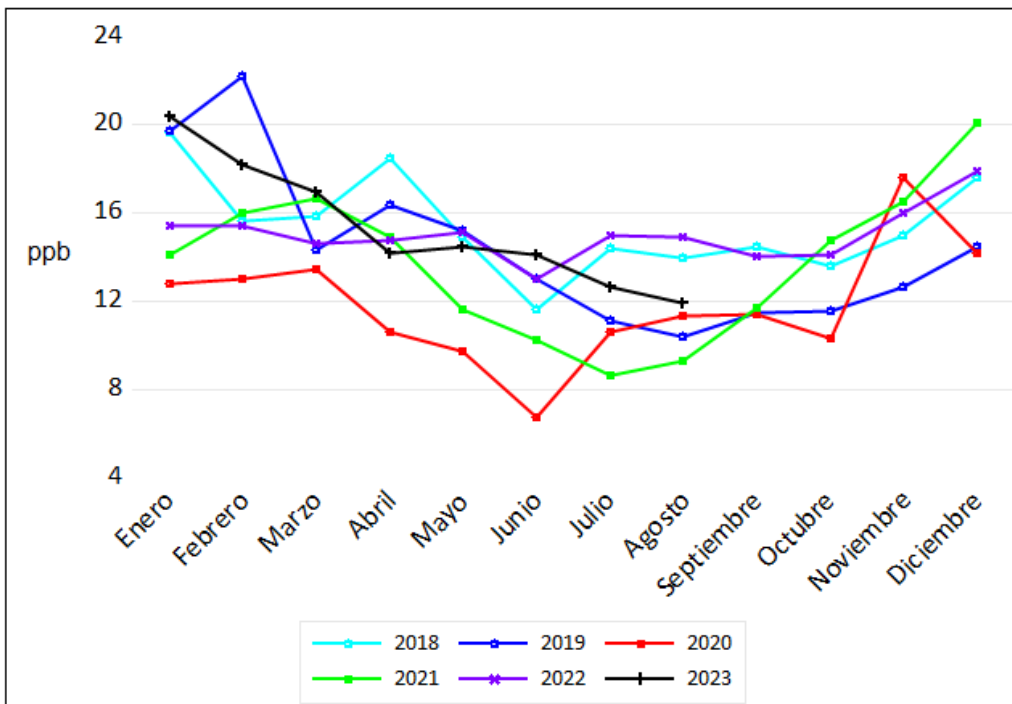
### 3.2.2 Monóxido de carbono (CO)



Gráfica 6. Promedio anual de concentración CO. Elaboración propia. 2023

En la gráfica se puede observar que en año 2020 hubo una disminución considerable en la concentración de CO registrada por las estaciones de monitoreo. Esta reducción se puede atribuir a que la estación de Agua Santa, la cual estaba obteniendo los mayores registros durante los primeros meses del año 2020, dejó de estar en funcionamiento en el transcurso de julio y agosto de dicho año (consultar [tabla 36](#)). Sin embargo, se obtuvieron las concentraciones más bajas registradas de CO en los últimos meses del año 2020, cuando las estaciones ya se encontraban funcionando correctamente. Las concentraciones de CO durante los años de estudio son muy inconsistentes, con ascensos y descensos en distintas épocas del año. El año 2022 y los primeros meses del 2023 presentaron concentraciones más constantes durante el año, además de no ser demasiado elevadas en comparación con los registros de otros años.

### 3.2.3 Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

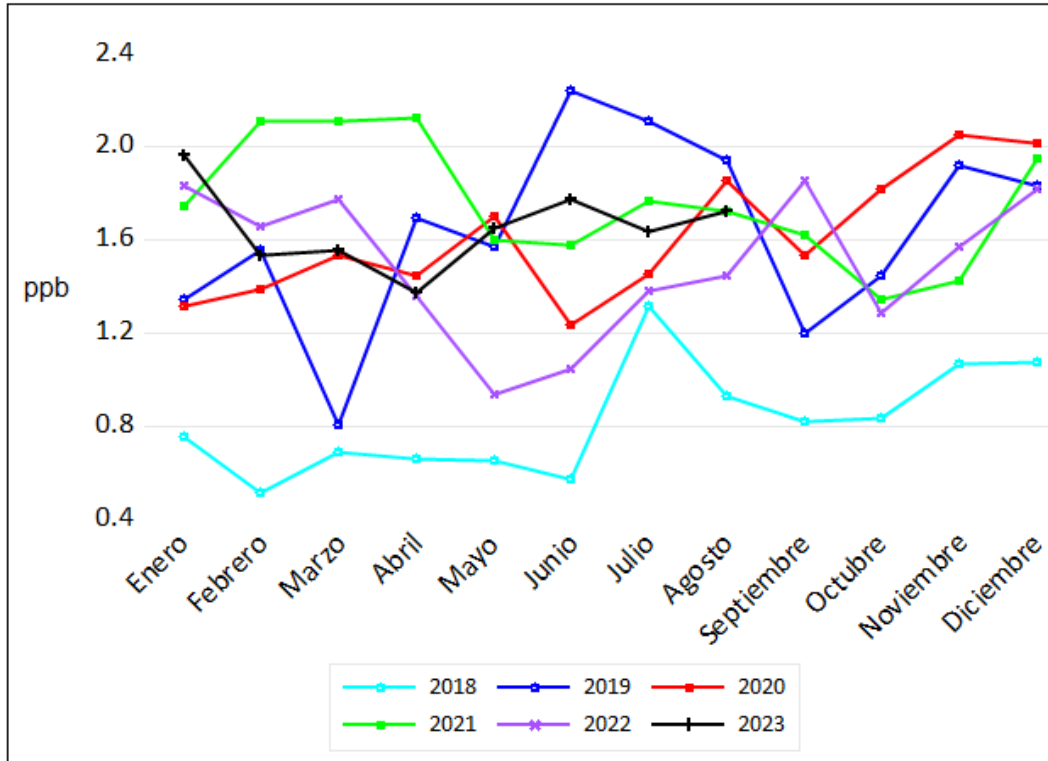


Gráfica 7. Promedio anual de concentración NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

Con los registros de las concentraciones promedios de dióxido de nitrógeno se puede apreciar cómo fueron reduciendo en los últimos meses del año 2018 a 2019 y del 2019 a 2020. Durante los primeros meses del año 2020 se registraron las concentraciones más bajas de NO<sub>2</sub>. **Con el inicio de la pandemia, estas concentraciones promedias de dióxido de nitrógeno fueron las más bajas registradas durante los años de estudio.** Las principales fuentes de emisión de dióxido de nitrógenos a la atmósfera provienen de la combustión en los motores de los vehículos, debido a la pandemia se redujeron estas en emisiones en algunos meses del año 2020. En el transcurso del año, las concentraciones de NO<sub>2</sub> fueron incrementando hasta obtener un pico inusual en noviembre de 2020. Este aumento anormal de la concentración de dióxido de nitrógeno en noviembre podría estar relacionado con la peculiar subida de la concentración de ozono que se observa en la [gráfica 5](#). Tal vez los mismos factores que incrementaron la concentración de O<sub>3</sub>,

son los mismos que incidieron en el incremento de los registros de NO<sub>2</sub>. En el año 2021 se obtuvo una concentración promedio en comparación con la de otros años en los primeros meses del año, pero a partir de abril hasta agosto de este año se registraron concentraciones similares a las de año 2020 e incluso en ciertos meses más bajas. A finales del año 2021 el promedio de las concentraciones de este contaminante aumentó, siendo los registros más altos durante esa época del año. En el año 2022 y 2023, las concentraciones de NO<sub>2</sub> han sido consistentes, mostrando un ligero aumento en comparación con el periodo antes de la pandemia.

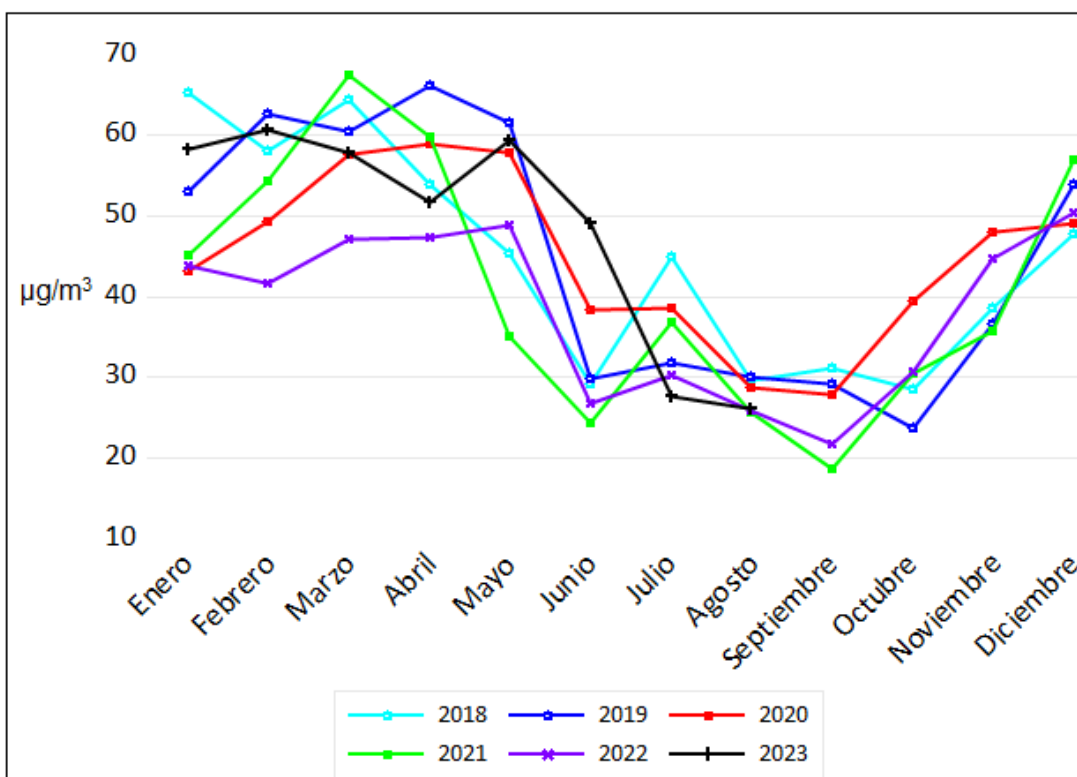
### 3.2.4 Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)



Gráfica 8. Promedio anual de concentración SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

Los promedios de concentración son muy diversos entre sí durante los años de estudio, por lo que es complicado obtener una conclusión de como el confinamiento afecto la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera. Se puede destacar como en los meses finales del año 2020 (octubre, noviembre, diciembre) la concentración de dióxido de azufre en el año fue la más alta registrada

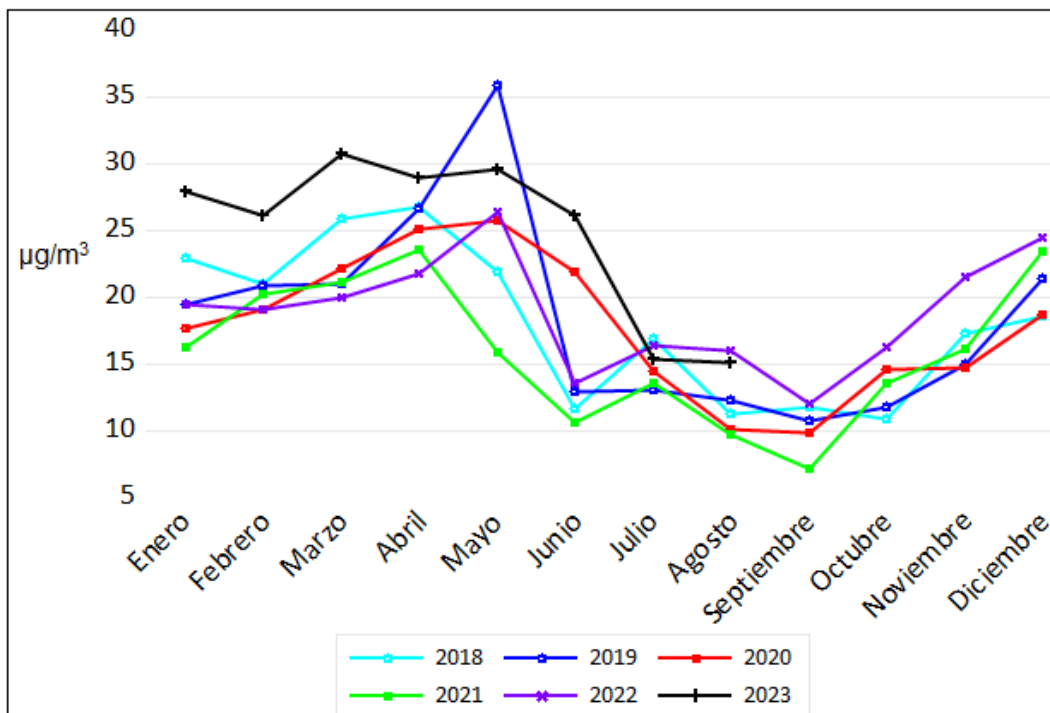
### 3.2.5 Partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)



Gráfica 9. Promedio anual de concentración PM<sub>10</sub>. Elaboración propia. 2023

La concentración promedio de PM<sub>10</sub> es muy similar en todos los años de estudio, teniendo ascensos y descensos en similares épocas del año. Se destaca un ligero incremento de la concentración que se tiene durante el mes de octubre y noviembre del año 2020, siendo la concentración más alta de este contaminante durante estos meses en los años de estudio, teniendo una disminución en diciembre de dicho año. En el año 2021 hubo una ligera disminución de la concentración de este contaminante en los meses de mayo y junio. En los años después de la pandemia se pueden apreciar ciertos meses en los que disminuyó la concentración de ese contaminante. El año 2022 fue el que registro las concentraciones más bajas en los primeros meses del año. No se aprecia un cambio significativo con la concentración de los contaminantes antes y después de la pandemia.

### 3.2.6 Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>)



Gráfica 10. Promedio anual de concentración PM<sub>2.5</sub> Elaboración propia. 2023

Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> es muy similar en los años de estudio. Se tienen diversas elevaciones y reducciones de concentración algunos puntos del año, pero vuelven a sus niveles estándares. Durante el año 2020 no paso algo remarcable con la concentración promedio registrada de PM<sub>2.5</sub>. El año 2021 tuvo registros ligeramente menores en comparación con la de otros años. No se aprecia un cambio significativo con la concentración de los contaminantes antes y después de la pandemia.

### 3.3.1 Correlación contaminantes y meteorología

	Temperatura	Velocidad viento	Humedad relativa	Precipitaciones
O <sub>3</sub>	0.761905	0.5349	-0.532	0.1782
CO	-0.75324	-0.308	0.3209	-0.2384
SO <sub>2</sub>	-0.56942	-0.3415	0.0169	0.0485
NO <sub>2</sub>	-0.5975	0.0818	-0.4885	-0.5347
PM <sub>10</sub>	-0.04175	0.3786	-0.8276	-0.225
PM <sub>2.5</sub>	0.13263	0.5388	-0.7577	-0.0991

Tabla 2. Correlaciones entre contaminantes y meteorología. Elaboración propia. 2023

Para realizar las correlaciones entre los factores meteorológicos y la concentración de contaminantes criterio, se utilizaron los promedios mensuales del enero de 2022 a agosto de 2023, ya que en ambos años se contó con un número confiable de datos obtenidos por las estaciones de monitoreo.

A partir de esta tabla se puede determinar que la **temperatura** tiene una **buena correlación positiva con la concentración de ozono** en la atmósfera, mientras que tiene **una relación negativa significativa** con la concentración de **monóxido de carbono**. Esta correlación podría ser uno de los factores por los que las concentraciones de ozono en los promedios anuales son mayores en los meses del año, donde se registraron las temperaturas más altas del año. También **la temperatura tiene una moderada correlación negativa con la concentración de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno**. La tabla indica que PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> no tiene alguna una correlación con la temperatura.

La velocidad del viento tiene una correlación moderada con la concentración de O<sub>3</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el medio ambiente. El monóxido de carbono y dióxido de azufre tiene una ligera correlación negativa con la velocidad del viento. Las PM<sub>10</sub> tienen una ligera correlación positiva con la velocidad del viento.

La tabla indica una **gran correlación negativa entre la humedad relativa y la concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>**. Esto podría indicar porque los meses con menor concentración de estos contaminantes son durante verano y la mitad de otoño (consultar [grafica 9](#) y [grafica 10](#) ). Hay una correlación negativa moderada con ozono y dióxido de nitrógeno.

Las precipitaciones no tienen alguna relación significativa con los contaminantes, a excepción del dióxido de nitrógeno, que presenta una moderada correlación negativa.

En términos generales, algunos factores meteorológicos tienen cierta correlación con los contaminantes criterio. Hay que destacar la relación entre el O<sub>3</sub> y la temperatura, así como las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> con la humedad relativa. A partir de esto se puede atribuir a que ciertas elevaciones del ozono en la atmósfera se deban a una alta temperatura en el municipio de Puebla. Esto es de esperarse porque el ozono troposférico se forma a partir de la interacción de otros contaminantes precursores con la radiación solar. Del mismo modo que una atmósfera con un gran porcentaje de humedad presenta una disminución en la concentración de partículas suspendidas. También se demostró que una alta temperatura tiene un impacto importante en una menor concentración de monóxido de carbono. Resulta interesante, ya que el comportamiento de las concentraciones de CO no presenta algún patrón consistente, teniendo elevaciones y reducciones en distintos puntos de los años de estudio. El CO, a pesar tener una correlación negativa con la temperatura, obtuvo una alta concentración durante los meses más cálidos del año 2020. Esto podría concluir que **el confinamiento, o por lo menos, los primeros meses de este, produjo un aumento en la concentración de monóxido de carbono en el municipio de Puebla**. Se tendría que hacer un análisis de correlación profundo con una mayor entrada de datos para corroborar esta hipótesis obtenida por la tabla de correlaciones.

### 3.3.2 Correlación entre contaminantes criterio

	O <sub>3</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
O <sub>3</sub>	1	-	-	-	-	-
CO	-0.1226	1	-	-	-	-
NO <sub>2</sub>	-0.0346	-0.1684	1	-	-	-
SO <sub>2</sub>	-0.0536	-0.0785	-0.0785	1	-	-
PM <sub>10</sub>	0.485	-0.0393	0.573	-0.0046	1	-
PM <sub>2.5</sub>	0.6437	-0.1002	0.4806	-0.0291	0.8498	1

Tabla 3. Correlaciones entre contaminantes criterio desde 2018 hasta 2023. Elaboración propia. 2023

La tabla de correlaciones se realizó con los promedios anuales de los contaminantes criterio entre los años 2018 hasta 2023 con los datos registrados por la REMA. El ozono tiene correlaciones moderadas positivas con las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. El monóxido de carbono no tiene alguna correlación significativa con otros contaminantes. El dióxido de nitrógeno indica tener una moderada correlación positiva con PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. El dióxido de azufre no tiene correlación con ninguno del otro contaminante criterio. Las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> tienen una buena correlación positiva en ellas.

**La anterior tabla de correlaciones muestra que no hay una relación significativa en la mayoría de los contaminantes criterio.** La más evidente es la relación positiva entre las partículas suspendidas. Esto podría indicar que comparten o son similares sus fuentes de emisión, así como su composición química. Un punto para considerar es que el ozono no presento alguna correlación con alguno de los otros contaminantes criterio. Para la formación del ozono, los gases contaminantes precursores para su producción son COVS y NO<sub>x</sub>. La tabla de correlaciones indica que no necesariamente haya una relación directa entre ozono

y dióxido de nitrógeno. Si bien una alta concentración de dióxido de nitrógeno no tendrá un impacto directo en la formación de ozono troposférico, se tendría que considerar cuál sería la correlación entre la concentración de COVs en la atmósfera con la del ozono. A pesar de los resultados obtenidos, se tiene que considerar que los datos utilizados durante los años de estudio en algunos meses del año no fueron del todo consistentes y precisos, por lo que se necesitarían una mayor cantidad de datos confiables para corroborar las conclusiones de la tabla de correlaciones entre los contaminantes criterio.

### **3.4 Discusión de resultados**

Al comparar los resultados de esta tesis con otras investigaciones se tienen resultados similares. La investigación realizada por la Global Atmosphere Watch Programme (GAW) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el año 2021 (Organización Meteorológica Mundial, 2021) demostraron que había una relación entre la disminución de concentración de NO<sub>2</sub> debido a la poca actividad humana provocada por el confinamiento en la mayoría de las ciudades donde se llevó a cabo sus estudios. Con los resultados de esta tesis se observa como en los meses en los que hubo menor actividad en el municipio de Puebla, debido al periodo de cuarentena obligatorio establecido por la Secretaría de Salud, fueron aquellos meses en lo que se registró la concentración más baja de dióxido de nitrógeno ([gráfica 7](#)).

Las condiciones atmosféricas son variables que modifican el comportamiento de los contaminantes que se encuentran en el aire. Durante la realización de esta tesis no se encontró otro tipo de información con el cual se pudieran comprar los resultados obtenidos con otro estudio realizado en el municipio de Puebla. Es por ello por lo que se tomaron algunas investigaciones sobre los niveles de contaminantes criterio en la Ciudad de México y zona metropolitana. Se tiene que considerar que las condiciones meteorológicas son similares entre Puebla y la

Ciudad de México, sin embargo, los niveles de contaminación son diferentes debido a la población que vive en la capital mexicana, esto implica una mayor actividad industrial, así como el número de vehículos a motor que circulan diariamente en la ciudad. También es importante señalar que los métodos empleados son muy diferentes en cuanto a la complejidad de métodos y modelos estadísticos empleados para determinar la concentración de los contaminantes y su correlación con la meteorología local.

En otras investigaciones, de igual forma que en esta tesis, se apreció un aumento en la concentración de  $O_3$  y  $CO$  en la atmósfera. (Pérez, Kutralam, Roy, & Shruti, 2021). En las investigaciones complementarias, se distinguió un aumento en la concentración de ozono. La conclusión de otros investigadores es que la concentración de Ozono no se debe principalmente a los contaminantes precursores emitidos por vehículos a motor, más bien que su aumento se debe a los niveles de  $COVs$  y  $NOx$  en la atmósfera (Peralta, y otros, 2021). Esto tiene relación con los resultados obtenidos en esta tesis, donde al hacer un análisis de correlación entre  $NO_2$  y  $O_3$  no demostró ser significativa, por lo que la concentración de ozono en la atmósfera se debe a los otros contaminantes necesarios para la formación de ozono, así como una temperatura elevada. En el artículo “Impact of the COVID-19 Lockdown on Air Quality and Resulting Public Health Benefits in the Mexico City Metropolitan Area” (Hernández, y otros, 2021), se analizó una reducción de la concentración de  $NO_2$ . Este resultado también se obtuvo en esta tesis, por lo que se puede concluir que la reducción de este contaminante se debe a la disminución de vehículos a motor circulando durante el confinamiento por el COVID. Las otras investigaciones determinaron una disminución en otros contaminantes criterio como  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  lo cual no se obtuvo en esta tesis.

Los artículos consultados antes mencionados se realizaron durante el año 2020 y fueron publicados en el año 2021, por lo que no se puede comparar como fue el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera después del confinamiento. En artículos más recientes titulados “Ambient Air Quality In Upper Silesia Region Pre-During, And Post-Covid-19 Periods” (Brągoszewska, Mainka, &

Biedrón, 2023) y “Impact of Lockdown on Air Quality in the Most Polluted Cities of India” (George, Prasad, Varghese, Rajesh, & Kumar, 2024) demostraron como la poca actividad humana en el periodo de cuarentena obligatoria tuvo resultados positivos en la calidad del aire en la zona de estudio. El artículo de algunas zonas de la India demostró una importante disminución de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> durante el periodo de confinamiento. Así mismo, se obtuvieron resultados similares en el artículo enfocado en la zona sur de Polonia. En ambos artículos, como en esta tesis se llegó a la conclusión de que, si hubo una disminución de la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos, solo duro un corto periodo de tiempo cuando la pandemia por COVID-19 provoco el confinamiento obligatorio y que después de esta etapa la concentración de contaminantes volvió a sus niveles habituales.

No se tiene claro a que se debió el aumento de la concentración de monóxido de carbono durante los meses de mayo y abril en el año 2020. Los niveles de contaminación de estos contaminantes no fueron constantes durante los años de estudio, por lo que es complicado determinar si el confinamiento fue la causa principal por la que se elevó la concentración de CO. También es importante señalar que la estación de Agua Santa fue la que obtuvo un alto registro de la concentración de monóxido de carbono durante el periodo de pandemia en el año 2020. Cuando el promedio mensual de esta estación se sumó al de las otras estaciones, provocó un aumento considerable en el promedio total de la concentración de CO (ir a [anexo](#)). Además de que los promedios de agua santa durante los meses de marzo a abril tuvieron un valor de confianza de entre 90% a 75%. El promedio del mes de junio tuvo una confianza de 75% a 50%. Finalmente, en el mes de julio y agosto la estación de monitoreo de Agua Santa dejó de registrar muestras de este contaminante. Esto podría indicar que posiblemente el equipo encargado de tomar la muestra de monóxido de carbono en la estación de Agua Santa estaba dañado o no estaba operando correctamente, lo cual produjo los registros inusuales de este contaminante criterio.

De igual forma el no deceso de la concentración de monóxido de carbono se puede deber a que durante el periodo de pandemia, al estar mucha gente en sus

hogares provocó el aumento de la quema de combustibles fósiles en sus hogares. También se puede atribuir a que las centrales eléctricas del municipio de Puebla pudieron tener una mayor demanda de sus servicios, por lo que aumentó sus actividades de operación y con ello una mayor emisión de sus contaminantes a la atmósfera. Para corroborar los puntos anteriores se deberían ampliar las investigaciones sobre estos temas.

## Conclusiones

Con esta tesis se demostró que el periodo de pandemia tuvo un ligero efecto positivo en la calidad del aire del municipio de Puebla por un corto lapso después del inicio del periodo de pandemia por COVID-19. El único contaminante criterio que demostró reducir su concentración fue  $\text{NO}_2$ , mientras que el  $\text{O}_3$  y  $\text{CO}$  aumentó,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  no indicaron algún cambio en su concentración durante el confinamiento. Se señaló que hubo una disminución de la concentración de dióxido de nitrógeno durante el periodo de confinamiento, seguramente debido a la poca actividad de vehículos a motor durante los meses de pandemia durante el año 2020. Esto da apertura a un panorama positivo donde si se reduce el uso de vehículos con motor de combustión sustituyéndolo por vehículos híbridos o eléctricos se tendría un beneficio a la calidad del aire reduciendo la concentración de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera.

Sin embargo, no todos los contaminantes redujeron su concentración durante el confinamiento. El más evidente es el ozono, que durante los primeros meses del confinamiento obtuvieron la concentración más alta registrada. Esto se debió a dos posibles factores, el primero es que la atmósfera tenía una concentración favorable de contaminantes precursores de la formación de ozono como son COVs y  $\text{NO}_x$ . Otra razón que explique la alta concentración de  $\text{O}_3$  durante el inicio de la pandemia, es que durante esos meses registraron temperaturas muy elevadas en el ambiente. Es importante señalar que sí hubo una notable disminución de la concentración de ozono en agosto y septiembre del año 2020. Para poder llegar a una conclusión certera sobre el comportamiento de la concentración de  $\text{O}_3$  en el municipio de Puebla, la REMA debería ampliar sus análisis a equipos que puedan tomar muestras y registrar la concentración COVs y otros  $\text{NO}_x$  en la atmósfera poblana.

Cualquiera que sea la razón de este incremento de la concentración de ozono durante el periodo de confinamiento, señala que el tráfico vehicular no es la única variable responsable de la presencia de contaminantes atmosféricos y con ello una mala calidad del aire. Esto podrá explicar por qué durante el periodo de confinamiento obligatorio, aumento la concentración de monóxido de carbono.

También como la concentración de SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> no presentaron una disminución certera durante la pandemia. La concentración de contaminantes criterio antes y después de la pandemia son bastante similares, durante el periodo de pandemia se apreció una reducción de NO<sub>2</sub>, después del periodo de pandemia la concentración de este contaminante volvió a tener concentraciones parecidas antes de la pandemia.

Con esta tesis demuestra que es de suma importancia tener un registro correcto sobre la concentración de contaminantes en la atmósfera y con ello poder evaluar su evolución con el paso del tiempo. Es una herramienta necesaria para garantizar una buena calidad del aire y con ello una población sana.

Durante el periodo de estudio se analizó como la concentración de la mayoría de los contaminantes criterio es bastante similar del año 2018 al 2023. Con una perspectiva pesimista, se podría concluir que las políticas ambientales actuales en el municipio de Puebla no están funcionando correctamente, ya que si bien, no se tiene un aumento significativo de la concentración de contaminantes criterio en la atmósfera en los últimos 5 años, tampoco ha habido una disminución, por lo cual no se ha mejorado completamente la calidad del aire en el municipio de Puebla. Únicamente SO<sub>2</sub> y CO tienen registros variados, mientras que O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> tienden a tener comportamientos similares durante ciertas épocas del año en el municipio de Puebla. No obstante, la disminución de la actividad humana producida por el COVID-19 provocó elevaciones y reducciones en la concentración de algunos contaminantes criterio. Esto indica que es necesario buscar, implementar y mejorar políticas ambientales correctas para mejorar la calidad del aire. No solo basta con buscar disminuir la actividad de vehículos a motor o buscar alternativas limpias, sino que también implica reducir de forma significativa las emisiones de actividades industriales. Estos cambios pueden requerir de tiempo y esfuerzos para realizarse, pero son necesarios para el beneficio de la población y así garantizarles un futuro con un medio ambiente sano.

## Anexo

### Tablas de promedio de meteorología

#### Temperatura

2018

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio (°C)
Enero	13.09	13.08		12.74	14.70	13.40
Febrero	16.75	16.76		16.52	17.19	16.80
Marzo	18.84	18.75		18.53	19.53	18.91
Abril	19.15	19.02	18.96	18.51	19.71	19.07
Mayo	19.63	19.51	19.03	19.11	20.29	19.51
Junio	18.75	17.89	18.25		19.77	18.66
Julio	18.92	18.87	19.06		18.92	18.88
Agosto	18.21	18.01	18.11	18.15	19.33	18.36
Septiembre	17.85	18.21	18.28	18.17	19.39	18.38
Octubre	17.97	17.80	17.67	17.51	18.97	17.98
Noviembre		16.11	15.79	15.79	17.43	16.28
Diciembre	14.82	15.04	14.66	14.45	14.83	14.76

Tabla 4. Temperatura promedio anual 2018. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio (°C)
Enero	13.93	15.28	14.98	14.61	15.76	14.91
Febrero	16.87	18.24	18.54	17.42	18.40	17.89
Marzo	18.10	19.30	19.56	18.56	19.48	19.00
Abril	18.44	20.74	20.36	19.54	21.34	20.08
Mayo	20.25	20.47	21.30	20.80	21.11	20.79
Junio	18.31	18.97	19.73	18.58	20.27	19.17
Julio	17.09	17.99	18.39	17.72	19.12	18.06
Agosto	18.10	18.87	19.22	18.49	19.62	18.86
Septiembre	17.56	18.25	18.69	18.13	19.17	18.36
Octubre	17.10	17.25	17.97	17.40	18.75	17.69
Noviembre	16.55	17.52	17.87	17.11	17.54	17.32
Diciembre	14.61	15.79	16.27	15.36	15.25	15.45

Tabla 5. Temperatura promedio anual 2019. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio (°C)
Enero	14.19	15.60	14.59		15.11	14.87

Febrero					17.57	17.57
Marzo					20.13	20.13
Abril					22.62	22.62
Mayo					21.85	21.85
Junio					20.40	20.40
Julio					19.99	19.99
Agosto					19.96	19.96
Septiembre					19.83	19.83
Octubre					17.15	17.15
Noviembre					16.59	16.59
Diciembre					15.63	15.63

Tabla 6. Temperatura promedio anual 2020. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio (°C)
Enero		21.65	16.06	15.32	1.63	17.68
Febrero	17.39	22.40	17.31	16.41	1.87	18.38
Marzo	19.30	24.72	19.46	19.02	1.44	20.62
Abril	21.34	26.01	20.56	19.83	1.73	21.94
Mayo	19.59	24.95	19.71	18.94	2.39	20.80
Junio	17.92	23.44	18.04	17.48	2.34	19.22
Julio	17.87	23.72	18.58	17.61	2.15	19.45
Agosto		23.91	18.59	17.99	2.64	20.16
Septiembre		23.57	18.08	17.44	2.92	19.69
Octubre	18.23	23.43	18.34	19.70	9.56	19.92
Noviembre	16.21	20.92	16.60	15.24	17.82	17.36
Diciembre	16.61	21.23	16.99	15.98	17.99	17.76

Tabla 7. Temperatura promedio anual 2021. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio
Enero	15.06	14.17	15.28	14.48	18.93	15.58
Febrero	16.10	15.43	16.15	15.38	20.64	16.74
Marzo	18.43	17.74	18.80	17.65	17.60	18.04
Abril	19.23	18.84	19.71	18.92	21.03	19.55
Mayo	20.14	19.92	20.52	19.31	21.87	20.35
Junio	18.39	18.23	18.57	17.68	20.54	18.68
Julio	18.40	18.28	18.70	17.70	20.40	18.70
Agosto	17.64	17.63	17.90	17.00	19.84	18.00
Septiembre	17.01	16.82	17.24	16.40	19.07	17.31
Octubre	17.27	17.08	17.66	16.93	19.32	17.65
Noviembre	16.98	16.33	17.40	16.40	18.28	17.08

<b>Diciembre</b>	14.61	13.84	15.10	14.05	15.65	14.65
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 8. Temperatura promedio anual 2022. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua santa (°C)	BINE (°C)	Ninfas (°C)	Utp (°C)	Velódromo (°C)	Promedio (°C)
Enero	14.79	14.23	15.20	14.08	15.98	14.86
Febrero	17.25	16.74	17.70	16.61	18.56	17.37
Marzo	18.99	18.52	19.30	18.36	20.38	19.11
Abril	19.57	19.51	19.91	18.90	21.54	19.89
Mayo	19.25	19.19	19.64	18.73	19.69	19.30
Junio	20.53	20.47	20.99	19.85	19.61	20.29
Julio	18.47	18.29	18.69	17.76	17.41	18.12
Agosto	19.30	19.07	19.59	18.67	18.58	19.04

Tabla 9. Temperatura promedio anual 2023. Elaboración propia. 2023

## Velocidad del viento

2018

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
Enero	5.60	6.15		6.86	7.25	6.47
Febrero	4.05	5.85		7.23	6.63	5.94
Marzo	4.53	6.09		7.87	6.77	6.31
Abril	5.28	5.81	5.46	7.57	7.00	6.22
Mayo	4.96	4.71	3.92	7.16	6.55	5.46
Junio	4.38	4.72	3.94		6.49	4.88
Julio	5.32	5.24	3.86		6.45	5.22
Agosto	4.49	4.80	3.53	6.51	5.57	4.98
Septiembre	3.62	4.67	3.62	5.83	5.76	4.70
Octubre	4.39	4.76	3.89	4.98	7.54	5.11
Noviembre		4.18	3.58	5.42	6.62	4.95
Diciembre	3.60	3.99	4.08	5.72	7.12	4.90

Tabla 10. Velocidad del viento promedio anual 2018. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
Enero	4.10	3.88	4.05	6.22	7.62	5.18
Febrero	4.78	2.44	3.95	6.33	7.99	5.10
Marzo	5.01	1.57	4.98	8.31	7.73	5.52

<b>Abril</b>	5.67	0.91	4.82	7.50	8.17	5.41
<b>Mayo</b>	5.53	2.15	5.09	6.78	7.45	5.40
<b>Junio</b>	5.12	2.09	4.53	4.87	7.15	4.75
<b>Julio</b>	2.88	0.39	3.80	4.39	7.17	3.72
<b>Agosto</b>	2.99	0.19	3.84	2.85	7.00	3.37
<b>Septiembre</b>	2.58	0.32	3.71	3.18	7.22	3.40
<b>Octubre</b>	2.97	0.14	3.68	2.60	7.59	3.40
<b>Noviembre</b>	3.41	0.36	4.14	3.35	6.65	3.58
<b>Diciembre</b>	3.85	0.68	3.84	2.34	6.82	3.51

Tabla 11. Velocidad del viento promedio anual 2019. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
<b>Enero</b>	5.49	3.56	5.01		8.25	5.58
<b>Febrero</b>					7.82	7.82
<b>Marzo</b>					7.54	7.54
<b>Abril</b>					8.40	8.40
<b>Mayo</b>					8.21	8.21
<b>Junio</b>					8.31	8.31
<b>Julio</b>					7.00	7.00
<b>Agosto</b>					7.75	7.75
<b>Septiembre</b>					8.47	8.47
<b>Octubre</b>					7.91	7.91
<b>Noviembre</b>					8.46	8.46
<b>Diciembre</b>					6.81	6.81

Tabla 12. Velocidad del viento promedio anual 2020. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
<b>Enero</b>		0.62	1.01	0.63		0.75
<b>Febrero</b>	5.72	1.35	1.22	2.06		2.59
<b>Marzo</b>	5.80	0.75	1.23	1.28		2.27
<b>Abril</b>	5.61	1.21	1.40	1.29		2.38
<b>Mayo</b>	6.16	2.09	0.93	1.78		2.74
<b>Junio</b>	5.85	0.93	1.03	2.07		2.47
<b>Julio</b>	3.78	0.63	0.87	1.98		1.82
<b>Agosto</b>		0.60	0.67	2.06		1.11
<b>Septiembre</b>		1.11	0.90	1.39		1.13
<b>Octubre</b>	4.96	1.18	0.22	3.66		2.50
<b>Noviembre</b>	5.48	1.57	0.19	4.24		2.87
<b>Diciembre</b>	4.43	1.55	0.19	4.80		2.74

Tabla 13. Velocidad del viento promedio anual 2021. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
Enero	5.36	1.76	0.34	5.95	1.17	2.92
Febrero	5.12	1.79	0.74	7.11	1.21	3.20
Marzo	6.43	3.76	1.45	7.64	3.10	4.48
Abril	6.54	5.32	0.95	7.73		5.13
Mayo	6.93	6.48	0.92	7.38		5.43
Junio	6.50	5.09	0.70	6.65		4.73
Julio	5.33	4.68	0.44	6.76		4.30
Agosto	5.48	4.87	0.25	6.18		4.19
Septiembre	7.51	6.33	0.31	5.67		4.95
Octubre	7.36	6.80	0.29	6.46		5.23
Noviembre	5.77	5.50	0.18	6.70		4.54
Diciembre	6.08	6.51	0.20	6.67		4.86

Tabla 14. Velocidad del viento promedio anual 2022. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua santa (Km/h)	BINE (Km/h)	Ninfas (Km/h)	Utp (Km/h)	Velódromo (Km/h)	Promedio (Km/h)
Enero	5.59	6.54	0.18	7.02		4.83
Febrero	6.29	7.15	0.36	7.57		5.34
Marzo	6.40	6.58	3.70	7.15		5.96
Abril	6.96	6.95	5.13	8.13		6.79
Mayo	6.50	6.01	4.32	6.94	2.42	5.24
Junio	5.54	5.31	4.17	6.77	2.14	4.78
Julio	5.52	4.89	3.62	5.67	1.91	4.32
Agosto	5.34	5.38	3.53	5.99	2.16	4.48

Tabla 15. Velocidad del viento promedio anual 2023. Elaboración propia. 2023

## Humedad relativa

2018

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
Enero	57.16	57.36		57.16		57.23
Febrero	53.72	54.31		53.24		53.75
Marzo	49.45	50.70		49.62		49.92
Abril	54.43	54.31	64.40	51.79		56.23
Mayo	58.14	58.80	63.57	59.74		60.06
Junio	68.40	70.51	69.66			69.53
Julio	57.81	58.94	57.57			58.11

<b>Agosto</b>	67.86	68.53	68.63	67.31		68.08
<b>Septiembre</b>	76.87	70.55	71.47	68.93		71.96
<b>Octubre</b>	72.37	71.57	73.40	71.93		72.32
<b>Noviembre</b>		68.50	70.84	68.62		69.32
<b>Diciembre</b>	62.61	61.22	62.96	61.53		62.08

Tabla 16. Humedad relativa promedio anual 2018. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
<b>Enero</b>	53.61	53.34	54.42	54.37		53.93
<b>Febrero</b>	47.12	47.98	46.65	48.71		47.62
<b>Marzo</b>	44.06	44.89	43.59	46.11		44.66
<b>Abril</b>	42.70	52.07	41.47	44.33		45.14
<b>Mayo</b>	47.63	67.13	46.53	50.15		52.86
<b>Junio</b>	68.13	68.60	64.33	68.07		67.28
<b>Julio</b>	69.64	68.54	67.85	67.98		68.50
<b>Agosto</b>	67.00	66.37	65.94	66.21		66.38
<b>Septiembre</b>	69.12	69.30	68.65	68.27		68.84
<b>Octubre</b>	74.72	78.20	74.94	73.79		75.41
<b>Noviembre</b>	65.64	65.93	64.34	64.84		65.19
<b>Diciembre</b>	57.59	59.10	56.04	58.37		57.77

Tabla 17 Humedad relativa promedio anual 2019. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
<b>Enero</b>	6.51	8.43	60.63			25.19
<b>Febrero</b>						
<b>Marzo</b>						
<b>Abril</b>						
<b>Mayo</b>						
<b>Junio</b>						
<b>Julio</b>						
<b>Agosto</b>						
<b>Septiembre</b>						
<b>Octubre</b>						
<b>Noviembre</b>						
<b>Diciembre</b>						

Tabla 18. Humedad relativa promedio anual 2020. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
Enero		59.07	57.42	58.38		58.29
Febrero	44.49	44.44	43.82	46.14		44.72
Marzo	44.19	45.06	43.87	45.61		44.68
Abril	43.06	45.45	44.83	46.44		44.94
Mayo	61.83	62.58	61.31	61.89		61.90
Junio	74.52	74.51	74.45	74.03		74.38
Julio	73.68	67.87	66.12	66.39		68.52
Agosto		69.77	68.75	68.03		68.85
Septiembre		75.32	75.52	74.64		75.16
Octubre	71.80	71.05	69.36	68.99		70.30
Noviembre	57.15	60.57	57.10	58.81		58.41
Diciembre	52.75	55.21	51.57	53.12		53.17

Tabla 19. Humedad relativa promedio anual 2021. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
Enero	58.99	61.80	58.32	59.43		59.64
Febrero	51.29	54.13	50.83	52.09		52.08
Marzo	41.00	45.19	40.71	43.45		42.59
Abril	50.96	53.10	49.86	50.57		51.13
Mayo	49.01	50.61	48.21	50.68		49.63
Junio	61.76	62.87	61.58	62.07		62.07
Julio	63.01	64.42	62.52	63.51		63.37
Agosto	69.52	68.89	69.16	68.77		69.08
Septiembre	72.62	73.04	72.44	72.93		72.76
Octubre	69.43	70.13	68.37	68.89		69.21
Noviembre	63.65	65.66	62.57	63.57		63.86
Diciembre	57.66	60.65	56.91	58.49		58.43

Tabla 20. Humedad relativa promedio anual 2022. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua santa (%)	BINE (%)	Ninfas (%)	Utp (%)	Velódromo (%)	Promedio (%)
Enero	52.98	54.81	52.10	54.36	34.16	49.68
Febrero	47.67	49.55	47.01	49.52	23.13	43.38
Marzo	47.27	48.62	46.50	48.45	13.12	40.79
Abril	50.05	51.14	49.63	51.55	32.27	46.93
Mayo	58.97	59.57	57.82	58.81	48.56	56.75
Junio	56.94	57.39	55.11	57.14	56.56	56.63
Julio	66.87	67.93	66.37	66.84	70.16	67.63
Agosto	64.50	66.36	65.10	64.81	65.65	65.28

Tabla 21. Humedad relativa promedio anual 2023. Elaboración propia. 2023

## Precipitaciones pluviales

2018

	Agua santa (mm)	BINE (mm)	Ninfas (mm)	Utp (mm)	Velódromo (mm)	Promedio (mm)
Enero	0.00	0.01		0.00		0.00
Febrero	0.00	0.00		0.00		0.00
Marzo	0.02	0.25		0.02		0.09
Abril	0.42	0.98	0.00	0.04		0.36
Mayo	0.84	0.70	0.00	0.14		0.42
Junio	1.54	1.70	0.00			1.08
Julio	0.29	0.38	0.00			0.23
Agosto	1.14	1.46	0.00	0.15		0.69
Septiembre	1.41	2.13	0.00	0.10		0.91
Octubre	0.05	1.19	0.00	0.02		0.32
Noviembre		1.05	0.00	0.00		0.35
Diciembre	0.00	0.01	0.00	0.00		0.00

Tabla 22. Precipitaciones pluviales promedio anual 2018. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua santa (mm)	BINE (mm)	Ninfas (mm)	Utp (mm)	Velódromo (mm)	Promedio (mm)
Enero	0.00	0.09	0.00	0.00		0.02
Febrero	0.00	0.03	0.00	0.00		0.01
Marzo	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Abril	0.01	0.44	0.00	0.02		0.12
Mayo	0.61	1.24	0.00	0.05		0.47
Junio	1.50	1.93	0.00	0.17		1.14
Julio	1.64	1.95	0.00	0.25		1.20
Agosto	1.32	1.54	0.00	0.00		0.71
Septiembre	1.09	1.73	0.00	0.00		0.71
Octubre	1.48	1.20	0.09	0.00		0.69
Noviembre	0.00	0.18	0.03	0.00		0.05
Diciembre	5.35	0.00	0.00	0.00		1.34

Tabla 23. Precipitaciones pluviales promedio anual 2019. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua santa (mm)	BINE (mm)	Ninfas (mm)	Utp (mm)	Velódromo (mm)	Promedio (mm)
Enero	0.00	0.00	0.00			0.00
Febrero						
Marzo						

<b>Abril</b>						
<b>Mayo</b>						
<b>Junio</b>						
<b>Julio</b>						
<b>Agosto</b>						
<b>Septiembre</b>						
<b>Octubre</b>						
<b>Noviembre</b>						
<b>Diciembre</b>						

Tabla 24. Precipitaciones pluviales promedio anual 2020. Elaboración propia. 2023

2021

	<b>Agua santa (mm)</b>	<b>BINE (mm)</b>	<b>Ninfas (mm)</b>	<b>Utp (mm)</b>	<b>Velódromo (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>
<b>Enero</b>		0.01	0.02	0.01		0.01
<b>Febrero</b>	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
<b>Marzo</b>	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
<b>Abril</b>	0.01	0.01	0.01	0.04		0.02
<b>Mayo</b>	0.14	0.17	0.10	0.14		0.14
<b>Junio</b>	0.24	0.20	0.26	0.14		0.21
<b>Julio</b>	0.19	0.16	0.15	0.01		0.13
<b>Agosto</b>		0.15	0.15	0.00		0.10
<b>Septiembre</b>		0.31	0.14	0.00		0.15
<b>Octubre</b>	0.07	0.08	0.05	0.07		0.07
<b>Noviembre</b>	0.04	0.01	0.04	0.02		0.03
<b>Diciembre</b>	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00

Tabla 25. Precipitaciones pluviales promedio anual 2021. Elaboración propia. 2023

2022

	<b>Agua santa (mm)</b>	<b>BINE (mm)</b>	<b>Ninfas (mm)</b>	<b>Utp (mm)</b>	<b>Velódromo (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>
<b>Enero</b>	0.03	0.03	0.06	0.01		0.03
<b>Febrero</b>	0.01	0.00	0.00	0.00		0.01
<b>Marzo</b>	0.00	0.02	0.00	0.00		0.00
<b>Abril</b>	0.22	0.17	0.10	0.01		0.12
<b>Mayo</b>	0.12	0.08	0.00	0.06		0.06
<b>Junio</b>	0.06	0.17	0.09	0.04		0.09
<b>Julio</b>	0.00	0.31	0.01	0.14		0.11
<b>Agosto</b>	0.00	0.67	0.00	0.02		0.17
<b>Septiembre</b>	0.00	0.49	0.00	0.00		0.12
<b>Octubre</b>	0.07	0.41	0.00	0.08		0.14
<b>Noviembre</b>	0.10	0.06	0.00	0.10		0.06
<b>Diciembre</b>	0.02	0.01	0.00	0.02		0.01

Tabla 26. Precipitaciones pluviales promedio anual 2022. Elaboración propia. 2023

2023

	<b>Agua santa (mm)</b>	<b>BINE (mm)</b>	<b>Ninfas (mm)</b>	<b>Utp (mm)</b>	<b>Velódromo (mm)</b>	<b>Promedio (mm)</b>
--	------------------------	------------------	--------------------	-----------------	-----------------------	----------------------

<b>Enero</b>	0.00	0.00	0.01	0.00		0.00
<b>Febrero</b>	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
<b>Marzo</b>	0.01	0.03	0.02	0.04		0.03
<b>Abril</b>	0.11	0.18	0.21	0.07		0.14
<b>Mayo</b>	0.36	0.38	0.39	0.43	0.64	0.44
<b>Junio</b>	0.51	0.41	0.25	0.22	0.61	0.40
<b>Julio</b>	0.77	0.71	0.62	0.13	1.20	0.69
<b>Agosto</b>	0.20	0.09	0.42	0.00	0.14	0.17

Tabla 27. Precipitaciones pluviales promedio anual 2023. Elaboración propia. 2023

## Tablas de promedio contaminantes

### Ozono (O<sub>3</sub>)

2018

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	49.78	12.63	5.90	24.47	21.68	22.89
Febrero	45.95	22.62	10.06	38.62	19.70	27.39
Marzo	46.57	26.63	8.76	51.21	24.02	31.44
Abril	51.83	33.72	9.58	60.16	31.24	37.31
Mayo	49.69	33.16	11.58	42.10	31.20	33.55
Junio	31.61	22.10	7.88	31.02	18.08	22.14
Julio	36.35	23.91	10.89	24.94	20.69	23.36
Agosto	17.51	20.60	44.70	19.23	16.58	23.72
Septiembre	6.27	20.66	40.01	19.38	15.59	20.38
Octubre	1.83	16.54	33.96	10.48	15.96	15.75
Noviembre	2.87	16.80	21.78	14.56	17.01	14.60
Diciembre	3.98	22.47	19.71	14.50	17.56	15.64

Tabla 28. Concentración promedio anual 2018 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
<b>Enero</b>	5.40	20.27	21.00	18.38	22.00	17.41
<b>Febrero</b>	6.43	16.76	20.56	25.04	22.56	18.27
<b>Marzo</b>	6.03	14.77	26.65	29.56	29.01	21.21
<b>Abril</b>	14.03		36.94	27.35	42.87	30.30
<b>Mayo</b>	18.52	32.84	39.38	45.21	44.65	36.12
<b>Junio</b>	28.68	16.51	19.74	21.61	27.96	22.90
<b>Julio</b>	27.65	18.67	17.70	17.67	20.56	20.45
<b>Agosto</b>	25.53	29.94	20.75	24.26	28.23	25.74
<b>Septiembre</b>	22.81	29.22	17.82	21.50	24.46	23.16

<b>Octubre</b>	18.30	22.70	13.26	15.91	14.73	16.98
<b>Noviembre</b>	20.44	26.09	15.13	17.33	20.87	19.97
<b>Diciembre</b>	19.84	24.80	17.22	20.03	20.60	20.50

Tabla 29. Concentración promedio anual 2019 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
<b>Enero</b>	20.69	29.26	13.16	18.21	24.80	21.22
<b>Febrero</b>	23.97	31.05	19.63	18.00	27.84	24.10
<b>Marzo</b>	33.08	40.35	24.88	26.11	36.55	32.19
<b>Abril</b>	41.48	55.12	31.26	33.01	41.40	40.45
<b>Mayo</b>	48.46	64.06	35.07	31.23	38.42	43.45
<b>Junio</b>	34.61	29.27	25.19	25.52	32.65	29.45
<b>Julio</b>	26.44		18.73	15.33	27.18	21.92
<b>Agosto</b>	18.00		14.27	10.31	23.91	16.62
<b>Septiembre</b>	13.44	20.82	6.59		21.91	15.69
<b>Octubre</b>	18.32	31.08	10.52		29.11	22.26
<b>Noviembre</b>	15.81	26.59	44.10	20.54	25.28	26.46
<b>Diciembre</b>	12.05	18.91	22.40	19.96	20.97	18.86

Tabla 30. Concentración promedio anual 2020 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
<b>Enero</b>		24.13	23.33	19.43	20.95	21.96
<b>Febrero</b>	13.81	29.65	28.76	24.41	24.69	24.26
<b>Marzo</b>	16.02	34.62	36.12	30.03	29.08	29.17
<b>Abril</b>	30.85	42.85	44.22	39.48	37.77	39.04
<b>Mayo</b>	28.21	38.89	43.72	19.79	35.24	33.17
<b>Junio</b>	16.38	21.28	27.28	15.76	22.10	20.56
<b>Julio</b>	14.37	23.72	28.62	15.36	22.87	20.99
<b>Agosto</b>		24.35	24.19	17.42	21.00	21.74
<b>Septiembre</b>		25.42	23.20	15.86	20.11	21.15
<b>Octubre</b>	21.71	17.53	23.42	16.30	14.71	18.73
<b>Noviembre</b>	21.49	22.92	26.26	19.57	13.78	20.80
<b>Diciembre</b>	23.10	22.99	26.83	19.92	22.64	23.10

Tabla 31. Concentración promedio anual 2021 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
<b>Enero</b>	24.95	23.06	27.64	19.03	20.94	23.12

Febrero	23.53	21.12	28.19	18.04	21.57	22.49
Marzo	30.78	19.60	34.81	22.96	32.03	28.04
Abril	36.46	21.53	37.66	30.24	39.64	33.11
Mayo	38.66	33.01	40.94	34.48	43.35	38.09
Junio	20.36	25.19	27.93	25.38	31.95	26.16
Julio	15.89	25.91	27.88	25.41	30.31	25.08
Agosto	12.30	26.08	25.60	28.34	28.18	24.10
Septiembre	11.85	22.76	24.83	19.41	28.19	21.41
Octubre	14.09	23.86	28.66	17.24	29.16	22.60
Noviembre	13.19	21.08	27.85	16.59	27.68	21.28
Diciembre	12.62	18.32	23.88	17.06	24.34	19.24

Tabla 32. Concentración promedio anual 2022 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	Velódromo (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	23.89	21.46	23.80	20.37	28.81	23.67
Febrero	23.56	23.45	25.72	28.73	26.29	25.55
Marzo	23.46	28.30	31.49	32.26	33.48	29.80
Abril	26.41	31.55	34.33	35.02	38.00	33.06
Mayo	22.17	33.99	37.23	38.22	41.38	34.60
Junio	19.90	32.70	35.74	35.01	32.06	31.08
Julio	14.76	24.75	26.28	25.85	25.99	23.53
Agosto	13.71	24.16	21.80	23.90	25.69	21.85

Tabla 33. Concentración promedio anual 2023 O<sub>3</sub>. Elaboración propia. 2023

## Monóxido de carbono (CO)

2018

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio (ppm)
Enero	0.29					0.29
Febrero				0.62		0.62
Marzo			0.37			0.37
Abril	0.34		0.20	0.17		0.24
Mayo	0.67		0.18	0.31		0.39
Junio	1.05		0.37	0.50		0.64
Julio	1.57		0.62	0.90		1.03
Agosto	2.04		0.78	1.29	0.31	1.10
Septiembre	2.38	0.37	0.97	1.47	0.97	1.23
Octubre	2.60	0.38	1.10	1.56	0.97	1.32
Noviembre	3.06	0.66	0.71	1.46	0.90	1.36
Diciembre	0.94	0.76	0.82	0.41	1.42	0.87

Tabla 34. Concentración promedio anual 2018 CO. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio (ppm)
Enero	1.03	0.94	1.12	1.15	1.82	1.21
Febrero	1.47	1.19	1.41	1.54	2.23	1.57
Marzo	1.86	1.32	1.67	1.46	2.47	1.76
Abril	0.28		1.93	1.27	2.85	1.59
Mayo	0.52	1.61	2.19	0.73	0.46	1.10
Junio	0.31	1.69	2.15	1.19	4.38	1.94
Julio	0.29	2.04	2.49	1.13	0.36	1.26
Agosto	0.65	1.11	2.68	1.34	0.41	1.24
Septiembre	0.78	0.50	2.86	1.57	0.45	1.23
Octubre	0.86	0.59	0.82	1.81	0.65	0.95
Noviembre	0.74	0.67	0.83	2.03	1.16	1.09
Diciembre	0.76	0.81	1.04	2.37	1.59	1.31

Tabla 35. Concentración promedio anual 2019 CO. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio (ppm)
Enero	0.98	0.83	1.11	2.56	2.03	1.50
Febrero	1.43	0.93	1.44	2.40	2.49	1.74
Marzo	2.09	1.09	1.64	0.21	2.62	1.53
Abril	3.36	1.29	1.78	0.24	1.92	1.72
Mayo	4.98	1.48	1.35	0.54	0.27	1.72
Junio	5.24	1.34	0.67	0.39	0.28	1.58
Julio			0.19	0.65	0.35	0.40
Agosto			0.29		0.66	0.48
Septiembre	0.21	1.18	0.44		0.92	0.69
Octubre	0.22	1.14	0.22		0.91	0.62
Noviembre	0.37	1.39	0.43	0.36	0.69	0.65
Diciembre	0.36	1.31	0.48	0.63	1.17	0.79

Tabla 36. Concentración promedio anual 2020 CO. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio (ppm)
Enero			0.34	0.59	1.63	0.85
Febrero	0.58		0.39	0.66	1.87	0.87
Marzo	0.33		0.39	0.72	1.44	0.72
Abril	0.22	2.34	0.33	0.74	1.73	1.07
Mayo	0.21	1.59	0.21	0.78	2.39	1.04
Junio	0.24	2.61	0.18	0.88	2.33	1.25
Julio	0.48	2.87	0.32	1.02	2.15	1.37
Agosto		2.95	0.33	0.90	2.64	1.71
Septiembre		0.23	0.35	0.76	2.92	1.06
Octubre	0.39	0.78	0.37	0.81	3.17	1.10
Noviembre	0.29	1.53	0.39	0.87	3.65	1.35
Diciembre	0.51	2.36	0.63	1.02	3.85	1.68

Tabla 37. Concentración promedio anual 2021 CO. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio
Enero		0.86	0.62	0.95		0.81
Febrero		0.81		0.89	0.89	0.86
Marzo		1.05		0.98	0.53	0.86
Abril	0.23	1.15	0.27	0.85	1.05	0.71
Mayo	0.16	1.17	0.37	0.78	1.19	0.73
Junio	0.12	1.29	0.48	0.79	1.16	0.77
Julio	0.12	1.31		0.90	1.25	0.90
Agosto	0.13	1.65	0.30	1.11	1.35	0.91
Septiembre	0.08	1.44	0.39	1.25	1.36	0.90
Octubre	0.15	0.81		1.31	1.53	0.95
Noviembre		1.26	0.50	1.48	1.76	1.25
Diciembre	0.66	1.53	0.39	1.56	2.14	1.26

Tabla 38. Concentración promedio anual 2022 CO. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua Santa (ppm)	BINE (ppm)	NINFAS (ppm)	UTP (ppm)	VELODROMO (ppm)	Promedio (ppm)
Enero	0.60	1.72	0.41	1.46	3.13	1.46
Febrero	0.56	1.08	0.43	0.65	0.54	0.65
Marzo	0.60	0.85	0.48	0.54	0.54	0.60
Abril	0.50	1.10	0.48	0.51	0.42	0.60
Mayo	0.23	1.07	0.52	0.47	0.50	0.56
Junio	0.25	0.39	0.38	0.64	0.83	0.50
Julio	0.16	1.57	0.47	0.67	2.05	0.98
Agosto	0.32	1.87	0.47	0.67	1.41	0.95

Tabla 39. Concentración promedio anual 2023 CO. Elaboración propia. 2023

## Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

2018

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	21.46			17.85		19.65

Febrero	8.20		13.36	20.05	21.07	15.67
Marzo	10.54		4.14	32.23	16.49	15.85
Abril	8.71		9.58	28.26	5.14	18.48
Mayo	20.66		4.13	25.98	8.99	14.94
Junio	13.18		3.08	18.69		11.65
Julio	17.33		17.46	8.41		14.40
Agosto	16.44		18.21	7.35		14.00
Septiembre	16.87		19.85	6.73		14.48
Octubre	15.16		18.48	7.21		13.62
Noviembre	20.99		18.49	5.42		14.97
Diciembre	20.73		21.35	10.73		17.60

Tabla 40. Concentración promedio anual 2018 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	10.79		25.74	22.56		19.69
Febrero	18.17		24.45	23.92		22.18
Marzo	17.04		19.93	18.39	2.01	14.35
Abril	12.44		18.47	18.21		16.37
Mayo	18.15	9.98	18.30	14.51		15.23
Junio	15.00	12.10	10.83	14.20		13.03
Julio	14.64	1.57	10.59	12.76	16.12	11.14
Agosto	13.43	1.38	15.21	7.91	14.09	10.40
Septiembre	12.43	9.91	14.69	7.78	12.45	11.45
Octubre	12.96	12.89	12.47	7.11	12.28	11.54
Noviembre	15.77	6.89	15.02	8.53	16.98	12.64
Diciembre	15.31	15.10	18.58	13.03	10.19	14.44

Tabla 41. Concentración promedio anual 2019 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	12.67	13.99	14.88	10.41	11.96	12.78
Febrero	15.25	10.81	9.08	16.96	12.95	13.01
Marzo	14.04	4.96	18.77	15.45	14.17	13.48
Abril	6.98	2.70	14.90	13.61	14.83	10.60
Mayo	3.77	1.73	15.37	18.17		9.76
Junio	3.03	0.46	13.49	9.91		6.72
Julio	4.69		13.81	13.39		10.63
Agosto	10.42		11.30	12.21		11.31
Septiembre	12.32		10.54			11.43
Octubre	12.97	5.97	12.07			10.34
Noviembre	13.48	15.08	12.77	26.80	20.08	17.64
Diciembre	14.93	10.45	13.55	18.03	13.93	14.18

Tabla 42. Concentración promedio anual 2020 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero		17.00	12.53	15.27	11.51	14.08
Febrero	18.20	17.20	15.37	17.86	11.28	15.98
Marzo	16.08	15.64	16.66	18.38		16.69
Abril	14.56	13.99	14.84	16.29		14.92
Mayo	7.05	11.26	12.85	15.22		11.60
Junio	4.69	8.83	12.55	14.98		10.26
Julio	4.80	10.76	7.86	11.14		8.64
Agosto		9.41	8.93	9.55		9.30
Septiembre		10.84	11.45	12.71		11.67
Octubre	15.37	16.81	13.74	13.08		14.75
Noviembre	12.92	26.59	17.49	9.05		16.51
Diciembre	18.21	29.59	21.92	10.63		20.09

Tabla 43. Concentración promedio anual 2021 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	12.94	23.83	15.63	9.40		15.45
Febrero	10.85	22.46	15.49	12.81		15.40
Marzo	10.53	20.27	14.25	13.52		14.64
Abril	10.21	20.70	15.77	12.35		14.76
Mayo	10.92	19.29	16.01	14.21		15.11
Junio	11.59	17.43	12.61	10.38		13.00
Julio	11.48	24.73	13.33	10.44		14.99
Agosto	10.35	25.35	13.68	10.23		14.90
Septiembre	10.31	22.16	12.51	11.04		14.01
Octubre	10.52	20.95	13.01	11.93		14.11
Noviembre	13.88	19.59	16.39	14.18		16.01
Diciembre	15.67	21.91	17.84	16.19		17.90

Tabla 44. Concentración promedio anual 2022 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	18.34	24.58	19.55	19.18		20.41
Febrero	16.83	25.53	15.17	15.28		18.20
Marzo	15.95	22.76	14.36	15.97	15.66	16.94
Abril	13.66	15.96	11.50	13.95	15.83	14.18
Mayo	15.48	15.97	12.37	12.25	16.13	14.44
Junio	13.76	19.31	10.04	14.11	13.46	14.13
Julio	11.50	17.54	12.34	10.75	11.13	12.65
Agosto	11.92	14.37	12.46	10.78	10.18	11.94

Tabla 45. Concentración promedio anual 2023 NO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

## dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

2018

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	0.59			0.38	1.29	0.75
Febrero	0.46	0.30		0.32	0.97	0.51
Marzo	0.94	0.47		0.20	1.14	0.69
Abril	0.72	0.45		0.36	1.10	0.66
Mayo	1.01	0.68		0.31	0.59	0.65
Junio	0.74	0.64		0.26	0.66	0.57
Julio	0.65	2.19		1.18	1.26	1.32
Agosto	0.60	1.41		0.83	0.88	0.93
Septiembre	1.00	1.40		0.22	0.65	0.82
Octubre	1.09	0.98		0.48	0.80	0.84
Noviembre	1.22	0.74		0.97	1.33	1.07
Diciembre	1.72	0.41		0.45	1.73	1.08

Tabla 46. Concentración promedio anual 2018 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	1.63	1.35		0.55	1.85	1.35
Febrero	2.29	1.31		0.60	2.03	1.56
Marzo	1.25	0.44		0.72		0.80
Abril	2.13			0.83	2.12	1.69
Mayo	1.63	3.65		0.13	0.88	1.57
Junio	2.42	3.95		0.37		2.25
Julio	1.93	5.13		0.59	0.79	2.11
Agosto	3.00	3.33		0.48	0.95	1.94
Septiembre	3.18	0.23		0.42	0.96	1.20
Octubre	3.80	0.39		0.45	1.15	1.45
Noviembre	4.03	0.97		0.85	1.85	1.92
Diciembre	3.50	0.95		1.10	1.78	1.83

Tabla 47. Concentración promedio anual 2019 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	1.62	0.71		1.16	1.76	1.31
Febrero	1.57	0.80		1.17	2.00	1.39
Marzo	1.62	0.71		1.85	1.95	1.53
Abril	1.01	1.56		1.93	1.28	1.44
Mayo	1.11	1.88		2.20	1.61	1.70
Junio	0.69	1.79				1.24
Julio	1.59		1.35	1.42		1.46
Agosto	2.37		1.34			1.86

Septiembre	2.41		0.66			1.54
Octubre	2.10	2.92	0.43			1.82
Noviembre	2.44	2.93	0.91	1.21	2.77	2.05
Diciembre	2.87	1.99	0.90	0.66	3.66	2.02

Tabla 48. Concentración promedio anual 2020 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero		1.57	1.04	0.73	3.64	1.74
Febrero	2.79	1.72	1.33	1.03	3.68	2.11
Marzo	2.32	1.85	1.36	1.19	3.86	2.12
Abril	2.30	2.03	1.54	1.40	3.35	2.12
Mayo	1.25	2.00	1.16	1.44	2.17	1.60
Junio	1.40	1.52	1.00	1.86	2.12	1.58
Julio	1.57	1.86	0.49	2.08	2.86	1.77
Agosto		1.11	0.55	2.08	3.15	1.72
Septiembre		0.82	0.61	2.29	2.78	1.62
Octubre	1.05	1.43	0.93	1.95		1.34
Noviembre	0.66	1.98	1.17	1.90		1.43
Diciembre	1.11	2.73	1.70	2.26		1.95

Tabla 49. Concentración promedio anual 2021 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	0.91	2.44	1.75	2.23		1.83
Febrero	0.85	1.81	1.78	2.21	1.67	1.66
Marzo	1.11	0.79	2.42	2.43	2.13	1.77
Abril	1.40	0.78	1.31	1.63	1.69	1.36
Mayo	1.17	0.89	1.24	0.77	0.62	0.94
Junio	1.90	0.77	1.10	0.66	0.81	1.05
Julio	2.96	1.51	1.20	0.69	0.56	1.38
Agosto	3.26	1.59	1.26	0.75	0.38	1.45
Septiembre	3.60	1.48	1.45	0.89		1.85
Octubre	0.74	1.33	2.13	0.94		1.29
Noviembre	2.24	1.38	1.63	1.06	1.54	1.57
Diciembre	1.95	1.90	1.93	1.25	2.09	1.82

Tabla 50. Concentración promedio anual 2022 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

2023

	Agua Santa (ppb)	BINE (ppb)	NINFAS (ppb)	UTP (ppb)	VELODROMO (ppb)	Promedio (ppb)
Enero	1.47	2.08	2.35	1.48	2.44	1.96
Febrero	1.27	1.64	1.36	1.82	1.59	1.53

Marzo	0.92	1.52	1.49	2.33	1.54	1.56
Abril	0.79	1.15	1.26	2.18	1.51	1.38
Mayo	1.56	1.43	1.50	2.02	1.73	1.65
Junio	2.33	1.11	1.85	1.97	1.62	1.78
Julio	2.84	0.96	1.14	1.96	1.27	1.63
Agosto	2.81	1.08	1.23	2.03	1.46	1.72

Tabla 51. Concentración promedio anual 2023 SO<sub>2</sub>. Elaboración propia. 2023

## Partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)

2018

	Agua Santa (µg/m <sup>3</sup> )	BINE (µg/m <sup>3</sup> )	NINFAS (µg/m <sup>3</sup> )	UTP (µg/m <sup>3</sup> )	VELODROMO (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )
Enero	61.95	56.05	84.26	59.32		65.40
Febrero	54.33	43.65	80.39	53.95		58.08
Marzo	60.24	51.71	92.86	53.04		64.46
Abril	54.34	45.79	88.77	49.51	30.71	53.82
Mayo	48.25	40.45	71.03	36.96	29.98	45.34
Junio	36.17	26.72	29.78	26.35	26.63	29.13
Julio	62.38	43.30	48.32	33.41	37.16	44.91
Agosto	39.33	23.45	35.96	25.00	24.07	29.56
Septiembre	31.76	27.61	47.32	28.94	19.99	31.12
Octubre	31.38	20.14	35.87	35.10	19.71	28.44
Noviembre	41.82	33.47	45.88	38.19	33.32	38.54
Diciembre	55.91	35.40	55.38	43.32	49.00	47.80

Tabla 52. Concentración promedio anual 2018 PM<sub>10</sub>. Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa (µg/m <sup>3</sup> )	BINE (µg/m <sup>3</sup> )	NINFAS (µg/m <sup>3</sup> )	UTP (µg/m <sup>3</sup> )	VELODROMO (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )
Enero	60.61	44.85	60.51	48.06	51.31	53.07
Febrero	72.57	53.00	66.98	62.09	59.05	62.74
Marzo	64.20	47.47	68.56	63.75	58.44	60.48
Abril	64.02		72.63	69.51	58.50	66.16
Mayo	69.73	46.56	77.26	62.80	51.64	61.60
Junio	30.85	25.92	34.08	29.95	28.25	29.81
Julio	27.56	29.75	40.83	30.03	30.33	31.70
Agosto	29.51	27.96	37.28	28.82	26.57	30.03
Septiembre	27.88		33.01	26.41		29.10
Octubre	8.19	27.21	33.67	26.71	22.96	23.75
Noviembre	17.84	35.24	50.59	35.04	44.14	36.57
Diciembre	58.00	44.52	69.03	48.68	48.95	53.84

Tabla 53. Concentración promedio anual 2019 PM<sub>10</sub>. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero		39.14	56.30	40.88	36.10	43.10
Febrero		46.12	63.64	50.70	36.35	49.20
Marzo		49.93	62.30	58.13	60.34	57.68
Abril				53.87	63.98	58.92
Mayo				56.72	59.13	57.93
Junio			57.22	28.89	29.15	38.42
Julio			39.27	46.40	29.96	38.54
Agosto	21.83		26.66	43.09	23.42	28.75
Septiembre	25.29	27.79	25.42	36.53	24.06	27.82
Octubre	38.27	24.09	42.10	51.03	41.63	39.42
Noviembre	50.59	44.27	49.47	52.08	43.09	47.90
Diciembre	54.90	26.00	66.31	47.67	50.11	49.00

Tabla 54. Concentración promedio anual 2020  $\text{PM}_{10}$ . Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero		38.77	62.04	44.60	35.53	45.24
Febrero	64.35	49.35	66.56	51.65	39.86	54.35
Marzo	64.19	52.92	76.34	61.00	82.64	67.42
Abril	63.12	50.06	68.54	57.15		59.72
Mayo	34.85	29.46	37.05	39.01		35.09
Junio	24.07	16.39	23.56	33.32		24.33
Julio	32.24	29.07	39.00	47.15		36.87
Agosto		22.70	29.35	25.15		25.73
Septiembre		18.53	18.08	19.39		18.66
Octubre	40.33	27.33	26.43	27.69		30.44
Noviembre	43.21	32.47	32.33	35.06		35.77
Diciembre	74.65	50.65	52.74	49.69		56.93

Tabla 55. Concentración promedio anual 2021  $\text{PM}_{10}$ . Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero	54.08	38.90	43.29	38.81		43.77
Febrero	47.38	39.99	39.08	39.85		41.57
Marzo	47.53	50.05	46.77	44.47		47.21
Abril	49.17	47.96	48.25	43.93		47.33
Mayo	50.22	47.49	50.31	47.20		48.80
Junio	27.80	24.67	27.38	27.47		26.83
Julio	29.23	26.80	30.04	26.98	38.05	30.22
Agosto	27.87	25.89	25.29	22.26	28.53	25.97
Septiembre	22.94	19.96	20.66	24.17	21.09	21.76
Octubre	32.45	28.66	28.41	28.19	35.51	30.64
Noviembre	49.47	38.96	41.08	40.87	52.70	44.61
Diciembre	58.60	44.28	46.33	41.34	61.55	50.42

Tabla 56. Concentración promedio anual 2022  $\text{PM}_{10}$ . Elaboración propia. 2023

2023

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero	65.94	53.71	53.61	51.34	66.83	58.28
Febrero	63.97	51.32	52.13	56.56	78.94	60.58
Marzo	59.25	50.56	50.83	55.64	73.17	57.89
Abril	53.53	44.00	44.86	48.90	67.77	51.81
Mayo	62.93	58.79	57.21	52.36	65.53	59.36
Junio	50.39	46.12	45.35	48.01	55.72	49.12
Julio	28.58	24.48	25.94	27.74	31.22	27.59
Agosto	29.32	25.63	22.45	25.21	27.80	26.08

Tabla 57. Concentración promedio anual 2023  $\text{PM}_{10}$ . Elaboración propia. 2023

### Partículas menores a 2.5 micrómetros ( $\text{PM}_{2.5}$ )

2018

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero	22.20	30.81	19.87	18.90		22.94
Febrero	18.99	27.28	18.97	18.35		20.90
Marzo	21.62	35.88	22.95	22.80		25.81
Abril	22.97	32.67	26.69	24.51		26.71
Mayo	19.61	26.33	22.51	18.93		21.84
Junio	10.65	14.99	12.01	8.71		11.59
Julio	17.65	17.34	18.96	13.40		16.84
Agosto	10.83	10.28	13.25	10.36		11.18
Septiembre	10.55	10.87	15.35	9.90		11.67
Octubre	9.86	8.12	13.40	11.77		10.79
Noviembre	16.89	16.94	17.43	17.97		17.31
Diciembre	20.50	15.63	19.17	18.76		18.51

Tabla 58. Concentración promedio anual 2018  $\text{PM}_{2.5}$ . Elaboración propia. 2023

2019

	Agua Santa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BINE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NINFAS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UTP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VELODROMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Enero	20.70	16.91	21.00	18.96		19.39
Febrero	19.64	20.77	21.78	21.15		20.84
Marzo	20.00	18.30	23.27	22.26		20.96
Abril	28.54	19.40	28.63	29.61		26.54
Mayo	41.26	19.89	38.45	43.94		35.89
Junio	10.00	11.77	16.95	12.96		12.92
Julio	9.02	13.33	17.16	12.69		13.05
Agosto	9.64	11.35	16.09	11.93		12.25
Septiembre	7.49		14.16	10.44		10.70
Octubre		10.49	14.90	9.97		11.79

<b>Noviembre</b>		13.37	18.48	13.02		14.96
<b>Diciembre</b>	23.67	17.56	25.06	18.92		21.30

Tabla 59. Concentración promedio anual 2019 PM<sub>2.5</sub>. Elaboración propia. 2023

2020

	Agua Santa (µg/m <sup>3</sup> )	BINE (µg/m <sup>3</sup> )	NINFAS (µg/m <sup>3</sup> )	UTP (µg/m <sup>3</sup> )	VELODROMO (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )
Enero	19.56		19.86	13.60		17.67
Febrero	19.92		21.82	15.37		19.04
Marzo	22.24		26.97	17.26		22.16
Abril	23.37					25.11
Mayo	25.77					25.77
Junio	16.04					21.82
Julio	14.45		15.82	13.01		14.43
Agosto	10.53		9.28	10.41		10.07
Septiembre	10.84		7.76	10.65		9.75
Octubre	14.76		13.83	14.92		14.50
Noviembre			12.57	16.72		14.65
Diciembre			19.40	17.80		18.60

Tabla 60. Concentración promedio anual 2020 PM<sub>2.5</sub>. Elaboración propia. 2023

2021

	Agua Santa (µg/m <sup>3</sup> )	BINE (µg/m <sup>3</sup> )	NINFAS (µg/m <sup>3</sup> )	UTP (µg/m <sup>3</sup> )	VELODROMO (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )
Enero		15.50	17.77	15.20		16.16
Febrero	28.14	19.06	16.23	17.46		20.22
Marzo	22.58	22.07	18.35	21.48		21.12
Abril	28.03	21.75	19.87	24.47		23.53
Mayo	19.56	13.18	12.61	17.75		15.77
Junio	11.63	8.39	6.93	15.20		10.54
Julio	13.84	15.06	9.78	15.40		13.52
Agosto		11.91	7.51	9.47		9.63
Septiembre		5.42	6.70	9.05		7.06
Octubre	19.06	13.03	9.94	11.93		13.49
Noviembre	18.73	20.04	12.09	13.63		16.12
Diciembre	29.62	23.55	21.63	19.03		23.46

Tabla 61. Concentración promedio anual 2021 PM<sub>2.5</sub>. Elaboración propia. 2023

2022

	Agua Santa (µg/m <sup>3</sup> )	BINE (µg/m <sup>3</sup> )	NINFAS (µg/m <sup>3</sup> )	UTP (µg/m <sup>3</sup> )	VELODROMO (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )
Enero	24.25	18.50	18.08	17.03		19.46
Febrero	19.27	29.19	12.72	15.02		19.05
Marzo	20.26	25.13	15.20	19.02		19.90
Abril	23.09	24.36	18.22	21.45		21.78
Mayo	26.32	31.77	21.88	25.55		26.38
Junio	13.77	19.00	10.37	10.94		13.52
Julio	14.12	20.63	11.13	11.78	23.89	16.31

<b>Agosto</b>	12.91	19.99	8.74	10.51	27.54	15.94
<b>Septiembre</b>	10.92	14.21	7.77	12.18	14.57	11.93
<b>Octubre</b>	16.17	21.44	11.66	12.88	19.21	16.27
<b>Noviembre</b>	20.67	25.02	17.89	16.26	27.80	21.53
<b>Diciembre</b>	23.43	28.58	17.18	19.49	33.33	24.40

Tabla 62. Concentración promedio anual 2022 PM<sub>2.5</sub>. Elaboración propia. 2023

2023

	<b>Agua Santa (µg/m3)</b>	<b>BINE (µg/m3)</b>	<b>NINFAS (µg/m3)</b>	<b>UTP (µg/m3)</b>	<b>VELODROMO (µg/m3)</b>	<b>Promedio (µg/m3)</b>
<b>Enero</b>	29.05	36.56	21.87	17.94	34.08	27.90
<b>Febrero</b>	23.64	34.16	18.27	17.84	36.32	26.05
<b>Marzo</b>	25.92	37.97	20.82	22.38	46.59	30.74
<b>Abril</b>	24.28	36.58	20.79	21.93	41.22	28.96
<b>Mayo</b>	25.04	38.93	20.31	21.47	42.20	29.59
<b>Junio</b>	24.38	36.00	19.40	21.00	29.59	26.07
<b>Julio</b>	15.12	21.12	11.34	10.45	18.47	15.30
<b>Agosto</b>	20.29	20.30	8.73	10.03	16.13	15.10

Tabla 63. Concentración promedio anual 2023 PM<sub>2.5</sub>. Elaboración propia. 2023

## Tablas de correlación

## Temperatura

Correlation t-Statistic Probability	C	CO	NO2	OZONO	PM10	PM2_5	SO2
_C	1.000000 ---- ----						
CO	-0.753240 -4.858606 0.0001	1.000000 ---- ----					
NO2	-0.597596 -3.162123 0.0054	0.409642 1.905145 0.0729	1.000000 ---- ----				
OZONO	0.761905 4.990811 0.0001	-0.689393 -4.037678 0.0008	-0.127916 -0.547197 0.5910	1.000000 ---- ----			
PM10	-0.041759 -0.177324 0.8612	-0.180817 -0.779998 0.4455	0.667387 3.802124 0.0013	0.469004 2.252970 0.0370	1.000000 ---- ----		
PM2_5	0.132632 0.567724 0.5772	-0.249108 -1.091275 0.2895	0.566574 2.917160 0.0092	0.577208 2.998890 0.0077	0.944776 12.23108 0.0000	1.000000 ---- ----	
SO2	-0.569426 -2.938862 0.0088	0.347868 1.574197 0.1329	0.311657 1.391557 0.1810	-0.479841 -2.320376 0.0323	0.168581 0.725614 0.4774	0.069391 0.295112 0.7713	1.000000 ---- ----

Tabla 64. Correlación temperatura con contaminantes criterio entre 2022 y 2023. Elaboración propia. 2023

## Velocidad del viento

Correlation t-Statistic Probability	VV	OZONO	NO2	CO	PM10	PM2_5	SO2
VV	1.000000 ---- ----						
OZONO	0.534934 2.686176 0.0151	1.000000 ---- ----					
NO2	0.081892 0.348607 0.7314	-0.127916 -0.547197 0.5910	1.000000 ---- ----				
CO	-0.308014 -1.373576 0.1864	-0.689393 -4.037678 0.0008	0.409642 1.905145 0.0729	1.000000 ---- ----			
PM10	0.378690 1.735932 0.0997	0.469004 2.252970 0.0370	0.667387 3.802124 0.0013	-0.180817 -0.779998 0.4455	1.000000 ---- ----		
PM2_5	0.538805 2.713523 0.0142	0.577208 2.998890 0.0077	0.566574 2.917160 0.0092	-0.249108 -1.091275 0.2895	0.944776 12.23108 0.0000	1.000000 ---- ----	
SO2	-0.341509 -1.541583 0.1406	-0.479841 -2.320376 0.0323	0.311657 1.391557 0.1810	0.347868 1.574197 0.1329	0.168581 0.725614 0.4774	0.069391 0.295112 0.7713	1.000000 ---- ----

Tabla 65. Correlación velocidad del viento con contaminantes criterio entre 2022 y 2023. Elaboración propia. 2023

## Humedad relativa

Correlation	HR	OZONO	CO	NO2	SO2	PM10	PM2_5
t-Statistic							
Probability							
HR	1.000000 ---- ----						
OZONO	-0.532076 -2.666134 0.0157	1.000000 ---- ----					
CO	0.320971 1.437844 0.1676	-0.689393 -4.037678 0.0008	1.000000 ---- ----				
NO2	-0.488518 -2.375335 0.0288	-0.127916 -0.547197 0.5910	0.409642 1.905145 0.0729	1.000000 ---- ----			
SO2	0.016985 0.072070 0.9433	-0.479841 -2.320376 0.0323	0.347868 1.574197 0.1329	0.311657 1.391557 0.1810	1.000000 ---- ----		
PM10	-0.827681 -6.257231 0.0000	0.469004 2.252970 0.0370	-0.180817 -0.779998 0.4455	0.667387 3.802124 0.0013	0.168581 0.725614 0.4774	1.000000 ---- ----	
PM2_5	-0.757736 -4.926433 0.0001	0.577208 2.998890 0.0077	-0.249108 -1.091275 0.2895	0.566574 2.917160 0.0092	0.069391 0.295112 0.7713	0.944776 12.23108 0.0000	1.000000 ---- ----

Tabla 66. Correlación humedad relativa con contaminantes criterio entre 2022 y 2023. Elaboración propia. 2023

## Precipitaciones

Correlation t-Statistic Probability	PP	OZONO	CO	NO2	SO2	PM10	PM2_5
PP	1.000000 ---- ----						
OZONO	0.178282 0.768702 0.4520	1.000000 ---- ----					
CO	-0.238449 -1.041702 0.3113	-0.689393 -4.037678 0.0008	1.000000 ---- ----				
NO2	-0.534795 -2.685199 0.0151	-0.127916 -0.547197 0.5910	0.409642 1.905145 0.0729	1.000000 ---- ----			
SO2	0.048545 0.206204 0.8389	-0.479841 -2.320376 0.0323	0.347868 1.574197 0.1329	0.311657 1.391557 0.1810	1.000000 ---- ----		
PM10	-0.225053 -0.979960 0.3401	0.469004 2.252970 0.0370	-0.180817 -0.779998 0.4455	0.667387 3.802124 0.0013	0.168581 0.725614 0.4774	1.000000 ---- ----	
PM2_5	-0.099158 -0.422776 0.6775	0.577208 2.998890 0.0077	-0.249108 -1.091275 0.2895	0.566574 2.917160 0.0092	0.069391 0.295112 0.7713	0.944776 12.23108 0.0000	1.000000 ---- ----

Tabla 67. Correlación precipitaciones con contaminantes criterio entre 2022 y 2023. Elaboración propia. 2023

## Correlaciones entre contaminantes criterio

Covariance Analysis: Ordinary  
 Date: 10/03/23 Time: 17:04  
 Sample: 2018M01 2023M08  
 Included observations: 68  
 Balanced sample (listwise missing value deletion)

Correlation t-Statistic Probability	VV	OZONO	NO2	CO	SO2	PM10	PM25
VV	1.000000 ---- ----						
OZONO	0.224044 1.867614 0.0663	1.000000 ---- ----					
NO2	-0.039658 -0.322438 0.7481	-0.034649 -0.281661 0.7791	1.000000 ---- ----				
CO	-0.103599 -0.846198 0.4005	-0.122610 -1.003661 0.3192	-0.168468 -1.388484 0.1697	1.000000 ---- ----			
SO2	-0.253474 -2.128755 0.0370	-0.053678 -0.436712 0.6637	-0.078569 -0.640277 0.5242	0.240003 2.008498 0.0487	1.000000 ---- ----		
PM10	0.269166 2.270512 0.0264	0.485086 4.506581 0.0000	0.573034 5.680506 0.0000	-0.039338 -0.319828 0.7501	-0.004631 -0.037623 0.9701	1.000000 ---- ----	
PM25	0.277279 2.344553 0.0221	0.643725 6.833849 0.0000	0.480674 4.453210 0.0000	-0.100255 -0.818603 0.4160	-0.029184 -0.237195 0.8132	0.849868 13.10133 0.0000	1.000000 ---- ----

Tabla 68. Tabla de correlaciones de velocidad el viento y contaminantes criterio desde 2018 a 2023, a partir de los datos obtenidos se obtuvo la correlación entre los contaminantes criterio. Elaboración propia. 2023

## Bibliografía

- American Lung Association. (23 de octubre de 2023). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/what-makes-air-unhealthy/nitrogen-dioxide>
- AMS. (9 de marzo de 2021). *Glosary of Meteorology*. Obtenido de American Meteorological Society: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitation>
- Baumbach, G. (1996). *Air Quality Control*. Springer.
- Bragoszewska, E., Mainka, A., & Biedrón, I. (2023). AMBIENT AIR QUALITY IN UPPER SILESIA REGION PRE-DURING,. *Architecture Civil Engineering Enviroment*, 135-148.
- Calidad del Aire Puebla . (2023). *Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA)*. Obtenido de Calidad del aire: [https://calidaddel Aire.puebla.gob.mx/views/principal\\_monitoreo.php#section\\_monitoreo](https://calidaddel Aire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php#section_monitoreo)
- Calidad del aire Puebla. (2023). *TÉNICAS DE MEDICIÓN*. Obtenido de SMADSOT: [https://calidaddel Aire.puebla.gob.mx/views/principal\\_monitoreo.php#section\\_monitoreo](https://calidaddel Aire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php#section_monitoreo)
- CDC. (15 de marzo de 2023). *CDC Museum COVID-19 Timeline*. Obtenido de Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/museum/timeline/covid19.html>
- Dubey, A., & Chouksey, D. (2017). Carbon monoxide toxicity: A reversible damage to brain. *Neuron India*, 672-673.
- Duffney, P., Stanek, L., & Brown, J. (2024). Air pollution: Sources, regulation, and health effects. En P. Duffney, L. Stanek, & J. Brown, *Encyclopedia of Toxicology(Fourth Edition)* (págs. 215-228). Academic Pres.
- EEA. (18 de octubre de 2023). *How air pollution affects our health*. Obtenido de European Environmeanr Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>
- El Financiero. (23 de diciembre de 2020). *¡Llegó la vacuna! Aterriza en México primer lote de vacuna contra COVID-19 de Pfizer*. Obtenido de Periódico El Financiero: <https://www.elfinanciero.com.mx/salud/llego-la-vacuna-aterriza-en-mexico-primer-lote-de-vacuna-contra-covid-19-de-pfizer/>
- El Morabet, R. (2018). Effects of Outdoor Air Pollution on Human Health. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.

- EPA. (13 de julio de 2023). *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution* . Obtenido de United States Environmental Agency: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution>
- EPA. (25 de septiembre de 2023). *Carbon Monoxide's Impact on Indoor Air Quality* . Obtenido de United States Environmental Agency: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality>
- EPA. (24 de mayo de 2023). *Health Effects of Ozone Pollution*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency : <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>
- EPA. (25 de julio de 2023). *Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency : <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects>
- EPA. (16 de febrero de 2023). *Sulfur Dioxide Basics* . Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- EPA. (2 de junio de 2023). *What is "good" vs. "bad" ozone?* Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#wwh>
- EPA. (11 de julio de 2023). *What is Ozone*. Obtenido de United States Environmental Agency: <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/what-ozone>
- Estados Unidos Mexicanos. (2023). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* .
- Fernando, J. (18 de octubre de 2023). *The Correlation Coefficient: What It Is, What It Tells Investors*. Obtenido de Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/c/correlationcoefficient.asp>
- George, N., Prasad, J. B., Varghese, E., Rajesh, R., & Kumar, A. (2024). Impact of Lockdown on Air Quality in the Most Polluted Cities of India. *Indian Journal of Community Medicine*, 96-103.
- Gobierno de Puebla. (2022). *Evolucion de los indicadores mortalidad Puebla*. Puebla.
- Gobierno del Estado de Puebla. (2012). *Programa de Calidad del Aire del Estado de Peubla 2012-2020*. Secretaría de Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial.

- Hernández, I. Y., Valdez, S., Almanza, V., Rivera, C., Grutter, M., Stremme, W., . . . Ruíz, L. G. (2021). Impact of the COVID-19 Lockdown on Air Quality and Resulting Public Health Benefits in the Mexico City Metropolitan Area. *Front Public Health*, doi: 10.3389/fpubh.2021.642630.
- Ibañez, J. A. (2013). *Química ambiental*. McGraw-Hill.
- IHME. (2019). *Global Burden of Disease*. Obtenido de Institute for Health Metrics and Evaluation: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/#settings=76e5eaf329a0a7aa7fe0ad6bb97c7a59494bf526>
- Jun, H., Chen, K., Jingsha, X., & Yong, S. (2022). Urban Air Pollution and Control. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Science*.
- Ministry for the Environment . (29 de septiembre de 2021). *Nitrogen dioxide*. Obtenido de <https://environment.govt.nz/facts-and-science/air/air-pollutants/nitrogen-dioxide-effects-health/>
- National Weather Service. (18 de febrero de 2009). *Origin of Wind*. Obtenido de NOAA: <https://web.archive.org/web/20090324043730/http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/wind.htm>
- Nevers, d. N. (1994). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. McGraw-Hill.
- Organización Meteorológica Mundial. (septiembre de 2021). *WMO Air Quality and Climate Bulletin - No. 1*. Obtenido de World Meteorological Organization: [https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/air\\_quality/wmo-air-quality-and-climate-bulletin-no.1-september-2021](https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/air_quality/wmo-air-quality-and-climate-bulletin-no.1-september-2021)
- Peralta, O., Ortíz, A., Torres, R., Suárez, M., Castro, T., & Ruíz, L. G. (2021). Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic. *National Library of Medicine*, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143183.
- Pérez, F., Kutralam, G., Roy, P., & Shruti. (2021). Impacts of the COVID-19 lockdown on air quality and its association with human mortality trends in megapolis Mexico City. *Air Quality, Atmosphere & Health* , 553–562 (2021).
- PROFEDET. (13 de mayo de 2020). *Presentan "La nueva normalidad", la estrategia de reapertura de las actividades sociales, educativas y económicas*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/profedet/articulos/presentan-la-nueva-normalidad-la-estrategia-de-reapertura-de-las-actividades-sociales-educativas-y-economicas>

- PubChem. (s.f.). *Carbon Monoxide*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/281#section=Structures>
- PubChem. (s.f.). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3032552>
- PubChem. (s.f.). *Ozone*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ozone>
- PubChem. (s.f.). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1119>
- Puebla Capital. (16 de febrero de 2022). *Pirámide poblacional del Municipio de Puebla (2020)* . Obtenido de Puebla gobierno municipal: <https://implan.pueblacapital.gob.mx/sig/puebla-en-datos/item/49-piramide-poblacional-del-municipio-de-puebla-2020>
- Queensland Government . (28 de junio de 2023). *Nitrogen oxides*. Obtenido de Queensland Government : <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants/nitrogen-oxides>
- Queensland Government. (28 de junio de 2023). *Sulfur dioxide*. Obtenido de <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants/sulfur-dioxide>
- Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Principales contaminantes*. Obtenido de Gobierno del Estado de México: [http://proaire.edomex.gob.mx/principales\\_contaminantes](http://proaire.edomex.gob.mx/principales_contaminantes)
- SEMARNAT. (2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud*. Diario Oficial de la Federación.
- SMADSOT. (2023). *RED ESTATAL DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (REMA)*. Obtenido de Calidad del aire Puebla: [https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal\\_monitoreo.php#section\\_monitoreo](https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php#section_monitoreo)
- SSA. (2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de*. Diario Oficial de la Federación.
- SSA. (21 de abril de 2020). *Inicia la fase 3 por COVID-19*. Obtenido de Gobierno de México: <https://coronavirus.gob.mx/2020/04/21/inicia-la-fase-3-por-covid-19-2/>

- SSA. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medi.* México: Diario Oficial de la Federación.
- SSA. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el air.* México: Diario Oficial de la Federación .
- SSA. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Valores normados para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de l.* Diario Oficial de la Federación. Obtenido de Diario Oficial de la Fede.
- SSA. (2021). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida d.* Diario Oficial de la Federación.
- SSA. (9 de mayo de 2023). *México pone fin a la emergencia sanitaria por COVID-19: Secretaría de Salud.* Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/salud/prensa/mexico-pone-fin-a-la-emergencia-sanitaria-por-covid-19-secretaria-de-salud>
- Stanek, L. W., & Brown, J. S. (2019). Air Pollution: Sources, Regulation, and Health Effect. *Reference Module in Biomedical Sciences.*
- UC Riverside. (s.f.). *Primary Vs. Secondary Pollutants.* Obtenido de Air Pollution in California: <https://pollution.ucr.edu/primary-vs-secondary>
- WHO. (30 de enero de 2020). *Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV).* Obtenido de World Health Organization : [https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov))
- WHO. (19 de diciembre de 2022). *Ambient (outdoor) air pollution.* Obtenido de World Health Organization: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- WHO. (s.f.). *Air pollution*. Obtenido de World Health Organization:  
[https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
- Wisconsin Department of Health Services. (15 de junio de 2022). *Sulfur Dioxide*.  
Obtenido de <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/sulfurdioxide.htm>
- WMO. (2017). *Hydrometeors* . Obtenido de World Meteorological Organization:  
<https://cloudatlas.wmo.int/en/general-classification-of-meteors-hydrometeors.html>
- World Health Organization . (19 de diciembre de 2022). *Ambient (outdoor) air pollution*. Obtenido de World Health Organization :  
[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Yamamoto, N. (2023). Bioaerosols in built and natural environments.  
*Fundamentals of Bioaerosols Science*, 399-467.
- Zenteno, J. (7 de agosto de 2020). *ES OFICIAL: Este es el decreto para la reapertura en Puebla*. Obtenido de Periódico Central:  
<https://www.periodicocentral.mx/2020/gobierno/item/16949-es-oficial-este-es-el-decreto-para-la-reapertura-en-puebla#ixzz6oduyF16M>