



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COVID-19 EFECTOS DE LA CUARENTENA SOBRE LA CALIDAD DEL  
AIRE EN QUITO

AUTOR

Jean Carlo Benavides Landeta

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COVID-19 EFECTOS DE LA CUARENTENA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE  
EN QUITO

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y  
Remediación”

Profesor Guía  
PhD. Rasa Zalakeviciute

Autor  
Jean Carlo Benavides Landeta

Año  
2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido el trabajo, 'COVID-19 Efectos de la cuarentena sobre la calidad del aire en Quito', a través de reuniones periódicas con el estudiante, Jean Carlos Benavides Landeta, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimientos a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



---

Rasa Zalakeviciute  
Doctor of Engineering Science  
CC: 1757076797

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, 'COVID-19 Efectos de la cuarentena sobre la calidad del aire en Quito', del estudiante Jean Carlo Benavides Landeta, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

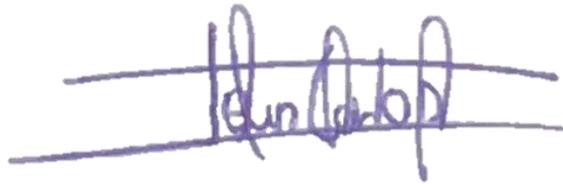


---

Yasser Alejandro González Romero  
Magister en Ingeniería Ambiental  
CC: 0703737627

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



---

Jean Carlo Benavides Landeta

CC: 1723795108

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios por sus infinitas bendiciones en cada etapa de mi vida y guiarme en momentos de debilidad, temor y dificultad.

A mis padres Oscar y Anita por su constante dedicación y apoyo confiado hacia mí, también porque gracias a sus consejos y valores inculcados he logrado formarme como mejor persona, a mis hermanos Fernando y Sebastián por comprenderme y apoyarme durante toda mi vida, a mi padrino Raúl por su apoyo incondicional en momentos difíciles, a mi compañera de aventuras Andrea L por su amor y paciencia y a mis amigos por todas las experiencias durante la carrera universitaria.

Agradezco a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, en especial a la Doctora Rasa Zalakeviciute por transmitirme sus conocimientos y guiarme con sus consejos durante este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres y a mis hermanos que me transmitieron valores de esfuerzo y valentía, también porque con el ejemplo de amor, paciencia y dedicación hoy puedo cumplir un objetivo más en mi vida.

## RESUMEN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas a nivel mundial ya que genera efectos nocivos a la salud de las personas y ecosistemas. Una de la ciudad que presenta gran cantidad de contaminación en el Ecuador es Quito por ello se han implementado medidas de control mediante la Red de Monitoreo Atmosférico controlada por la Secretaría del Ambiente que contiene nueve estaciones meteorológicas de monitoreo a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito.

En el mes de noviembre del 2019 el mundo entero fue alertado de un nuevo virus procedente de China llamado COVID-19 por lo que todos los países del mundo tomaron medidas de bioseguridad para evitar la propagación y los contagios. El Presidente de la República de Ecuador declaro Estado de Excepción en todo el territorio Nacional el 12 de marzo luego de tener el primer contagiado el 29 de febrero.

Mediante este documento se buscó evaluar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos presentes en aire ambiente de la ciudad de Quito y las condiciones de los parámetros meteorológicos antes y después de las medias de confinamiento obligatorias que tuvo que cumplir la población por COVID-19 para medir sus cambios. Esta evaluación se realizó a través del análisis de datos recolectados de las estaciones de monitoreo de (Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, Camal, Guamaní, Los Chillos) desde el año 2004 hasta el 2020.

Los resultados demuestran que las concentraciones promedio de contaminantes atmosféricos bajaron abismalmente en la ciudad de Quito debido a las medidas de confinamiento por COVID-19. También se pudo observar que existe parámetros meteorológicos que incrementan las concentraciones de los contaminantes incluso cuando toda la población paralizó sus actividades diarias, sin embargo, se puede apreciar que la mayoría de contaminantes son producidos por el hombre, las industrias, los automóviles entre otros factores que incrementan la mala calidad del aire en Quito.

## **ABSTRACT**

Air pollution is one of the main problems worldwide since it generates harmful effects on human health and ecosystems. One of the city that presents a great amount of contamination in Ecuador is Quito, as a result various measures have been implemented through the Atmospheric Monitoring Network controlled by the Secretariat of the Environment that contains nine meteorological monitoring stations throughout the Metropolitan District of Quito.

In November 2019, the entire world was alerted to a new acute respiratory disease from China called COVID-19, so all the countries of the world took biosecurity measures to prevent the spread and contagion. The President of the Republic of Ecuador declared a State of Exception throughout the national territory on March 12 after having the first infection on February 29. Therefore, this document sought to evaluate the concentrations of atmospheric pollutants present in ambient air in the city of Quito and the conditions of the meteorological parameters before and after the mandatory confinement due to COVID-19 in order to evaluate the effect on environmental quality. This evaluation was carried out through the analysis of data collected from the monitoring stations of (Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, Camal, Guamaní, Los Chillos) from 2004 to 2020.

The results show that the average concentrations of atmospheric pollutants fell abysmally in the city of Quito due to the containment measures by COVID-19. It was also observed that there are meteorological parameters that increase the concentrations of the pollutants even when the entire population paralyzed their daily activities, however, it can be seen that the majority of pollutants are produced by man, industries, cars, among other factors that increase poor air quality in Quito.

# ÍNDICE

<b>1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	1
<b>1.2 Alcance</b> .....	4
<b>1.3 Justificación</b> .....	4
<b>1.4 Objetivo General</b> .....	7
<b>1.5 Objetivos específicos</b> .....	7
<b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1 Coronavirus</b> .....	7
<b>2.2 <i>Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)</i></b> .....	8
<b>2.3 Contaminación Atmosférica</b> .....	10
<b>2.4 Contaminantes atmosféricos</b> .....	11
2.4.1 Aerosoles, partículas sedimentables y en suspensión .....	11
2.4.2 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) .....	13
2.4.3 Monóxido de carbono (CO) .....	14
2.4.4 Óxidos de nitrógeno .....	15
2.4.5 Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	16
2.4.6 Otros contaminantes .....	17
2.4.7 Tabla de concentraciones contaminantes .....	17
<b>2.5 Parámetros meteorológicos</b> .....	18
2.5.1 Dirección del viento .....	18
2.5.2 Humedad relativa .....	19
2.5.3 Velocidad del viento .....	19

2.5.4 Precipitación .....	20
2.5.5 Radiación solar .....	20
2.5.6 Temperatura.....	21
<b>3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
3.1 Descripción del área de estudio .....	22
3.2 Especificaciones de equipos de contaminantes críticos .....	24
3.3 Mecanismo para el análisis de datos .....	30
3.4 Procesamiento de datos Promedios, máximos y desviación estándar .....	30
3.5 Procesamiento de datos comparación de meses de diferentes años .....	31
3.6 Procesamiento de datos para comparación entre meses año 2020.....	31
3.7 Procesamiento de datos para gráficos de correlación..	32
3.8 Métodos estadísticos .....	32
<b>4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>33</b>
4.1 Medidas de cuarentena de COVID-19 .....	33
4.2 Comparación de datos meteorológicos antes y durante la cuarentena por COVID-19 .....	34
4.2.1 Temperatura.....	34
4.2.2 Velocidad del viento.....	38
4.2.3 Radiación solar .....	42

4.2.4 Precipitación .....	46
4.2.5 Humedad relativa .....	51
4.3 Comparación de datos de contaminantes atmosféricos antes y durante la cuarentena por COVID-19 .....	55
4.3.1 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	55
4.3.2 Monóxido de carbono (CO) .....	60
4.3.3 Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	64
4.3.4 Ozono (O <sub>3</sub> ).....	69
4.3.5 Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ).....	74
4.3.6 Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ) .....	79
4.4 Gráficos de correlación .....	83
4.4.1 SO <sub>2</sub> y temperatura.....	83
4.4.2 CO y temperatura .....	84
4.4.3 NO <sub>2</sub> y radiación solar .....	85
4.4.4 O <sub>3</sub> y radiación solar .....	86
4.4.5 PM <sub>2.5</sub> y velocidad del viento.....	86
4.4.6 PM <sub>10</sub> y velocidad del viento .....	87
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
5.1 Conclusiones.....	88
5.2 Recomendaciones.....	90
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

<b>Anexo 1:</b> Comparación de Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	97
<b>Anexo 2:</b> Comparación de Monóxido de Carbono (CO) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	98
<b>Anexo 3:</b> Comparación de Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	99
<b>Anexo 4:</b> Comparación de Ozono (O <sub>3</sub> ) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	100
<b>Anexo 4:</b> Comparación de Material particulado (PM <sub>2.5</sub> ) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	101
<b>Anexo 4:</b> Comparación de Material particulado (PM <sub>10</sub> ) en el mes febrero y marzo de diferentes años. ....	102

# 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

La mayor de las problemáticas que sufren muchos países desarrollados es debido a la contaminación atmosférica, lo que ha provocado afectaciones al estado de salud de las personas y daños al medio ambiente. El incremento de riesgo es notorio y drástico en muchos países a los cuales se les ha agotado el privilegio de respirar libremente un aire limpio y puro. Aire de mala calidad se ha convertido en una problemática global que les afecta directamente, tanto a las personas como a los ecosistemas (Ballester, 2015). Según estudios realizados en el año 2016, el 91% de las personas se les terminaron las condiciones óptimas de vida en sus residencias ya que no se respeta los índices de calidad establecidos por la OMS las cuales provocaron 4.2 millones de muertes prematuras y varias afectaciones a sus sistemas cardiovasculares. Aparte del aire emitido al exterior existe otro factor de riesgo provocado por la contaminación de interiores debido al uso de combustibles de biomasa y carbón que aumenta la tasa de mortalidad de las personas (Organización Mundial de la Salud, 2018) (Millares, 2012).

En América Latina las zonas urbanas son altamente pobladas. Alrededor de 100 millones de personas sufren el impacto que genera el transporte privado y transporte público urbano debido a que se trata de una prioridad de subsistencia de para muchas personas. Generalmente el nivel más alto de contaminación se da por partículas finas y gases que sobrepasan lo establecido por la OMS lo que se ha vuelto uno de los principales problemas a la afectación de salud humana y la gran problemática que implica llevar una vida sana (Bell, Davis, Gouveia, Borja-Aburto, y Cifuentes, 2006).

El parque automotriz y su aumento drástico en los últimos años es el principal responsable del aumento de contaminación en el aire y la mala salud de los seres humanos, también es uno de los principales factores y fuentes de contaminación que emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes que estimulan el calentamiento global y cambio climático. Es notorio la elevada cantidad de contaminación emitidas al aire ya que son relativamente altas en especial en países en desarrollo donde se encuentran industrias dirigidas por países desarrollados y donde la principal fuente de contaminante es producida por los medios de transporte de las personas (Breithaupt, 2012).

Las unidades de los transportes urbanos en las ciudades producen una gama variada de contaminantes unos más tóxicos que otros. Entre los más peligrosos se encuentra el material particulado PM<sub>2.5</sub> con igual o menos de 2.5 micrómetros de diámetro y PM<sub>10</sub> con igual o menos de 10 micrómetros de diámetro ya que pueden traspasar las defensas del cuerpo penetrándose directamente en el sistema respiratorio y se acumulan en el cuerpo causando enfermedades graves. Se ha llegado a un nivel de contaminación tan grave que 7 millones de personas mueren al año solo por respirar (Toro, 2011: Tornero et al., 2011)

La ciudad de Quito tiene una serie de problemas respecto a la contaminación atmosférica. Entre ellos que los vehículos utilizan diésel como fuente de combustible, también el parque automotor ha ido incrementando, en consecuencia, la huella de carbono que produce el uso de vehículos es del 56% (Díaz, 2017). El DMQ cuenta con un plan de monitoreo de la contaminación de aire. Este monitoreo es realizado desde el año 2004 a diario y los resultados son entregados a la ciudadanía una vez que se compara con la "Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire" y con normativa fijada por la (OMS) para verificar si cumple con el rango de contaminación establecido (Díaz, 2017).

En la ciudad de Quito los contaminantes críticos y permanentes en altas concentraciones son el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado de menos de 2.5 micrómetros. El último tiene un promedio 17.4 µg/

m<sup>3</sup>, valor que supera los límites permisibles impuestos por normativa internacional según estudios realizados en el transcurso de los años 2005 al 2016 (Zalakeviciute, López, y Rybarczyk, 2018), las personas más vulnerables son los niños, personas de edades avanzadas y que presentan cuadros críticos de salud que corresponde al 22% de la población total de Quito.

En el 2020, todo el mundo se enfrentó un nuevo desafío- la enfermedad COVID-19, causada por invasión a vías respiratorias de los seres humanos por coronavirus. El Coronavirus proviene de una larga lista de descendientes de virus que son causantes de trastornos u enfermedades en las personas, así como en los animales. Cuando se habla de personas puede causar enfermedades similares a las de una gripe común hasta enfermedades extremadamente graves como síndrome de respiración de oriente medio (MERS) y síndrome respiratorio agudo severo (SRAS) (Organización Mundial de la Salud , 2019).

El COVID-19 es un virus infeccioso desconocido que se produce a causa coronavirus que comenzó en China en el mes de diciembre del 2019 los primeros síntomas detectados son la fatiga, la fiebre, el cansancio y tos seca, aunque también presenta síntomas leves que son cuerpos adoloridos, catarro, garganta reseca y adolorida o diarrea (Organización Mundial de la Salud , 2019). Según estadísticas de la organización mundial de la salud 1 de cada 6 personas se contagian de COVID-19, el 80 % de los contagiados se recupera y el 2 % de las personas infectadas por esta enfermedad han muerto. El COVID-19 alcanza en su mayoría a gente adulta que presente cuadros de enfermedad tales como la diabetes, hipertensión y problemas cardiacos.

La forma de propagación se da entre personas por medio de gotículas que salen de la boca o nariz al momento de que una de las personas habla, tose, o estornuda expulsadas hacia otra personas, superficies u objetos. Otra forma de contagio es cuando tocamos superficies contaminadas que tengan estas gotículas y luego tocar ojos, boca o nariz (Organización Mundial de la Salud , 2019). Es por eso que en el Ecuador a nivel nacional dispuso medidas de

seguridad durante toda la emergencia sanitaria, donde estipuló varias medidas de seguridad entre las más importantes la paralización de actividades humanas con el toque de queda, prohibición de aglomeraciones de personas y la movilización en vehículos con placas autorizadas, medidas que ayudaron a una pronta recuperación del medio ambiente que se ven reflejados mediante la decaída de contaminantes atmosféricos y químicos en el aire y posibles efectos a parámetros meteorológicos.

Las personas respiran un promedio de entre 12 y 20 veces por minuto, un volumen de 0.5 litros aproximadamente ingresa a los pulmones cada vez que se respira (Tomassetti, 2010) por lo que es de gran importancia identificar a los contaminantes que se encuentran expuestos.

## **1.2 Alcance**

El presente estudio evaluó la contaminación atmosférica y parámetros meteorológicos en la ciudad de Quito en las zonas donde se encuentran las estaciones de la red de monitoreo atmosférico y comparo promedios de datos históricos de años anteriores versus los meses de marzo y abril donde se presentó cuarenta por COVID-19, además se evaluó los componentes atmosféricos: dirección del viento, humedad relativa, radiación solar, temperatura media, velocidad del viento y datos de Química del Aire: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>).

## **1.3 Justificación**

La exposición a contaminación atmosférica es un dilema antiguo que ha ido incrementando debido a la necesidad de satisfacer las necesidades humanas y el continuo requerimiento de nuevos recursos. La contaminación ambiental ha

incrementado incontrolablemente creando un gran problema que es la contaminación y la mala calidad del aire esto se debe a la generación excesiva de gases tóxicos y material particulado provocando afectaciones a la vitalidad de la gente (Illicachi, 2015: Pérez, 2009).

Según estudios realizados se informa que, en el año 2012, alrededor de siete millones de personas fallecen en un año, y una de cada ocho muertes es producto de la exposición a la contaminación atmosférica (World Health Organization, 2016) los contaminantes que mayormente afectan a las personas son  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  producto de la quema de combustibles fósiles (World Health Organization, 2016: García, García, y Vaca, 2012)

En la ciudad capital en 2016 los valores detectados fueron mayores a los acepta la “Norma ecuatoriana de calidad de aire” (Zalakeviciute, Rybarczyk, López, y Díaz, 2018). El ritmo de vida de las personas es importante en todos los sentidos, pero ha producido que los límites tolerables de emisión de gases y contaminantes no sean adecuados por lo cual es importante una mejora en la calidad de aire (Deters, Zalakeviciute, González, y Rybarczyk, 2017). El presente estudio pretende brindar información relevante de la calidad del aire de Quito comparando datos históricos de contaminación versus datos actuales en cuarentena por COVID-19 para verificar los cambios meteorológicos y atmosféricos que se presentaron y verificar cuanto se podría mejorar la calidad del aire de Quito si se tuviera un uso responsable de recursos.

Quito es una ciudad extensa que tiene una población de 2.576.287 personas según el censo realizado en el año 2010 (INEC, 2010). De las cuales 2.400.000 personas viajan en el sistema metropolitano de transporte urbano y masivo de pasajeros; y líneas alimentadoras de buses y el otro porcentaje en vehículos privados (SMTTP, 2017) lo cual afecta masivamente la calidad de aire en Quito.

La calidad de aire de Quito se ve principalmente influenciada por la cantidad de emisiones de contaminantes de vehículos que funcionan a combustible y que debido al incremento poblacional la aumenta. Otro gran foco de contaminación son los sectores industriales al norte y sur de la capital que se encuentran dentro sectores urbanos (Secretaría del Ambiente, 2017; Zalakeviciute, López, y Rybarczyk, 2018).

La contaminación atmosférica ocasiona afectaciones a la salud de los seres vivos y de todo ecosistema que se encuentre expuesto debido a la concentración de agentes tóxicos y sustancias ajenas al medio del aire. Es una problemática antigua que se generó desde la revolución industrial donde se expandió la cantidad de contaminantes los cuales perturban el equilibrio natural de la atmósfera (Tamayo, 2015).

El principal problema que tiene el uso de transporte en países poco desarrollados es la mala tecnología que daña la calidad de aire (Tomassetti, 2010), al momento de realizar combustión producen gases que causan daños a la salud y afectaciones al sistema circulatorio pudiendo causar células cancerígenas (Breithaupt, 2012).

El  $PM_{2.5}$  es principal causante de enfermedades producto de una quema incompleta de combustibles fósiles, materia orgánica, plantas generadoras de energía entre otras y de accidentes naturales como incendios forestales (EPA, 2017), tienen la capacidad de permanecer en el aire largos periodos de tiempo y pueden recorrer largas distancias lo que aumenta el nivel de peligrosidad (World Health Organization, 2016).

La máxima exposición que se puede tener por persona es de  $PM_{2.5}$  es de  $10 \mu g/m^3$  en promedio anual (OMS, 2000), por lo que las enfermedades asociadas con contaminación atmosférica o de química de aire pueden causar efectos instantáneos o a largo plazo, y el nivel de afectación dependerá de la

composición química y la concentración que entra en el cuerpo de las personas por lo que se ha generado preocupación.

#### **1.4 Objetivo General**

Evaluar los cambios de parámetros atmosféricos durante la cuarentena por COVID-19.

#### **1.5 Objetivos específicos**

Analizar los cambios en parámetros meteorológicos durante la cuarentena por COVID-19.

Analizar los cambios de contaminación atmosférica durante la cuarentena por COVID-19.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Coronavirus**

El coronavirus proviene de una amplia familia de virus que causan diferentes afectaciones a la salud unas más graves que otras, como simples resfriados o enfermedades complejas como síndrome de respiratorio de oriente medio (MERS-CoV). El actual coronavirus descubierto en el año 2019 que causa el síndrome agudo respiratorio – enfermedad conocida como COVID-19 (Organización Mundial de la Salud, 2019).

El coronavirus es de transmisión zoonótica es decir que se puede transmitir de animales a personas. Algunos ejemplos son el SARS-CoV es el que recibieron los seres humanos por parte de la civeta y un ejemplo de (MERS-CoV) es del dromedario a las personas. Según estudios realizados se sabe que existen

varios tipos más de coronavirus que se contagian entre animales pero que no han causado enfermedades a los seres humanos.

Los principales síntomas de contagio por coronavirus es la elevada temperatura del cuerpo y afectaciones respiratorias (tos, falta de aire, asma). Cuando se entra en etapa crítica esta enfermedad produce neumonía que conlleva a cuadros más severos hasta alcanzar la muerte (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Ante tal enfermedad se debe tener medias de precaución personal con el fin de no dispersar el virus como tener una óptima higiene personas y de manos, cubrirse las vías respiratorias (boca y nariz), también lavar y cocinar muy bien los alimentos que van a ser consumidos y evitar el contacto con personas contagiadas.

## **2.2 *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)***

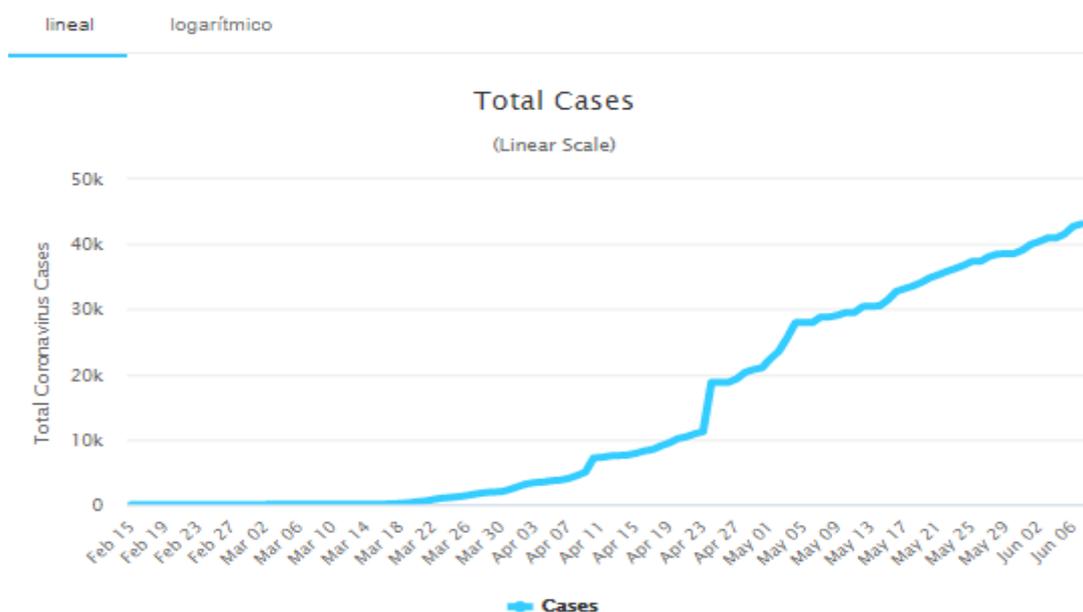
COVID-19 es una enfermedad peligrosa transmitida desde un animal, la más reciente de los coronavirus descubierta en el mes de diciembre del año 2019 en la ciudad de Wuhan (China) causada por el tipo de coronavirus. Es catalogada como una pandemia que causó afectaciones a la mayoría de los países a nivel mundial.

Sus principales síntomas de contagio son temperatura alta, fatiga y garganta reseca que produce tos seca. Existen varias personas que no presentan síntomas, pero una vez contagiados los síntomas se observan de manera progresiva. Según la OMS el 80% de las personas que presenta esta enfermedad se recupera sin necesidad de ayuda hospitalaria. También 1 de cada 5 contagiados desarrollan un cuadro grave/crítico con dificultad de respirar.

Las personas más vulnerables son los adultos mayores con padecimientos críticos de cáncer diabetes, presión alta y problemas cardiacos o pulmonares (Organización Mundial de la Salud, 2019).

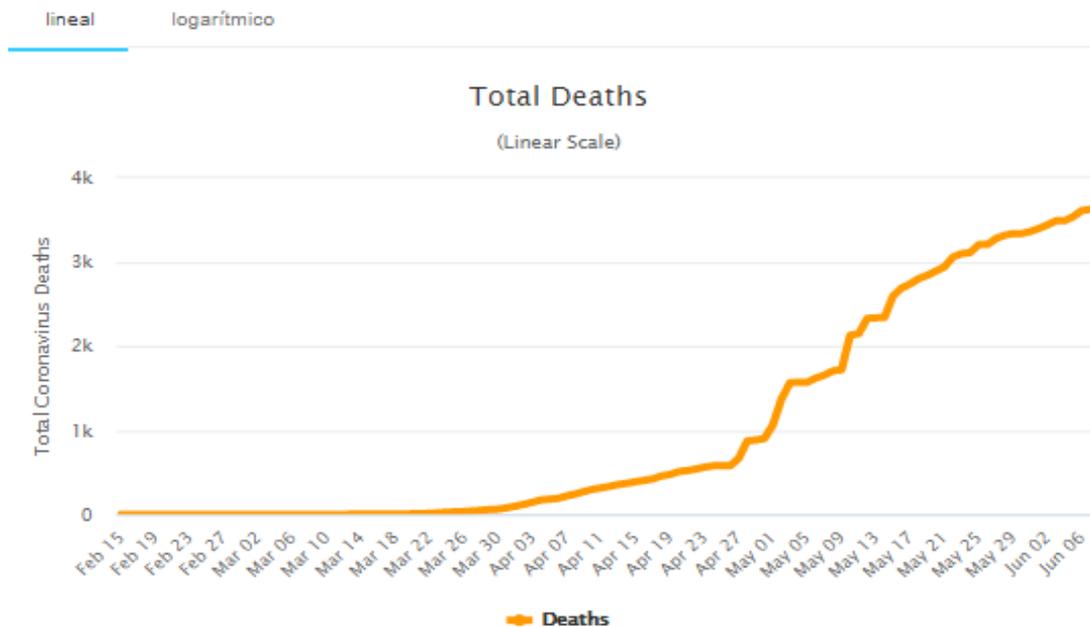
La principal causa de propagación se da entre personas y por fluidos que salen de nuestro cuerpo al momento de hablar, estornudar o toser, y es por eso que se recomienda una distancia de un metro entre personas. Estos fluidos no viajan muy lejos ya que son pesados y caen por gravedad llegando rápidamente al suelo o pueden caer en superficies cercanas de modo que si una persona toca esta superficie y se lleva sus manos a su boca, ojos o nariz se puede contagiar. Es por eso la importancia de lavarse constantemente las manos, usar mascarillas y desinfectar todo a base de alcohol (Organización Mundial de la Salud, 2019).

A continuación, se presenta un cuadro sobre el número de contagiados (Figura 1), y el número de fallecidos (Figura 2) por COVID-19 a nivel del Ecuador. Hasta esta fecha en el mundo los números llegan a (20,993) contagiados y (900) fallecidos. Mientras el inicio de la enfermedad fue desde China, rápidamente expandiéndose a Europa, ahora Sudamérica es el nuevo foco de la pandemia.



*Figura 1.* Número de contagiados desde el primer brote en Ecuador el 15 de febrero hasta el 6 de junio de 2020.

Tomado de: (Worldometer, 2020)



*Figura 2.* Número de fallecidos desde el primer brote en Ecuador

Tomado de: (Worldometer, 2020)

### 2.3 Contaminación Atmosférica

La atmósfera se conforma por varios gases que tiene el planeta, la mayoría de estos gases se concentran en los primeros 30 km de altura. Dichos gases siempre están en constante rotación debido procesos físicos (viento) y la gravedad. Se define como contaminación atmosférica a la relación que existe en la atmósfera, directa e indirecta de partículas, sustancias o energía que ejerza una acción dañina de tan manera que ponga en riesgo la salud de las personas y los seres vivos. Causa daños a ecosistemas y sus recursos de tal forma que perjudica o desgasta los bienes y recursos que estos presentan (Martínez, 2019). La contaminación atmosférica puede ser local cuando los daños se dan en la

zona donde se encuentra el foco de contaminación (por ejemplo, la lluvia ácida) y global cuando la afectación cambia al equilibrio del planeta como el calentamiento global.

El principal riesgo ambiental hacia la salud es el de la contaminación atmosférica (Neira y Prüss, 2016). Generalmente todos los contaminantes se producen por una mala combustión de combustibles fósiles pero sus compuestos varían según sus fuentes (Neira y Prüss-Ustün, 2016).

## **2.4 Contaminantes atmosféricos**

Los contaminantes atmosféricos se los clasifican de acuerdo a su fuente primaria cuando provienen de diferentes fuentes y su composición química es diversa, también se los puede clasificar por estado físico y elemento común (partículas y gases) (Zavala, 2008).

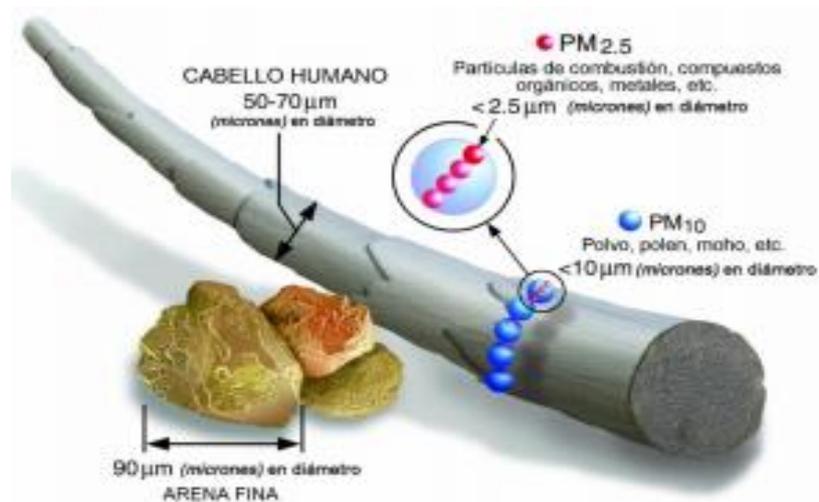
### **2.4.1 Aerosoles, partículas sedimentables y en suspensión**

Los términos de partículas y aerosoles se utilizan de la misma manera ya que los aerosoles atmosféricos son difusiones de elementos sólidos o líquidos en el aire con composición química diversa.

La unión de partículas sólidas con líquidos presentes en el aire como: humo, hollín, suciedad, polvo que tiene un diámetro grande y de color muy oscuro se denomina material particulado es la de esa forma se lo puede ver con facilidad, también existen otros con diámetro diminuto que solo se los podría detectar con el uso de microscopio (EPA, s.f.).

Es por eso que se lo ha clasificado de acuerdo al tamaño de su diámetro aerodinámico, material particulado grueso  $PM_{10}$  con partículas iguales o menores a 10 micrómetros, material particulado fino  $PM_{2.5}$  con partículas iguales

o menores a 2.5 micrómetros, y material particulado ultra fino  $PM_1$  con partículas iguales o menores a 1 micrómetro (Figura 3).



*Figura 3.* Comparación de tamaños de material particulado

Tomado de (EPA, s.f).

La mayoría de estos contaminantes provienen del excesivo uso de movilidad motorizada, transporte público, fábricas y quema descontrolada de bosques o madera (Organización Panamericana de la Salud, 2016). El problema de estos contaminantes es que al ser de diámetros tan pequeños pueden ser inhalados lo que conlleva a graves estados de enfermedad. Estas partículas pueden llegar hasta el sistema respiratorio alcanzando los pulmones y en particulares casos alcanza el torrente sanguíneo. Es por eso que la principal causa de muerte por este contaminante es por problemas cardiacos, asma, infartos, irritaciones, y estas enfermedades atacan principalmente a los niños y ancianos (EPA, s.f.: Martínez, 2019).

Estas partículas no solo afectan a las personas sino al medio ambiente ya que pueden viajar largas distancias y luego caer en agua o suelo lo que puede provocar que los ríos y lagos se vuelvan ácidos. También pueden causar afectaciones a las propiedades de los alimentos tanto en suelo como en el agua, efectos tóxicos en el desarrollo de ecosistemas, lluvia ácida entre otros (Ballester, 2005: EPA, s.f).

Para la medición de material particulado se utiliza el método gravimétrico mediante bajo caudal ( $PM_{2.5}$ ) y Gravimétrico mediante alto o bajo caudal ( $PM_{10}$ ). Se utiliza equipos medidores de bajo caudal con entradas aerodinámicas del tamaño de la partícula se succiona gran parte del aire que se encuentra en el ambiente hacia un arca para muestras que cuenta con filtros y es procesada durante 24hrs. Para que funcione de manera correcta se debe pesar el filtro antes y después del uso para saber con exactitud el peso final. También se determina la masa final de aire a través de un promedio de velocidad del viento y lo que tarda el muestreo. Finalmente, se calcula la concentración total de las partículas en el aire mediante la división de la masa recolectada por el volumen de aire recolectado (Arciniegas, 2012: Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, 2011).

#### **2.4.2 Dióxido de azufre ( $SO_2$ )**

Óxidos de azufre son compuestos que en su estructura tienen moléculas de oxígeno, el compuesto predominante en la zona más baja de la atmósfera. Carecen de color, pero su olor y sabor son muy distintivos y es fácil de detectar cuando se encuentra en concentraciones elevadas. Es un gas altamente tóxico que se produce cuando los óxidos de azufre se someten a combustión principalmente en plantas generadoras de energía y la combustión que producen los automóviles en especial vehículos pesados, sin embargo, la fuente más común es la naturaleza que presenta entre el 35% y 65% de las emisiones al ambiente (Sherydan, 2018).

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), es el principal contaminante de los óxidos de azufre que resulta principalmente de la combustión de combustibles fósiles el que contribuye considerablemente a la generación de smog y gases de efecto invernadero. Son moléculas irritantes y causan problemas a la vista y respiración con mayor vulnerabilidad en los niños y ancianos. Por otra parte, también afecta negativamente al medio ambiente en vegetaciones y cultivos agrícolas ya que debido a su fácil movilidad pueden asentarse en ecosistemas y dañar su funcionalidad causando principalmente la lluvia ácida y dañando permanentemente zonas de cultivo y suelos fértiles (Sherydan, 2018).

Para saber la concentración del ( $\text{SO}_2$ ) se utiliza el “Método de la pararosanilina absorción en medio líquido y análisis colorimétrico” aprobado por la EPA que consiste en absorber el contaminante en una solución de potasio en condiciones adecuadas para evitar errores e interferencias en especial de agentes oxidantes y metales, posteriormente la solución se la trata con formaldehído pararosanilina y ácido fosfórico con el fin de mantener las propiedades de color y pH, finalmente se determina su concentración final con un colorímetro (Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, 2011).

El método utilizado por la Secretaría del Ambiente de DMQ es mucho más simple y también está aprobado por la Agencia de Protección ambiental USA (EPA), consiste en medir las señales fluorescentes que se producen al excitar al contaminante en presencia de luz ultravioleta (REMMAQ, 2016).

### **2.4.3 Monóxido de carbono (CO)**

El monóxido de carbono está presente en capa inferior de la atmósfera (troposfera) principalmente en grandes ciudades (Zavala, 2008). Es un gas tóxico, inodoro, incoloro e insípido, soluble en agua y con gran capacidad de combustión que resulta de la oxidación incompleta de C producto de una combustión. Principalmente se da por combustiones incompletas del C,

disociación de CO<sub>2</sub> temperaturas elevadas, oxidación de metano y naturalmente resulta de la degradación de la clorofila en las plantas.

El CO causa graves afectaciones a la salud humana, en grandes concentraciones puede causar la muerte. Su principal afectación es que disminuye la capacidad del transporte de oxígeno en el cuerpo produciendo hipoxia y los órganos más vulnerables como el corazón y el cerebro (Crana, 2010). CO también produce enfermedades al sistema nervioso, pérdida de vista, dolor de cabeza, mareos, fatiga, fallos respiratorios y la muerte (Zavala-Aguirre, 2008).

El 50 % de muertes por CO es producto de envenenamientos por vehículos en garajes, por lo que se recomienda tener siempre un flujo de aire para que circule el contaminante.

El método de medición es el Analizador Infrarrojo no Dispersivo que consiste en determinar la concentración mediante intercambio de energía infrarroja en distintas ondas de longitud (Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, 2011).

#### **2.4.4 Óxidos de nitrógeno**

Los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) son gases compuestos resultado de una mezcla de gases por oxígeno y nitrógeno, son incoloros y no son inflamables, pero son altamente tóxicos. El monóxido de nitrógeno (NO) presenta un olor suave que se confunde en el ambiente, pero el NO<sub>2</sub>, presenta un olor fuerte y desagradable.

El óxido de nitrógeno (NO) se libera en la atmósfera producto de la ignición de carbón, derivados del petróleo o gas natural en especial de los tubos escape de vehículos motorizados. Principalmente esta usado en la producción de tintes, pinturas, lacas y productos agroquímicos (ATSDR, 2002). De forma natural se

obtienen de la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, actividad volcánica y quema de hojarasca.

Estos contaminantes son corrosivos para la piel provocando irritaciones o lesiones cutáneas graves y la inhalación de esta sustancia en elevadas concentraciones puede quemar los pulmones causando heridas irreversibles. En cuanto al medio ambiente este contaminante es responsable de la creación de grandes cantidades de smog el cual se ve directamente influenciado la creación de ozono, por otro lado, ayuda la creación de Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) el principal causante de fenómenos naturales como la lluvia ácida (PRTR, 2013).

El método de detección es la Quimioluminiscencia que consiste en convertir el  $\text{NO}_2$  en  $\text{NO}$  para realizar una reacción con ozono produciendo luz de radiación, de esa forma se obtiene resultados de concentración de los dos compuestos medibles por el instrumento (MAE, 2011).

#### **2.4.5 Ozono ( $\text{O}_3$ )**

El ozono es un contaminante secundario que no presenta color formado por tres átomos de oxígeno, y es muy reactivo y su olor es desagradable e irritante. Este compuesto presenta condiciones beneficiosas y nocivas para la atmósfera. El beneficio del ozono es que se encuentra en la estratósfera y en la ozonósfera más conocida como capa de ozono y ayuda a que no nos golpee los rayos ultravioletas, mientras el impacto negativo es que se forma en la tropósfera (capa contaminada) mediante compuestos orgánicos volátiles (COVs) oxidados en presencia de óxidos de nitrógeno y luz solar (Crana, 2010).

El ozono se produce naturalmente por descargas eléctricas, radiaciones X y ultravioletas, pero en la zona baja de la atmósfera se produce principalmente por las radiaciones solares.

Debido a que es un contaminante secundario no afecta en gran cantidad a las personas, pero depende de la concentración a la que se expone puede presentar síntomas congestión nasal y garganta y si su exposición es elevada causa fatigas, ataxia y edema pulmonar, en cuanto al medio ambiente causa afectaciones a las plantas en elevadas concentraciones (García et al., 2012) (Zavala, 2008).

El método que se utiliza para la medición es la Quimioluminiscencia fotómetro ultravioleta que consiste en mezclar aire de recolección con etileno para producir una reacción con ozono y liberar una luz y después es absorbida hacia un ducto fotomultiplicador (MAE, 2011).

#### 2.4.6 Otros contaminantes

También existen otro tipo de contaminantes que se encuentran en el aire que son los secundarios, su principal característica de da ya que no provienen de la atmósfera. Estas son sustancias que se dan a través de reacciones atmosféricas entre contaminantes primarios y factores ambientales (Zavala, 2008).

Finalmente están los contaminantes por radiaciones ionizantes que se producen por la presencia de elemento radiactivo en la naturaleza.

#### 2.4.7 Tabla de concentraciones contaminantes

Tabla 1.

*Concentraciones máximas permisibles por promedio de tiempo*

<b>Contaminante y periodo de tiempo</b>	<b>Alerta</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Alarma</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Emergencia</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
---	---	---	---

Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	1000	1800
Material particulado $\text{PM}_{10}$ Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	250	400	500
Material Particulado $\text{PM}_{2,5}$ Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150	250	350

Adaptado de (MAE, 2011)

## 2.5 Parámetros meteorológicos

### 2.5.1 Dirección del viento

La dirección del viento mide el componente de la velocidad del viento. Este término indica de donde viene el viento más no hacia dónde va. Dirección del viento se mide en grados, desde  $0^\circ$  (excluido) hasta lo  $360^\circ$  (incluidos) como norte, o 90 como dirección este, etc. Se mueve en sentido horario (Figura 4) visto desde la parte superior en el plano horizontal (Andrade, 1993). Este parámetro se mide mediante una veleta.

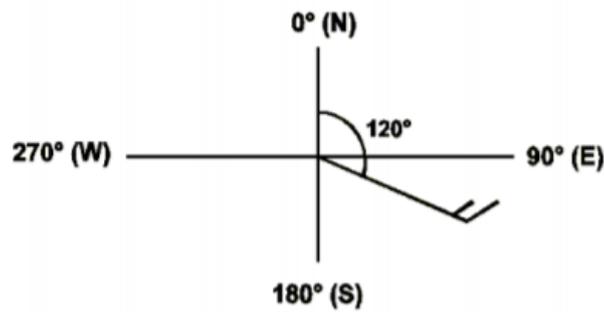


Figura 4. Gráfico de la dirección del viento

Tomado de (Son, 2011)

### 2.5.2 Humedad relativa

Humedad relativa se define como la relación entre la razón de mezcla observada  $r$  y la razón de mezcla saturada  $r_s$ , es decir una masa de aire puede contener mayor o menor cantidad de vapor de agua, pero no indica el punto de saturación. La fórmula se presenta a continuación:

$$Hr = \frac{r}{r_s} = \frac{\frac{0.622e}{p-e}}{\frac{0.622e_s}{p-e_s}} = \frac{\alpha}{\alpha_s}$$

(Ecuación 1)

### 2.5.3 Velocidad del viento

Velocidad del viento se define como la distancia recorrida del viento por unidad de tiempo, es decir se mide el componente horizontal de desplazamiento en un punto e instante determinado (Sierra, 2006). Para medir la velocidad horizontal del viento, se utiliza el anemómetro de cazoletas. El giro de estas representa la velocidad del viento medido en km/h o m/s (Rodríguez et al., 2014).

#### **2.5.4 Precipitación**

Precipitación se refiere a cualquier tipo de partícula de agua que se forma en la atmósfera y cae a la tierra. La precipitación ocurre cuando las partículas de agua o hielo aumentan su tamaño hasta que la atmósfera no puede soportar más su peso hasta que caen en diferentes formas (lluvia, hielo, nieve, granizo y llovizna). Precipitación se mide con pluviómetro estándar o veleta automática.

#### **2.5.5 Radiación solar**

La radiación solar se conoce como la unión radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol (Figura 5). A la Tierra únicamente llega una parte del amplio espectro de radiaciones, de las cuales aproximadamente el 5% corresponde a los rayos UVA, los mismos que tienen una longitud de onda entre 320-400 nm, la radiación UVB corresponde al 0.1% del total de radiaciones que llegan a la Tierra tiene una onda menor longitud de onda a la antes mencionada (280-320 nm), la mayor parte de la radiación que llega del sol es la radiación infrarroja (IR) la misma que posee una longitud de onda entre 800-5000 nm. Además de las antes mencionadas existe la radiación visible y la radiación UVC siendo esta última la más energética de todas hasta el momento y también la más nociva para el ser humano. Es importante mencionar que otros tipos de radiaciones con longitud de onda inferior a 280 nm no llegan a la Tierra (Bosquet, 2003).

La radiación visible es la unión de varias radiaciones electromagnéticas que excitan la retina de las personas creando una sensación de visión. Se le conoce también como la energía radiante de longitud de onda que oscila entre 380 nm y 770 nm en el espectro electromagnético solar, esta es la luz presente en las horas pico de radiación solar donde el sol presenta su máxima emisión por lo que puede causar enfermedades y es recomendable evitarla (Russell, 2016).

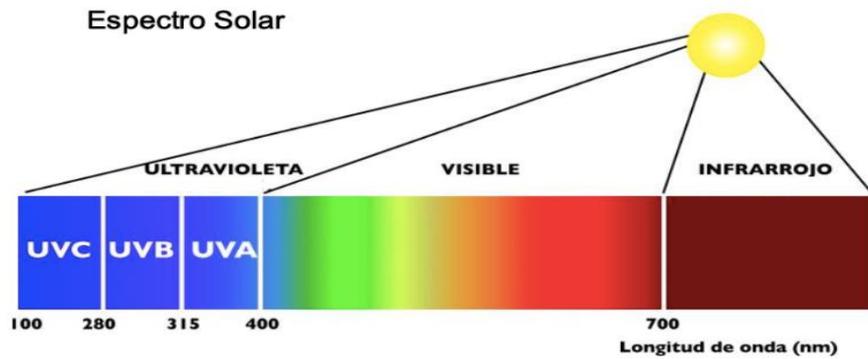


Figura 5. Tipos de radiación solar

Tomado de: (Hogarsense, s.f)

### 2.5.6 Temperatura

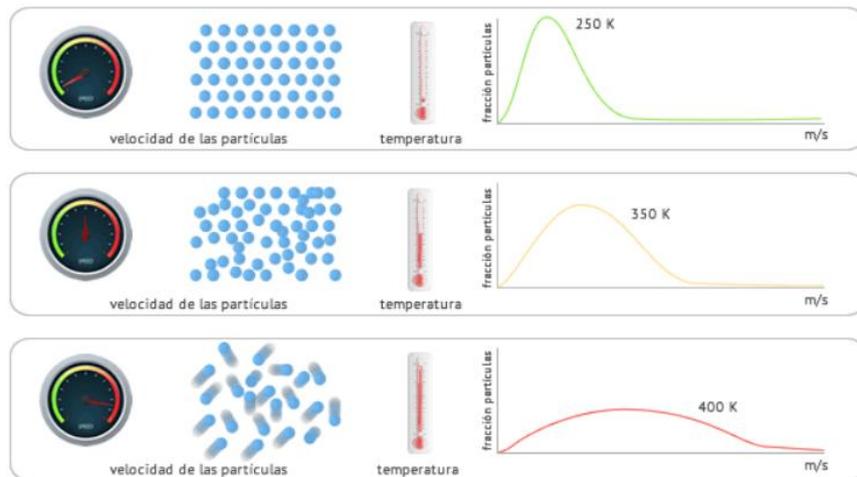
La temperatura nos indica el nivel de energía calórica que contiene una masa. Las partículas que posee los cuerpos están en constante movimiento a velocidades determinadas y cada uno con una determinada energía cinética. Esta energía se relaciona directamente con la temperatura de un cuerpo. De tal forma que entre mayor sea la energía cinética media de partículas, mayor es la temperatura y a menor energía cinética, menor va a ser la temperatura (Dugan y Jones, 1996).

Para el cálculo en gases los valores proporcionales a la energía cinética media de moléculas se utiliza la siguiente fórmula:

$$T = k \cdot \langle E_c \rangle$$

(Ecuación 2)

A diferencia de otras unidades de medida, la temperatura es de tipo estadístico y no de magnitud mecánica, es por eso que la repartición de la energía de las partículas se establece por la Ley de Distribución de Maxwell. En la Figura 6 se observa el efecto producido en las moléculas de gas el aumento de la temperatura (Hincapié, 2019).



*Figura 6.* Efecto producido en las moléculas de un gas por el aumento de temperatura.

Tomado de: (Fiscalab, s.f)

### 3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Descripción del área de estudio

Quito es la capital del Ecuador y se localiza en las pendientes del estrato volcán Pichincha en zona oriental de los Andes y presenta una elevación de 2851 msnm, se encuentra fraccionada en tres zonas Norte, Sur, Centro y cuenta con 32 parroquias urbanas de los cuales se subdividen en varios barrios. Quito cuenta con dos estaciones invierno y verano, y presenta un clima variable, pero predomina el clima subtropical que van desde climas áridos y templados hasta húmedos y fríos (INAMHI,2016).

El estudio de contaminantes se realizó en la zona donde se encuentren las estaciones de la Red de Monitoreo Atmosférico distribuidos en la ciudad de Quito.

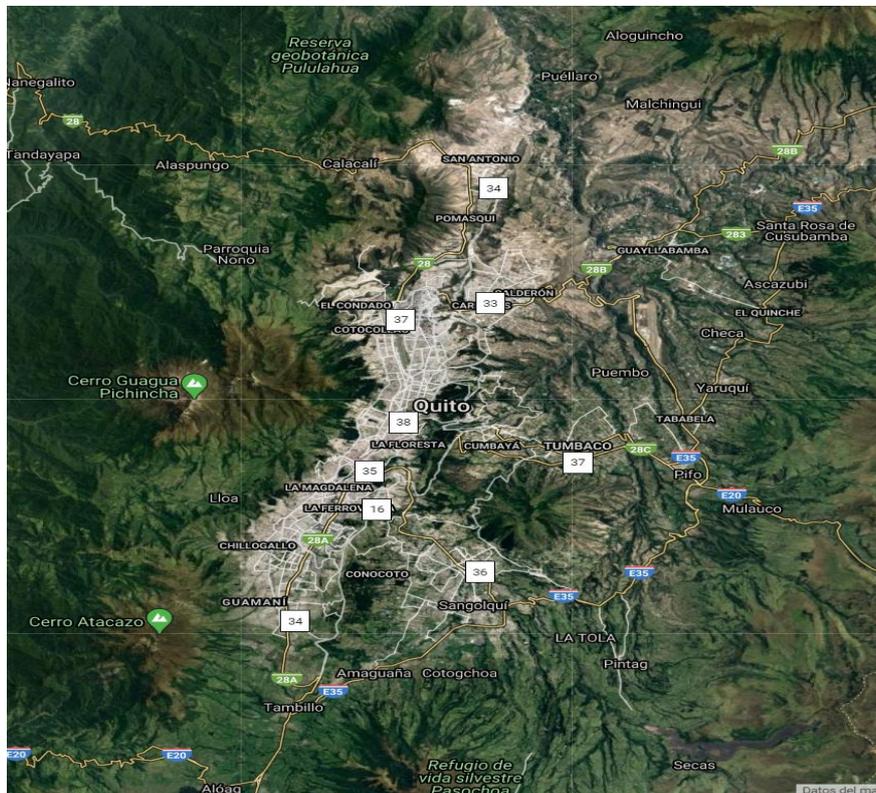


Figura 7. Mapa satelital de estaciones de Red de Monitoreo en Quito.

Tomado de: (Google Earth, 2020)

La Secretaría del Ambiente dentro de su programa de Red de Monitoreo Atmosférico presenta nueve estaciones a lo largo de la ciudad (Carapungo, Cotocollao, Jipijapa, Belisario, El Camal, Centro, Guamaní, Tumbaco, Los Chillos) de esa forma cubre alrededor de toda la ciudad para brindar datos de calidad de Aire, de los cuales se van a usar siete para el presente estudio que son detallados en Tabla 2.

Tabla 2.

*Ubicación de las estaciones de la REMMAQ*

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>COT</b>	Cotocollao	(elev. 2,739 m.a.s.l, coord. 78°29'50" W, 0°6'28" S)
<b>CAR</b>	Carapungo	(elev. 2,660 m.a.s.l, coord. 78°26'50" W, 0°5'54" S)
<b>BEL</b>	Belisario	(elev. 2,835 m.a.s.l, coord. 78°29'24" W, 0°10'48" S)
<b>CAM</b>	El Camal	(elev. 2,840 m.a.s.l, coord. 78°30'36" W, 0°15'00" S)
<b>CEN</b>	Centro	(elev. 2,820 m.a.s.l, coord. 78°30'36" W, 0°13'12" S)
<b>GUA</b>	Guamaní	(elev. 3,066 m.a.s.l., coord. 78°33'5" W, 0°19'51" S)
<b>LCH</b>	Los Chillos	(elev. 2,453 m.a.s.l, coord. 78°27'36" W, 0°18'00" S)

Adaptado de (Secretaría de Ambiente, 2010)

### 3.2 Especificaciones de equipos de contaminantes críticos

#### Monitoreo de PM

Thermo Andersen es un producto de Thermo Scientific con la habilidad de calcular partículas gruesas (PM<sub>10</sub>), finas (PM<sub>2.5</sub>) y totales (SPM) en tiempo real, es un equipo que brinda datos confiables y precisos.

El funcionamiento del equipo se basa en la mitigación de rayos beta, el método que usa es sencillo mediante una bomba se absorbe los contaminantes (PM<sub>2.5</sub>) y se quedan adheridos a una cinta con filtros de fibra de vidrio que está en constante movimiento hacia una cámara con una fuente radiactiva de carbono 14 y se emite una radiación y es captada por el receptor (Figura 8). Posteriormente el aparato mide la concentración del contaminante a través de una compleja fórmula de acuerdo a la magnitud de haz beta que produce el

emisor proporcionalmente a la masa de partículas (Thermo Fisher Scientific Inc,2017).

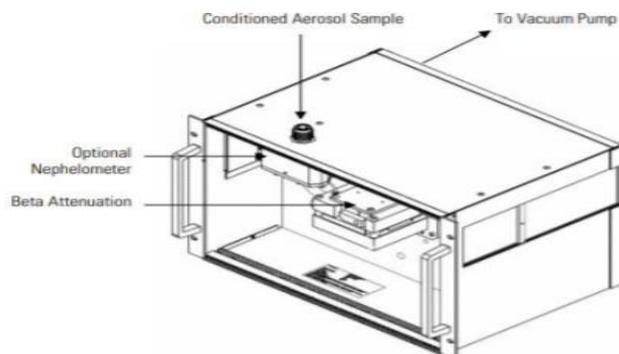
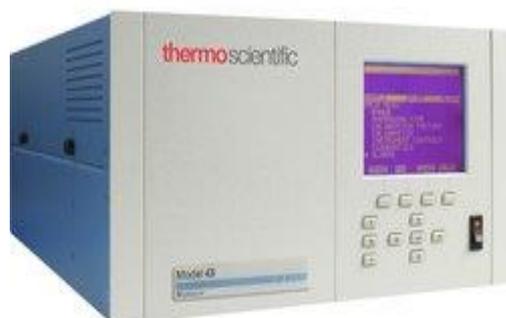


Figura 8. Funcionamiento del equipo.

Tomado de: (Thermo Fisher Scientific, 2007)

### Monitoreo de SO<sub>2</sub>

Thermo 43C/43i es un aparato con la habilidad de calcular la cantidad de dióxido de azufre presente en el ambiente hasta 100 ppm. Con el analizador Thermo Scientific™, se analiza gases utilizando tecnología de fluorescencia pulsada (Figura 9). Los filtros de paso de banda reflectantes están menos sujetos a la degradación fotoquímica y más selectivos en el aislamiento de longitud de onda, lo que resulta en una mayor especificidad de detección y estabilidad a largo plazo (Thermo Fisher Scientific, 2017).



*Figura 9. Thermo 43c/43i.*

Tomado de (Thermo Fisher Scientific, 2017).

### **Monitoreo de O<sub>3</sub>**

Thermo 49C/49i mide la cantidad de ozono en el aire ambiente desde concentraciones de 0.05 ppm hasta 200 ppm en el analizador de ozono Thermo Scientific™ mediante luminiscencia por luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQSA-0486-060) (Thermo Fisher Scientific, 2017).

El examinador absorción UV modelo Teledyne API-T400 se basa en un método conocido como la ley de Beer-Lambert con el fin de calcular pequeños rangos de ozono en el aire ambiente. Pasa una pequeña cantidad de luz UV de 254 nm por una celda testigo donde se retiene en gran proporción el ozono presente (Método equivalente EPA No. EQOA-0992-087 (Teledyne API Everywhereyoulook, 2015).

### **Monitoreo de NO<sub>3</sub>**

Thermo 43C/42i mide los pequeños niveles de los óxidos de nitrógeno presentes en el aire usando quimioluminiscencia. Es un diseño de tubo fotomultiplicador de cámara única, que alterna entre los modos NO y NO<sub>x</sub>, tiene salidas independientes para NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y cada uno puede calibrarse por separado. Esto es el método de referencia EPA No. RFNA-1289-074) (Thermo Fisher Scientific, 2017).

El analizador modelo Teledyne API-T200 NO/NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> funciona mediante el método de localización de quimioluminiscencia, funciona mediante una electrónica más avanzada que ayuda a cálculos exactos y evitando errores haciéndolo más confiable de nivel bajo en su funcionamiento como analizador

ambiental o monitor CEMS de dilución (Método de referencia EPA No. RFNA-1194-099) (Teledyne API Everywherelook, 2015).

### **Monitoreo de CO**

El modelo Thermo 48C/48i utiliza el método de absorción de radiación infrarroja por medio del CO en una onda de longitud de 4,6 micras. Ya que este método utilizado es un procedimiento no lineal, es indispensable que se modifique de una señal básica del analizador a una salida. Este equipo es un método de referencia EPA No. RFCA-0981-054) (Thermo Fisher Scientific, 2017).

El Modelo Teledyne API-T300 mide rangos bajos de monóxido de carbono comparando la energía infrarroja absorbida por una muestra con la absorbida por un gas de referencia de acuerdo con la ley de Beer-Lambert. Este equipo es un método de referencia EPA No. RFCA-1093-093) (Teledyne API Everywherelook, 2015).

### **Calibración y mantenimiento de equipos de estación atmosférica**

El aparato Thermo/ 146C/146i es un calibrador que suministra niveles precisos de ozono, monóxido de carbono, hidrocarburos no metanos, dióxido de azufre, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno u otros gases. Los controladores de flujo másico diluyen gases estándar para la calibración de instrumentación de monitoreo de gases y se pueden almacenar múltiples rutinas de calibración en la memoria del calibrador (Thermo Fisher Scientific, 2017).

El modelo Teledyne API-T700U es un calibrador basado en microprocesador para analizar gases de precisión de nivel de traza. Mediante el uso de controladores de flujo másico de alta precisión combinados con fuentes comprimidas de gases estándar, se proporcionan estándares de calibración para

el intervalo multipunto y las comprobaciones cero utilizando hasta 4 fuentes de gas (Teledyne API Everywhereyoulook, 2015).

El suministro de aire cero Thermo Scientific™ 111 está diseñado para aplicaciones donde se requieren niveles libres de contaminantes de NO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO e hidrocarburos, con flujos de hasta 20 L/min, presiones de 30 psi. Este modelo usa un compresor externo, los reguladores de presión, los depuradores químicos, el reactor y el controlador de temperatura están contenidos en un solo caso conveniente (Thermo Fisher Scientific, 2017).



*Figura 10.* Thermo/111

Tomado de (Thermo Fisher Scientific, 2017)

El oxidante térmico ECOTECH HTO-1000 es un convertidor térmico de uso general. El modelo HTO-1000HC está configurado de fábrica para la eliminación de hidrocarburos ligeros del aire de muestra ambiental. Se usa comúnmente para generar aire cero libre de hidrocarburos.



*Figura 11. ECOTECH HTO-1000*

Tomado de (Hewlett Packard, 2005)

Es un servidor complejo que sirve para almacenar datos (NAS O Isasi), alimentación, refrigeración y administración en una única caja que puede ser implantada en cualquier zona (Hewlett Packard, 2005)



*Figura 12. >HP C-3000*

Tomado de (Hewlett Packard, 2005)

HP P2000 y HP M5L2024 almacenan datos informativos sobre los gases, Meteorología y contaminantes es la metodología utilizada por la REMMAQ y la Secretaría de Ambiente y respaldos de información y sistemas (Secretaría de Ambiente, 2010).

### **3.3 Mecanismo para el análisis de datos**

Como primer paso se obtuvieron los datos de concentraciones diarias de las estaciones meteorológicas mencionadas en la Tabla 2, desde el año 2004 hasta el año 2020 de contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos que se publican de manera actualizada en la página de la Secretaría del Ambiente en el programa de Red de Monitoreo Atmosférico en Quito. A continuación, se utilizó Microsoft Excel para ordenar y procesar todos los datos obtenidos de manera que queden ordenados por horas y por estación estudiada hasta el 30 de abril del 2020. Posteriormente, se realizó el promedio de cada hora y de cada día, es decir se tomó los valores de 0:00 horas de todos los días del mes, después valores de 1:00 horas para todos los días del mes y así sucesivamente con las 24:00 horas del día para los tres meses (febrero, marzo, abril) antes y durante la cuarentena por COVID-19 en todos los años desde el 2004 hasta el 2020.

### **3.4 Procesamiento de datos Promedios, máximos y desviación estándar**

Para la presentación de las tablas y gráficos de promedio y máximos se dividió la toma de datos en cinco fechas estratégicas: i) todo el mes de febrero – el mes en el cual no se ponía en vigencia la cuarentena en la ciudad de Quito; ii) la semana del 14 al 22 de marzo – la semana en la que empezó la cuarentena; iii) la semana del 23 al 29 de marzo – la segunda semana de la cuarentena; iv) la semana del 30 de marzo al 5 de abril – la semana en la cual se intensificaron las medidas de cuarentena; y finalmente v) la última semana del estudio del 6 al 12 de abril, 2020.

Utilizando el mismo principio para obtener los promedios iniciales se obtuvo el promedio de las concentraciones para el año 2020 en las 5 fechas antes mencionadas para cada estación meteorológica (ver Tabla 2), a partir de esos valores promedio se obtuvieron valores máximos y de desviación estándar. Una vez procesados y organizados los datos se realizó gráficos de barras de cada

uno de los contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos utilizando Microsoft Excel. Y finalmente en los gráficos para cada semana y estación se agregó barras de error personalizadas y utilizo como valores los datos obtenidos inicialmente de desviación estándar.

### **3.5 Procesamiento de datos comparación de meses de diferentes años**

Para la presentación se los gráficos de meses de diferentes años, se utilizó el promedio obtenido inicialmente, partiendo de ahí, se realizó otro promedio de cada hora y unificando todas las estaciones de monitoreo atmosférico, es decir se obtuvo el promedio de las 0:00 para (Belisario, Carapungo, Centro Cotocollao el Camal, Guamaní y Los Chillos) y así sucesivamente hasta completar las 23:00 horas del día. Este procedimiento se realizó para los meses de (febrero, marzo y abril) durante todos los años desde el 2004 hasta el 2020 para las contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos. Posteriormente, se acomodó los valores por año y por horas y finalmente se realizó gráficos de dispersión con líneas de tendencia para indicar la correlación entre parámetros atmosféricos.

### **3.6 Procesamiento de datos para comparación entre meses año 2020**

Se realizó el siguiente gráfico obteniendo el promedio de todo un día y todas las estaciones meteorológicas, es decir se seleccionó desde las 0:00 hasta las 23:00 horas y las estaciones (Belisario, Carapungo, Centro Cotocollao el Camal, Guamaní y Los Chillos) para sacar un promedio diario y así sucesivamente con todos los días del mes, en los meses de febrero, marzo y abril del año 2020 para todos los contaminantes atmosféricos, a continuación en Microsoft Excel se ordenó en dos columnas las concentraciones promedio obtenidos y las fechas desde el 1 de febrero hasta el 30 de abril, finalmente, se realizó un gráfico de dispersión con líneas, también se le agregó una línea de tendencia lineal que muestre la ecuación del gráfico y el valor  $R^2$  en el gráfico.

### 3.7 Procesamiento de datos para gráficos de correlación

Para la correlación de datos se definió que contaminante atmosférico se ve directamente influenciado por los parámetros meteorológicos y utilizando el mismo principio definido anteriormente de comparación entre meses del año 2020. Se ordenó los datos en columnas uno de contaminantes atmosféricos y otro de parámetros meteorológicos en Microsoft Excel, posteriormente se seleccionó las dos columnas y se realizó un gráfico de dispersión sin líneas. Adicionalmente, se le agrego una línea de tendencia logarítmica que muestra la ecuación del gráfico y el valor R cuadrado en el gráfico, cabe recalcar que si en la correlación lineal se tiene un valor de  $R^2 < 0.025$  es muy bajo y no correlaciona fuertemente, pero si tiene un valor de  $R^2 > 0.25$  los parámetros tienen una correlación entre ellos.

### 3.8 Métodos estadísticos

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó Microsoft Excel para realizar un análisis de varianza (ANOVA) donde se definió que el p-valor debe estar  $p < 0.05$  para que sea significativo.

El ANOVA se empleó básicamente para verificar si existe alguna diferencia significativa en las concentraciones obtenidas. Mediante esta herramienta se comparó la variabilidad de datos promedio obtenidos en cada año de estudio. Para este estudio todos los datos fueron obtenidos de la Secretaría del Ambiente DMQ, pero la recolección de datos se dio en diferentes estaciones distribuidas por la Ciudad de Quito (Variación entre años de todas las estaciones) y (Contaminantes Atmosféricos). Finalmente, se comparó el aumento y disminución de la concentración de contaminantes en diferentes años en la Ciudad de Quito.

## 4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Medidas de cuarentena de COVID-19

El Presidente de la República del Ecuador Lenin Moreno Garcés dictó el Decreto Ejecutivo 1017 (RO-S 163:17-mar-2020) referente a la “DECLARATORIA DE ESTADO DE EXCEPCIÓN POR CALAMIDAD PÚBLICA EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL POR LOS CASOS DE CORONAVIRUS-COVID-19”.

La emergencia sanitaria fue declarada el 12 de marzo luego de conocerse el primer caso importado de coronavirus el 29 de febrero. A partir del 17 de marzo se restringió la movilidad además de, la suspensión del trabajo presencial que en primera instancia se había mencionado hasta el 31 de marzo. Además, se declaró toque de queda desde las 21h00 horas hasta las 05h00 y la circulación vehicular dependía del último dígito de la placa únicamente un solo día. De igual manera a partir de esta fecha se implementó la suspensión de pasos fronterizos internacionales vía terrestre, marítima y aérea.

A partir del 25 de marzo de 2020 se decretó toque de queda desde las 14h00 hasta las 05h00 del día siguiente aplicado en todo el territorio nacional todos los días.

Desde el 12 de abril se implementó el sistema de semaforización por provincias en donde se definieron las restricciones que rigen en cada territorio para ir retomando las actividades de manera progresiva. Todo el país se mantuvo en semáforo rojo hasta el 31 de mayo. A partir del 1 de junio se declaró que el COE de cada cantón pueda decidir el cambio de color de semáforo de acuerdo a como se lleva la pandemia en cada cantón. El 15 de junio finalizó el primer estado de excepción decretado por el primer mandatario del Ecuador por medio del Decreto 1074 se declara estado de excepción en todo el territorio nacional por 60 días más.

## **4.2 Comparación de datos meteorológicos antes y durante la cuarentena por COVID-19**

### **4.2.1 Temperatura**

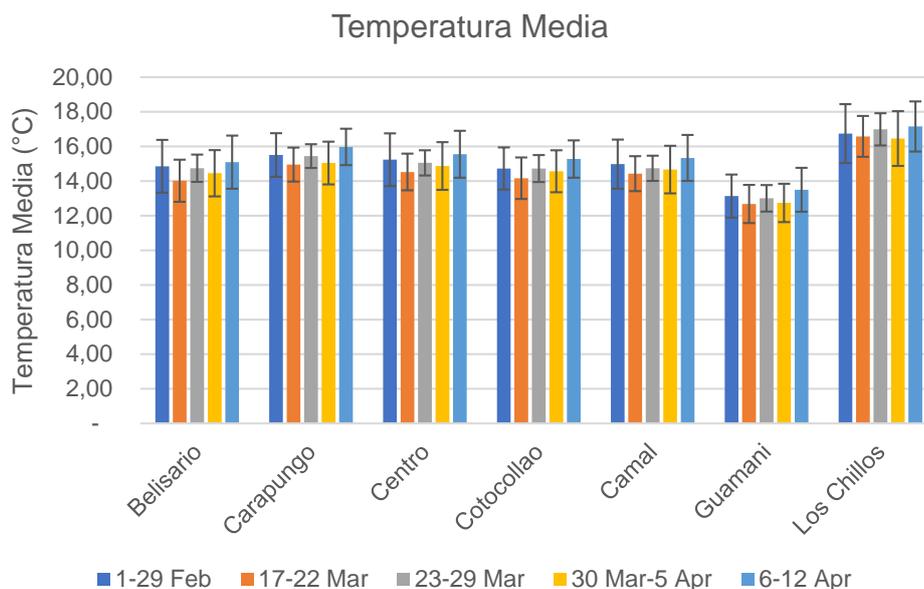
Como se puede observar en Tabla 3 y Figura 14, la semana donde se encontró la mayor temperatura es la cuarta semana de cuarentena, en los días del 6 al 12 de abril, con un promedio total de 15.41°C. Se puede observar que la estación de los Chillos es la que presenta mayor temperatura debido a la diversidad de condiciones geográficas que presenta la ciudad de Quito como su cobertura vegetal, altitud y tipo de suelo. El valle de Los Chillos se encuentra en la altura de 2500 msnm, que causa la más alta temperatura entre las estaciones estudiadas. Según el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI) esto permite que exista humedad lo que incide en la temperatura. Por otro lado, podemos observar que la semana con la temperatura más baja es la del 17 al 22 de marzo en la estación sur de Quito, Guamaní 3000 msnm.

Al igual que en el caso anterior, los resultados obtenidos para temperatura máxima (Tabla 3) muestran datos más elevados en el mes de febrero obteniendo un valor promedio de 17.39°C y el máximo valor se obtuvo en la estación Los Chillos (19.33°C) lo cual concuerda con lo antes mencionado, que este sitio se encuentra en la altura más baja, y la temperatura máxima mínima obtenida fue de 13.91°C en la semana del 23 al 29 de marzo correspondiente a la estación Guamaní. Los valores máximos se encontraron durante el mes de febrero, y los máximos más bajos en la semana de 23-29 de marzo de 2020.

Tabla 3.

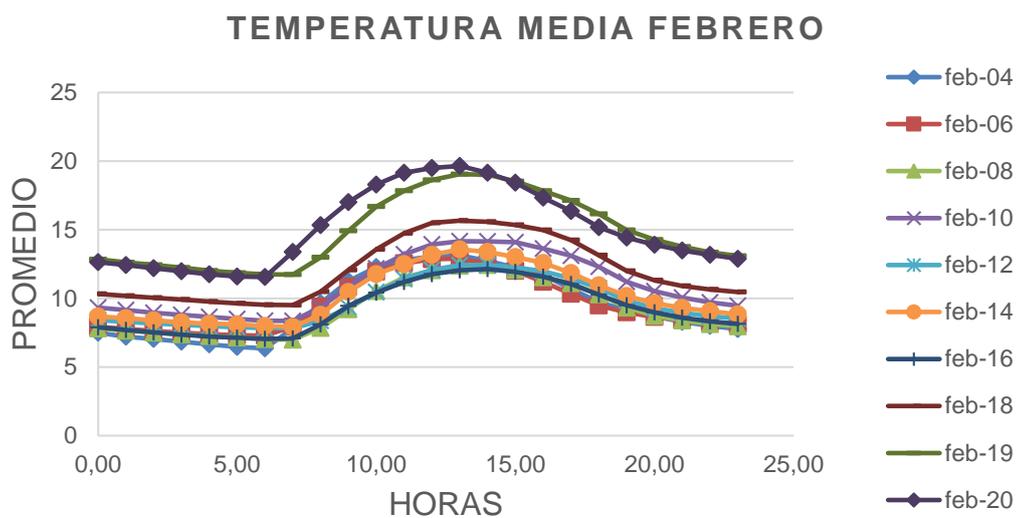
*Promedios de temperatura y temperatura máxima en las semanas antes y durante la cuarentena*

<b>Temperatura Promedio (°C)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	14.85	14.02	14.74	14.45	15.09
Carapungo	15.51	14.95	15.45	15.04	15.97
Centro	15.24	14.53	15.05	14.87	15.55
Cotocollao	14.73	14.16	14.73	14.57	15.27
Camal	14.98	14.43	14.74	14,67	15.34
Guamaní	13.14	12.68	13.00	12,74	13.50
Los Chillos	16.74	16.58	16.99	16,46	17,,5
Promedio de Quito	15.03	14.48	14,96	14,69	15.41
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	17.43	15.38	15.74	16.22	16.81
Carapungo	17.80	16.01	16.24	16.62	17,34
Centro	17.80	15.78	15.92	16.75	17.14
Cotocollao	16.78	15.50	15.61	16.16	16.67
Camal	17.37	15.55	15.61	16.57	16.85
Guamaní	15.21	13.94	13.91	14.38	15.05
Los Chillos	19.33	17.86	18.09	18.67	18.84
Promedio de Quito	17.39	15.72	15.87	16.48	16.96

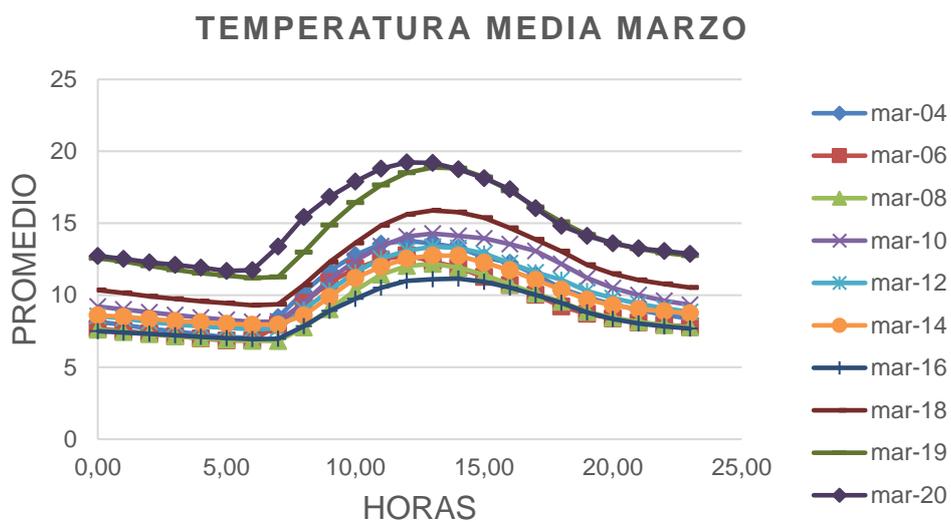


*Figura 13.* Desviación estándar de la temperatura media

Para estudiar la variación anual de la temperatura media horaria se hicieron los análisis para 16 años de febrero (Figura 14), marzo (Figura 15) y abril (Figura 16). El mes abril 2020 es el mes completo que engloba la cuarentena. Se puede observar que los gráficos siguen una constante que no varía de forma significativa y se observa en todos los gráficos una creciente en las horas que va desde las 7:00 horas hasta las 19 horas y su temperatura generalmente varía entre los 6°C a los 20°, aunque esta época de febrero-abril atraviesa por una temporada de lluvia y alta nubosidad. Se puede observar claramente que los años 2019 y 2020 presentan valores elevados en comparación con otros años, esto puede ser debido a las alteraciones climáticas que se han presenciado en los últimos años por el calentamiento global. Además, este análisis nos demuestra, que no hubo ningún cambio entre los meses de este año y la decaída de la contaminación del aire no es por cambios meteorológicos, pero en verdad por la implementación de las medidas de aislamiento social, y por eso la decaída de actividades antropogénicas.



*Figura 14.* Comparación de temperatura media en el mes de febrero de diferentes años.



*Figura 15.* Comparación de temperatura media en el mes de marzo de diferentes años.

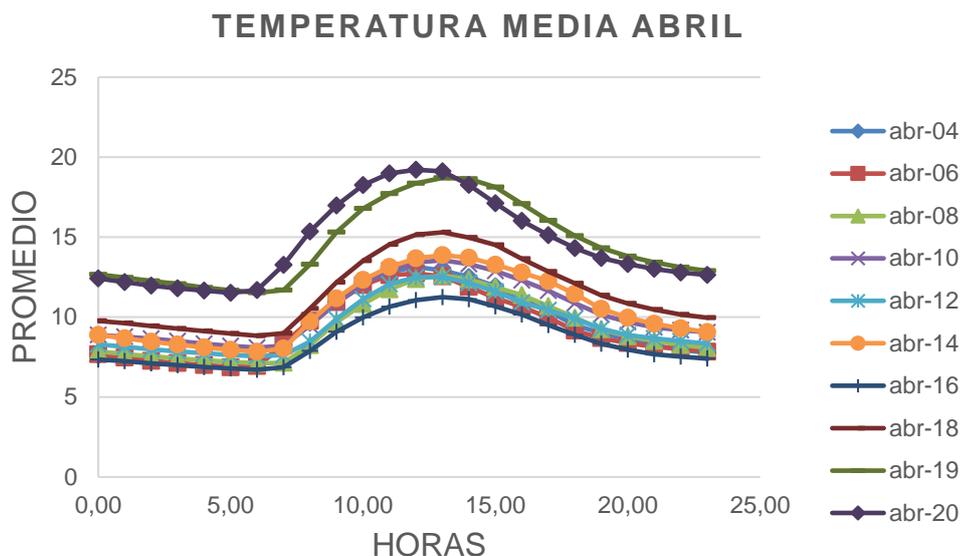


Figura 16. Comparación de temperatura media en el mes de abril de diferentes años.

#### 4.2.2 Velocidad del viento

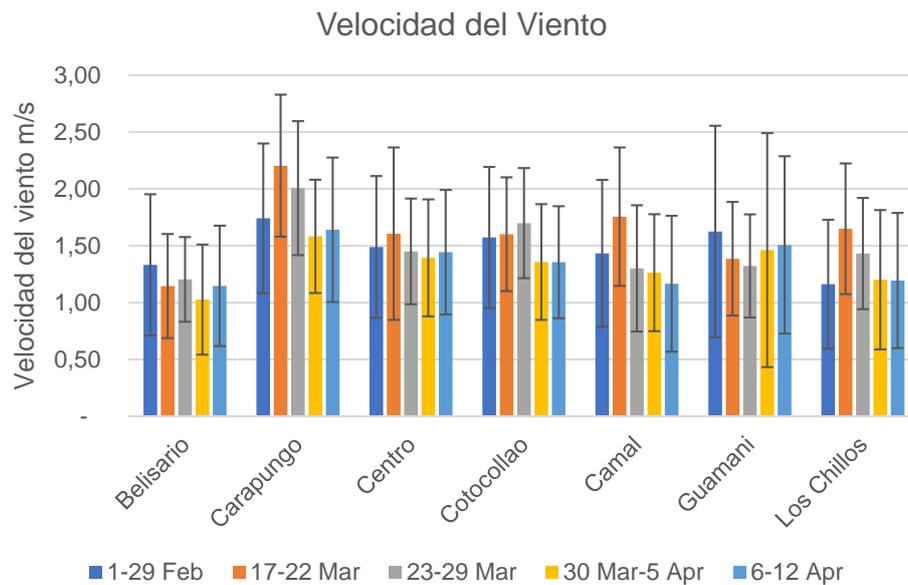
De acuerdo con (Tabla 4 y Figura 15) el promedio de la velocidad del viento fue más alto en la semana del 17 al 22 de marzo, en la primera semana de cuarentena. La estación Carapungo presenta el valor más alto que fue de 1.74 m/s y la estación Belisario presenta el valor más bajo correspondiente a 1.03 m/s en la tercera semana de la cuarentena COVID-19 en 30 de marzo al 5 de abril.

Los valores obtenidos para la velocidad del viento máxima nos indican que fue de 3.83 m/s la misma que se dio en el mes de febrero en la estación de Guamaní y la velocidad máxima mínima se obtuvo en la estación de Belisario con un valor de 1.78 m/s en la semana correspondiente del 23 al 29 de marzo.

Tabla 4.

*Promedios de velocidad del viento y velocidad del viento máxima, semanas antes y durante la cuarentena*

<b>Velocidad de Viento Promedio (m/s)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	1.33	1.15	1.20	1.03	1.15
Carapungo	1.74	2.20	2.01	1.58	1.64
Centro	1.49	1.61	1.45	1.39	1.44
Cotocollao	1.57	1.60	1.70	1.36	1.36
Camal	1.43	1.76	1.30	1.26	1.17
Guamaní	1.62	1.39	1.32	1.46	1.51
Los Chillos Promedio de Quito	1.16	1.65	1.43	1.20	1.19
	1.48	1.62	1.49	1.33	1.35
<b>Velocidad de Viento Max (m/s)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	2.82	1.76	1.78	1.82	1.99
Carapungo	3.07	3.03	2.91	2.31	2.55
Centro	2.87	2.60	2.03	2.10	2.31
Cotocollao	3.01	2.37	2.38	2.15	2.02
Camal	2.90	2.54	2.08	2.01	2.01
Guamaní	3.83	2.04	2.00	3.11	2.73
Los Chillos Promedio de Quito	2.34	2.46	2.18	2.11	1.98
	2.98	2.40	2.19	2.23	2.22

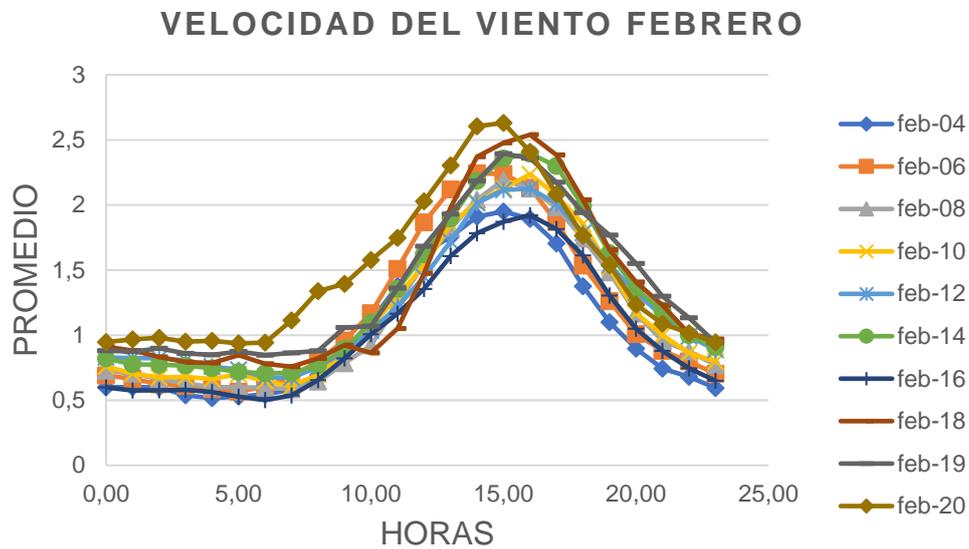


*Figura 17.* Desviación estándar de la velocidad del viento en todas las áreas de Quito.

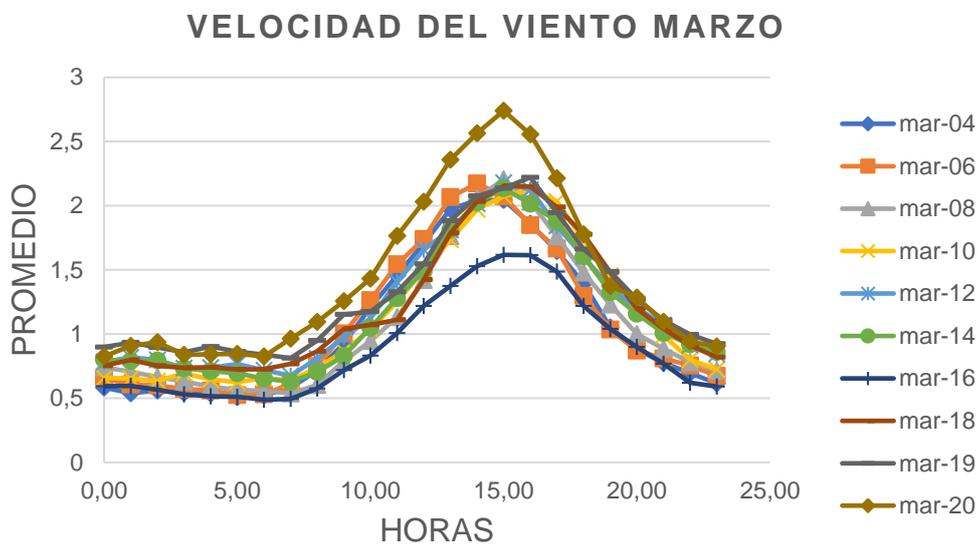
En los siguientes tres gráficos (Figuras 18-20) se puede observar la evolución de la velocidad del viento promedio horaria para los meses febrero-abril en los últimos 16 años. Este tipo de análisis puede ayudar explicar si en este año la velocidad de viento era normal durante los meses de primavera que englobe la época de la cuarentena por COVID-19.

Se puede apreciar que la velocidad de viento poco a poco ha ido aumentando con el pasar los años, donde el pico más alto se da alrededor de las 15h00 horas en todos los años y su creciente inicia alrededor 7h00 horas y decae a las 20h00 horas. También podemos observar que se encuentra en valores que van desde 0.5 m/s hasta 2.6-2.74 m/s y se puede observar que el valor más alto en todos los meses de febrero (Figura 18), marzo (Figura 19) y abril (Figura 20) se da en el año 2020. Una de las observaciones que se puede hacer es que el año 2014 presenta valores elevados justamente en ese año hubo caídas de varios árboles en la ciudad de Quito y se presentó problemas en aeropuertos por retrasos de vuelos el incremento de la velocidad del viento puede causar afectación a la

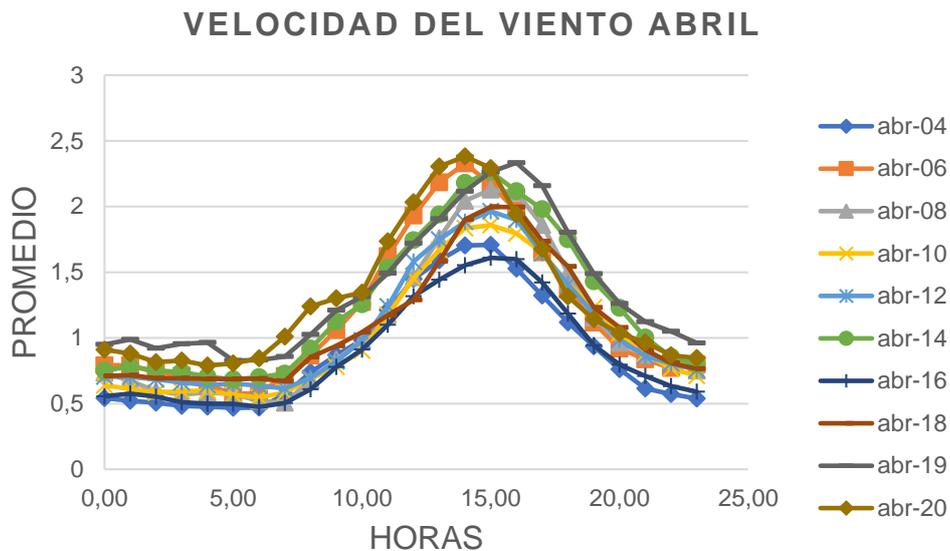
salud de las personas ya que puede levantar espesas capas de polvo y trasladar contaminantes distancias largas.



*Figura 18.* Comparación de velocidad del viento en el mes de febrero de diferentes años.



*Figura 19.* Comparación de velocidad del viento en el mes de marzo de diferentes años.



*Figura 20.* Comparación de velocidad del viento en el mes de abril de diferentes años.

Este análisis nos demuestra que con años la velocidad de viento está aumentando, sugiriendo el efecto de cambio climático. Además, el hecho que entre los abril de 2019 y 2020 y entre febrero y abril de 2020 la velocidad de viento no varía tanto, que nos ayuda entender que la decaída de concentraciones de los contaminantes atmosféricos se da por el efecto de las medidas de la cuarentena, y no tanto por los cambios en condiciones meteorológicas.

#### 4.2.3 Radiación solar

En cuanto a la radiación solar se obtuvo un promedio más elevado en la primera semana de cuarentena del 17 al 22 de marzo con un promedio de  $274.54 \text{ W/m}^2$  siendo la estación del Camal la que recibió el valor más elevado, esto en comparación a la estación de Guamaní en donde se obtuvo un valor inferior en la misma semana  $171.03 \text{ W/m}^2$  (Tabla 5 y Figura 21).

Los datos que se muestran en Tabla 5 indican también los valores máximos de radiación solar siendo el más alto obtenido en la estación de Cotocollao en el

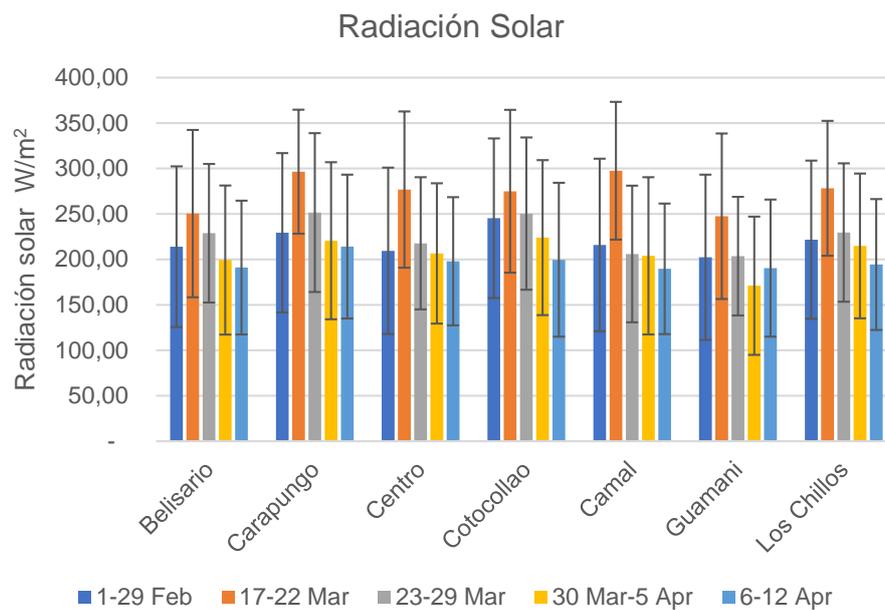
mes de febrero con un valor correspondiente a  $366.74 \text{ W/m}^2$  en comparación con el valor mínimo observado que fue de  $295.04 \text{ W/m}^2$  en la estación del Camal en la semana del 6 al 12 de abril. También se puede apreciar que la radiación más alta está en la semana de 17-22 de marzo, la época de equinoccio de primavera (Tabla 5, Figura 21). En estas fechas, el ángulo del sol en la latitud de Ecuador se encuentra en su máximo ( $90^\circ$ ), y con baja cobertura de las nubes se esperaría la máxima radiación durante el año.

Tabla 5.

*Promedios de radiación solar y radiación solar máxima semanas antes y después de la cuarentena.*

<b>Radiación Solar Promedio (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	213.93	250.38	228.80	199.33	191.04
Carapungo	229.34	296.44	251.47	220.49	214.06
Centro	209.43	276.84	217.67	206.53	197.96
Cotocollao	245.33	274.90	250.35	223.94	199.56
Camal	215.88	297.55	205.92	203.88	189.61
Guamaní	202.32	247.47	203.57	171.03	190.36
Los Chillos	221.68	278.22	229.52	214.80	194.37
Promedio de Quito	219.70	274.54	226.76	205.71	196.71
<b>Radiación Solar Max (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	337.46	341.17	326.23	314.13	301.05
Carapungo	347.47	360.93	348.49	325.43	325.61
Centro	348.59	355.32	310.80	321.13	298.73
Cotocollao	366.74	361.02	351.64	340.02	317.35

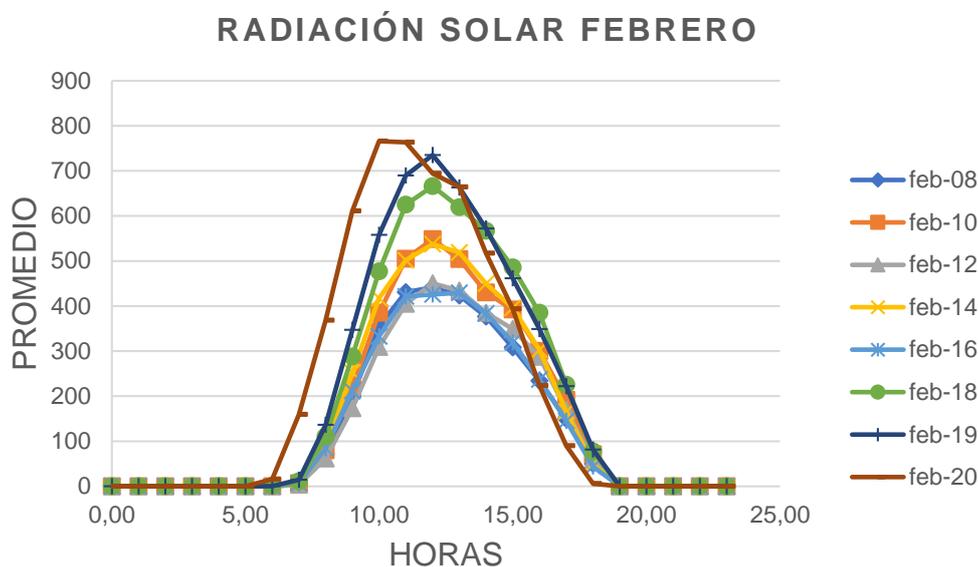
Camal	350.39	360.23	314.84	327.72	295.04
Guamaní	345.73	342.82	293.59	284.89	302.13
Los Chillos	335.04	352.84	320.12	326.17	303.05
Promedio de Quito	347.35	353.48	323.67	319.93	306.14



*Figura 21.* Desviación estándar de la radiación solar de todas las estaciones.

Para estudiar la variación de radiación solar horaria se realizó un análisis de 16 años para los meses de febrero, marzo y abril (Figuras 22-24), donde se observa que el año 2020 para todos los meses presenta incrementos notorios respecto a otros años lo que nos ayuda a entender que el aumento de algunos contaminantes atmosféricos para el año 2020 se podría dar por efecto de estas condiciones meteorológicas más que por las medidas de cuarentena, como por ejemplo O<sub>3</sub>, cual es el contaminante fotoquímico secundario (ver Capítulo 4.3.4 y Anexo 4).

Se puede apreciar en los gráficos de radiación solar que el pico más alto se da de 10:00 horas a 14:00 horas siendo febrero del 2020 el valor más alto con 768.9 W/m<sup>2</sup>, y el año 2016 tiene los valores más bajos lo que concuerda con los gráficos de temperatura que el año 2016 fue un año más frío. Esto se puede explicar con el hecho que 2015-2016 era el año de el niño y durante este fenómeno la zona ecuatorial del pacifico está más lluviosa y nubosa que causa menor recepción de radiación a la superficie y baja de temperatura ambiental. También se puede observar cómo al pasar los años la radiación solar aumenta, lo que concuerda con las advertencias del (INAMHI) del aumento de radiación ultravioleta que llega desde el sol, en los últimos años pese a que es un mes de invierno y de época lluviosa la radiación solar ha ido aumentando según (INAMHI) esto se debe a que los cielos tienen poca nubosidad lo que permite mayor ingreso de radiación, en especial en los años 2019 y 2020 la radiación es extremadamente alta es por eso que es necesario tener cuidado y buscar sombra entre las horas de mayor radiación que son de 10:00 horas hasta la 16:00 horas.



*Figura 22.* Comparación de radiación solar en el mes de febrero de diferentes años.

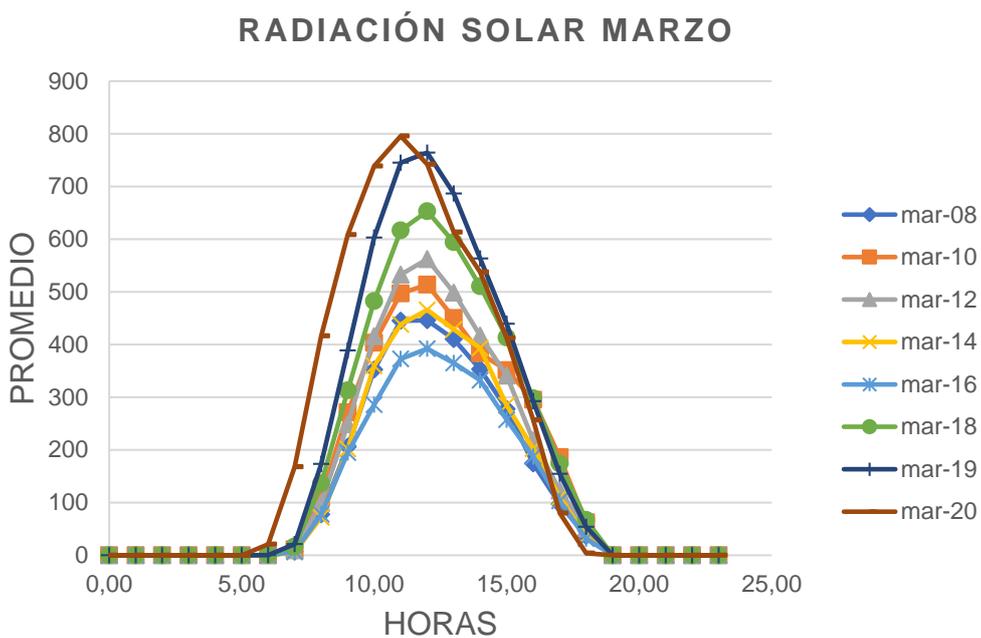


Figura 23. Comparación de radiación solar en el mes de marzo de diferentes años.

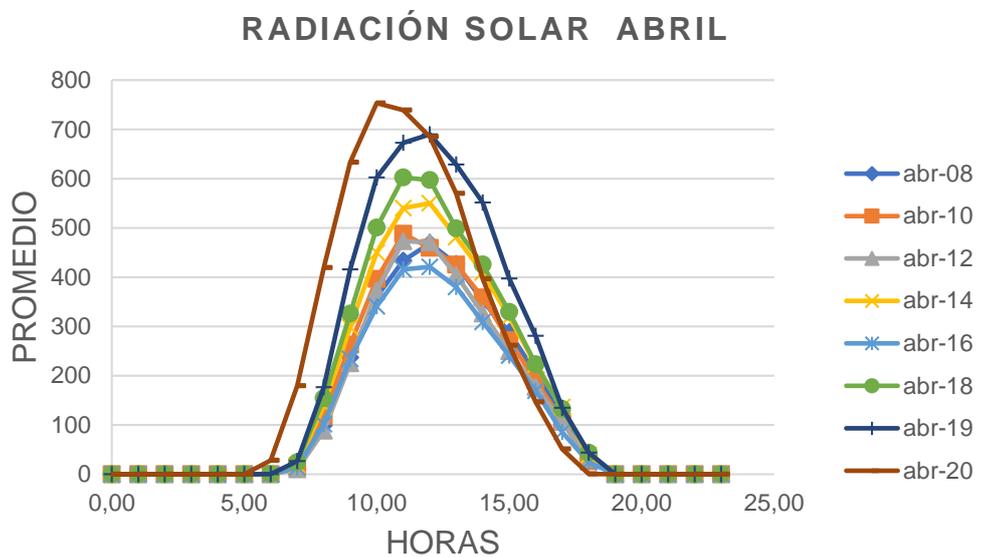


Figura 24. Comparación de radiación solar en el mes de abril de diferentes años.

#### 4.2.4 Precipitación

En (Tabla 6 y Figura 17) se puede observar los resultados promedio en cuanto a la precipitación observada en las diferentes estaciones en donde se obtuvo un promedio más alto 0.33 mm en la semana correspondiente del 6 al 12 de abril. Mientras en la semana del 17 al 22 de marzo se obtuvo el menor valor, esto confirma nuestros resultados de 4.2.3 donde la radiación solar más alta se encuentra en esta semana (Figura 16), significando menor formación de nubes y la mejora en reacciones fotoquímicas. La estación que presentó el valor más elevado fue la de Guamaní con un valor de 0.56 mm. Estos valores confirman que en principios de abril entramos en la época más lluviosa del año. Además, la zona sur de la ciudad de Quito normalmente es la parte más lluviosa de la ciudad. En esta semana en el sur de Quito se reportaron inundaciones en la ciudad.

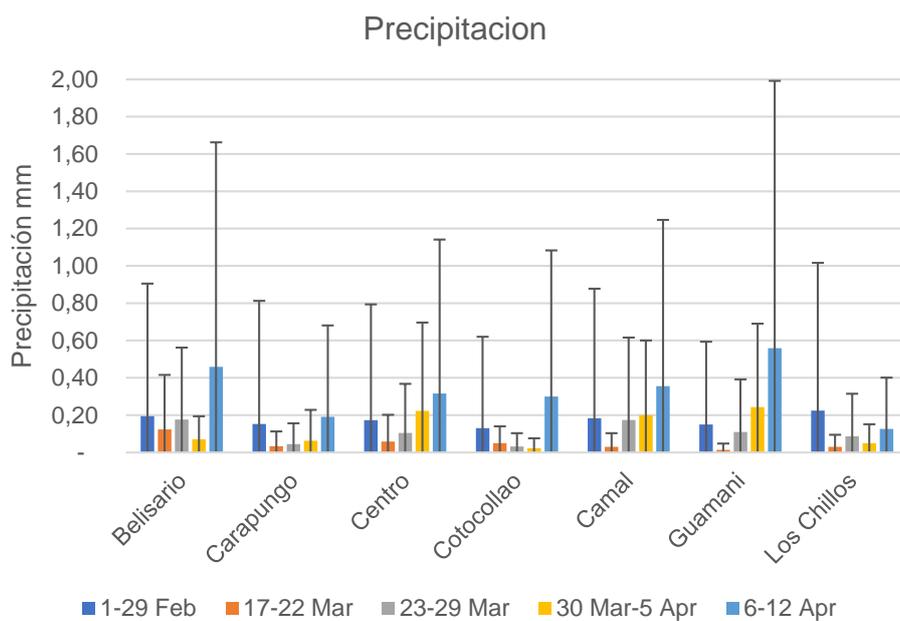
Los valores de precipitación máxima también se muestran en Tabla 6 en donde el valor máximo fue de 3.93 mm para la estación de Los Chillos durante el mes de 1 al 29 de febrero y el valor máximo mínimo de precipitación se presentó en la estación de Guamaní durante la semana del 17 al 22 de marzo con un valor de 0.08 mm.

Tabla 6.

*Promedios de precipitación y precipitación máxima semanas antes y después de la cuarentena.*

PROMEDIO Precipitación Promedio (mm)	30 Mar-5		6-12 Apr		
	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	Apr	
Belisario	0.19	0.12	0.18	0.07	0.46
Carapungo	0.15	0.03	0.04	0.06	0.19
Centro	0.17	0.06	0.10	0.22	0.32
Cotocollao	0.13	0.05	0.03	0.02	0.30

Camal	0.18	0.03	0.17	0.20	0.36
Guamaní	0.15	0.01	0.11	0.24	0.56
Los Chillos	0.22	0.03	0.09	0.05	0.13
Promedio de Quito	0.17	0.05	0.10	0.12	0.33
<b>MAX Precipitación Max (mm)</b>					
	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	3.33	0.72	1.00	0.30	3.19
Carapungo	3.40	0.20	0.30	0.44	1.30
Centro	3.01	0.35	0.69	1.27	2.18
Cotocollao	2.45	0.22	0.18	0.14	2.07
Camal	3.52	0.18	1.16	1.05	2.36
Guamaní	2.07	0.08	0.75	1.20	3.78
Los Chillos	3.93	0.16	0.60	0.26	0.73
Promedio de Quito	3.10	0.27	0.67	0.67	2.23



*Figura 25. Desviación estándar de la radiación solar en todas las estaciones*

Se puede observar en Figuras 26-28 la extensa variabilidad que tiene la precipitación respecto a los 16 años estudiados, donde muestra que el mes de febrero-abril para el 2020 fueron de abundante precipitación lo que nos ayuda a explicar que la precipitación ha mostrado cambios notorios en las estaciones climáticas de cada mes debido al calentamiento global y nos muestra que aumento durante la época de cuarentena.

Para los gráficos de precipitación podemos observar que se tienen datos muy variables donde el pico más alto se dio en abril 2020 con un valor de 1.3 mm que supera por mucho a los demás años y meses. Estos valores elevados se presentan debido a que estos meses son de estaciones de invierno, según el Inamhi las lluvias se ven influenciadas por los vientos cargados con nubes que llegan de la Amazonía lo cual concuerda con los reportes (Figura 18-20) de aumento de velocidad del viento. Además, la mayor precipitación se da entre las 15:00 horas y se mantiene elevados hasta la 4:00 horas lo cual indica precipitaciones altas dominando en las noches y madrugadas. Además, este análisis nos muestra que no hubo cambios significativos entre meses de este año. Esto aporta que los cambios en niveles de contaminación atmosférica no son por este factor meteorológico, pero más bien por las medidas de confinamiento y aislamiento social.

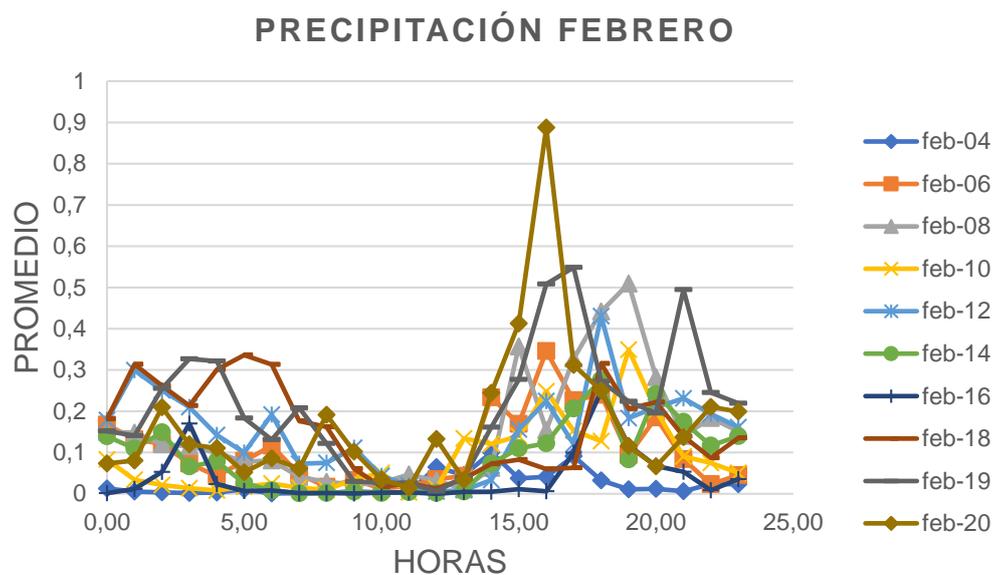


Figura 26. Comparación de precipitación en el mes de febrero de diferentes años.

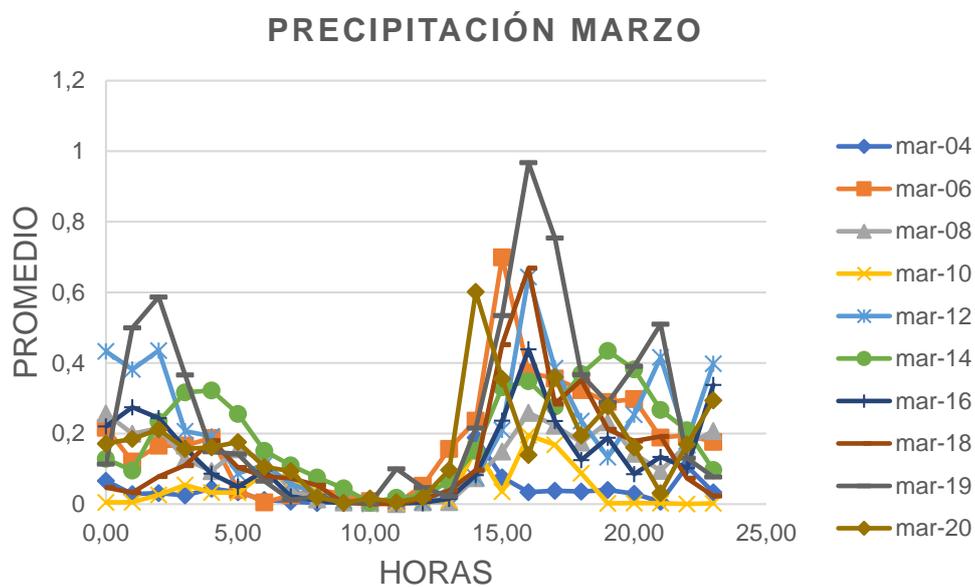


Figura 27. Comparación de precipitación en el mes de marzo de diferentes años.

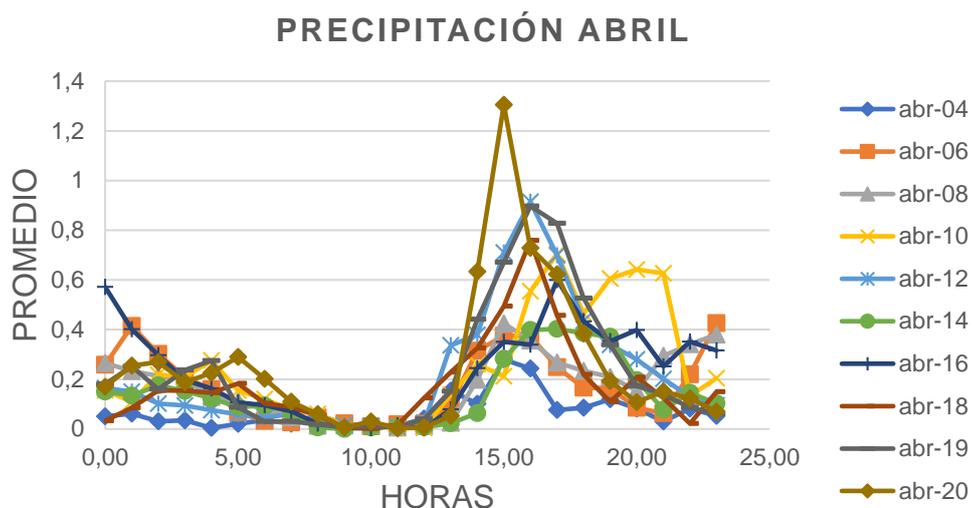


Figura 28. Comparación de precipitación en el mes de abril de diferentes años.

#### 4.2.5 Humedad relativa

En cuanto al parámetro de humedad relativa se obtuvo un promedio elevado de 77.88 % en la semana del 30 de marzo al 5 de abril siendo la estación de Carapungo la que obtuvo el valor más elevado 81.48% (Tabla 7 y Figura 29). En comparación con el valor mínimo que se presentó en el mes de febrero con un valor de 71.68% siendo la estación del Centro la que obtuvo los valores mínimos 68.01%.

Los valores de humedad relativa máxima se muestran en Tabla 7 teniendo un valor máximo promedio de 92.39 % en el mes de febrero, siendo la estación de Guamaní la que presentó el resultado más elevado 94.97% por otro lado estación del Camal presentó el valor mínimo de 79.00% en la semana del 17 al 22 de marzo.

Tabla 7.

*Promedios de humedad relativa y humedad relativa máxima semanas antes y después de la cuarentena.*

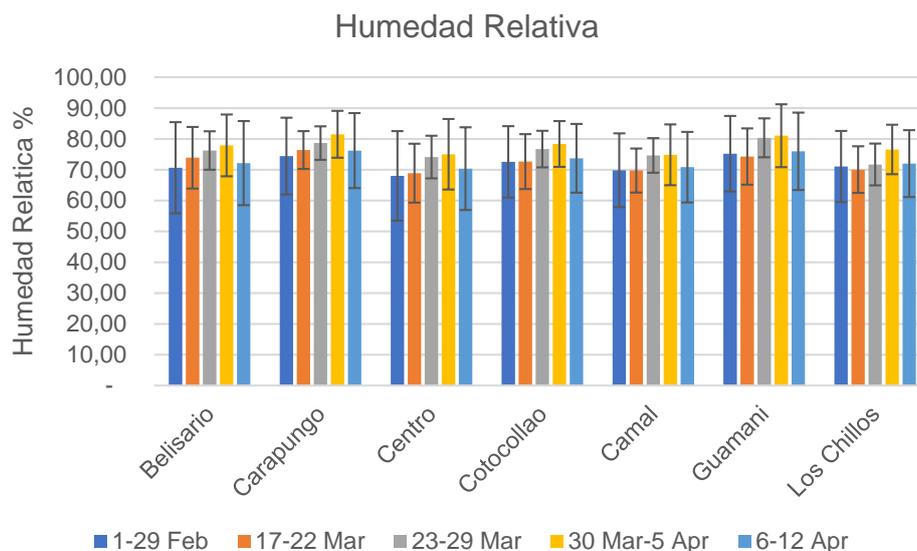
---

**PROMEDIO**

<b>Humedad Relativa Promedio (%)</b>	<b>1-29 Feb</b>	<b>17-22 Mar</b>	<b>23-29 Mar</b>	<b>30 Mar-5 Apr</b>	<b>6-12 Apr</b>
Belisario	70.65	73.90	76.24	77.88	72.14
Carapungo	74.42	76.40	78.66	81.48	76.20
Centro	68.01	68.88	74.11	75.02	70.36
Cotacollao	72.57	72.66	76.71	78.37	73.70
Camal	69.84	69.76	74.63	74.84	70.83
Guamaní	75.22	74.26	80.35	81.03	75.97
Los Chillos Promedio de Quito	71.05 71.68	70.04 72.27	71.71 76.06	76.56 77.88	71.97 73.03

<b>MAX Humedad Relativa Max (%)</b>	<b>1-29 Feb</b>	<b>17-22 Mar</b>	<b>23-29 Mar</b>	<b>30 Mar-5 Apr</b>	<b>6-12 Apr</b>
Belisario	94.09	86.87	83.91	90.24	90.69
Carapungo	93.52	85.07	85.64	90.22	89.95
Centro	91.44	81.17	82.27	88.63	87.91
Cotacollao	91.44	83.96	83.75	87.10	87.04
Camal	89.76	79.00	81.64	86.07	85.81
Guamaní	94.97	85.18	88.47	91.56	92.70
Los Chillos Promedio de Quito	91.51 92.39	79.59 82.98	82.27 83.99	85.56 88.48	86.03 88.59

---



*Figura 29.* Desviación estándar de la humedad relativa de todas las estaciones.

Mediante el análisis anual podemos observar que el parámetro meteorológico de humedad relativa no ha variado de manera significativa con el pasar de los años. Podemos ver en los gráficos (Figuras 30-32) que se mantienen valores similares y se puede observar como los niveles se mantienen en un rango de 50 a 90% entre las 0:00 horas a las 6:00 horas y empiezan a decaer a partir de las 7:00 horas alcanzando un rango de entre 25 a 55% y vuelven a subir a partir de las 20:00 horas. También se puede observar que los niveles más altos de humedad se dan en los años 2019 y 2020 y el valor más bajo o seco se dio en año 2016. La humedad varía lentamente y se diferencia de la temperatura que presenta variaciones fuertes entre el día y la noche, es así que cuando la temperatura baja en la noche, si por el día es húmedo en la noche también va ser húmedo. Para tener un ambiente agradable la temperatura debe estar en 40 y 70% y la ciudad de Quito cumple con ese rango en algunas a excepción de los años 2019 y 2020 ya que sus valores sobrepasan el rango ideal.

Finalmente, se puede decir que los valores de humedad relativa no varían entre los meses de estudio (febrero-abril, 2020) indicando que el cambio producido en

la contaminación atmosférica no es por este factor meteorológico sino por la cuarentena obligatoria.

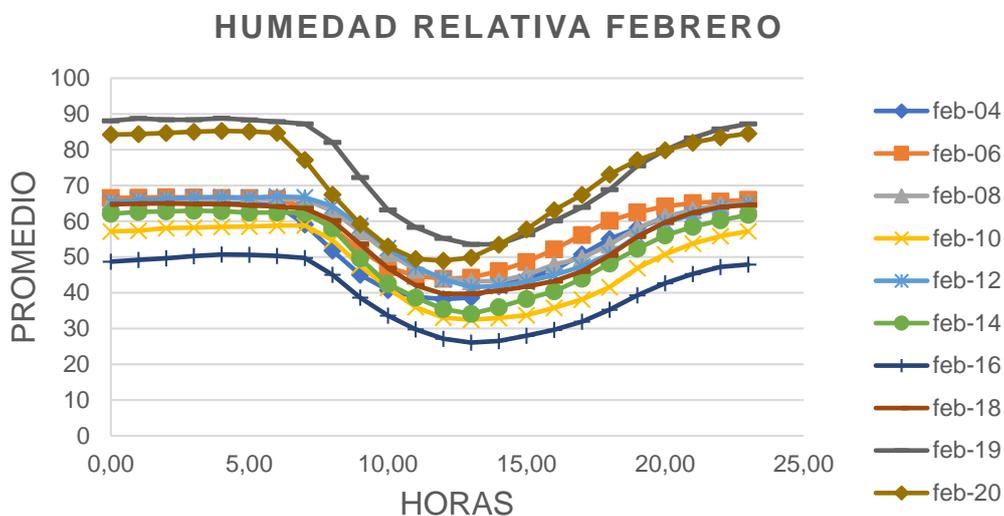


Figura 30. Comparación de humedad relativa en el mes de febrero de diferentes años.

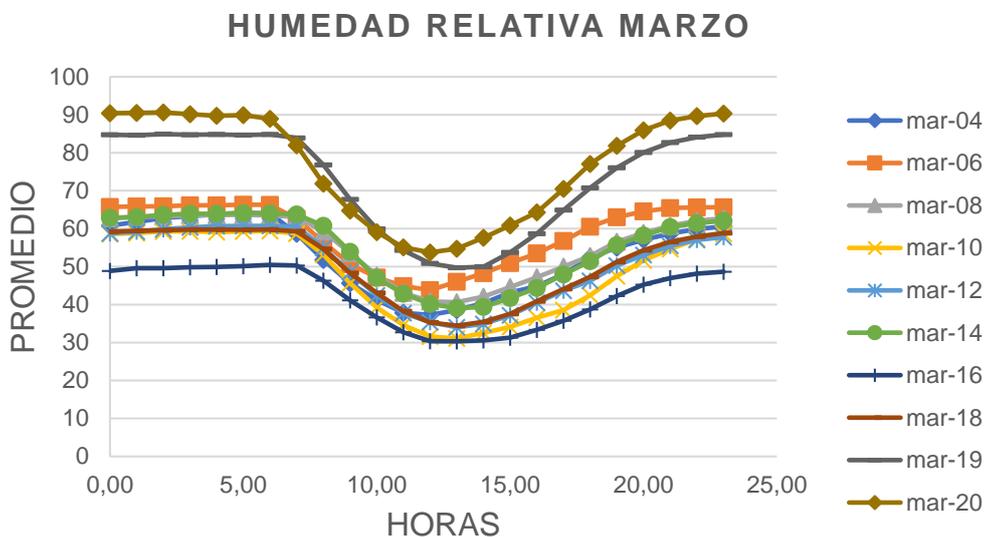


Figura 31. Comparación de humedad relativa en el mes de marzo de diferentes años.

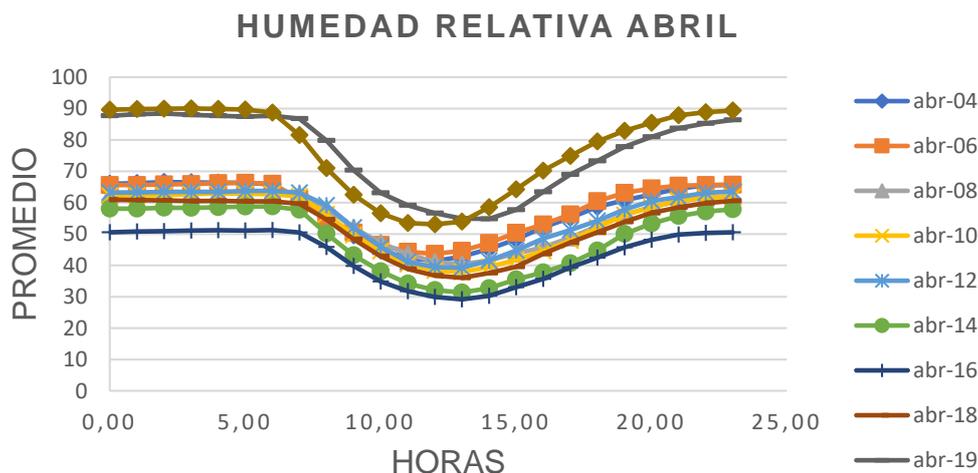


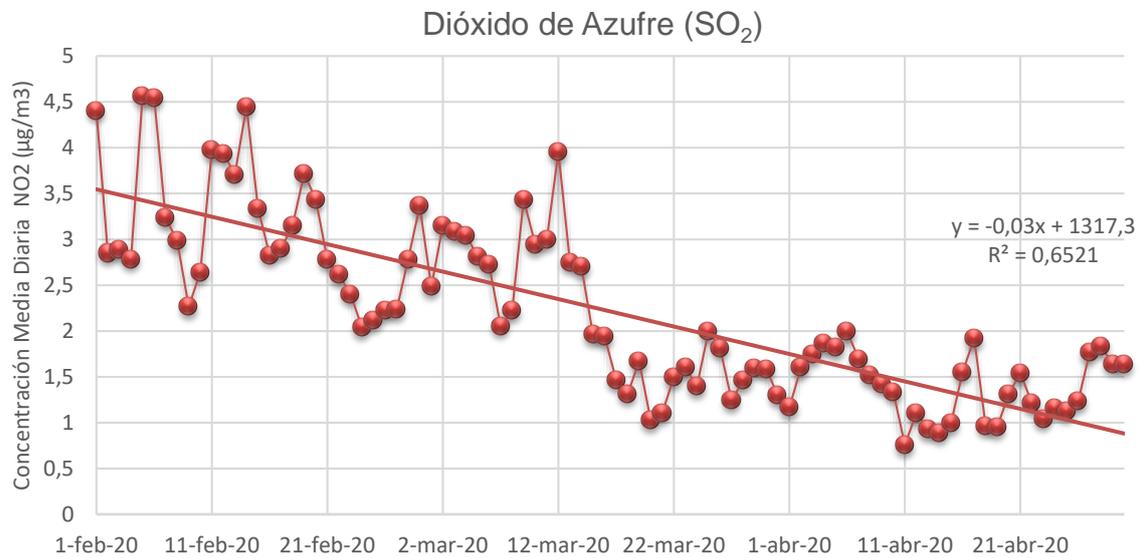
Figura 32. Comparación de humedad relativa en el mes de abril de diferentes años.

### 4.3 Comparación de datos de contaminantes atmosféricos antes y durante la cuarentena por COVID-19

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

Analizando el comportamiento de los promedios de 24-horas desde el mes de febrero hasta finales de abril de 2020, podemos observar una considerable decaída de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la ciudad de Quito (Figura 32). Para el primero de febrero se inició con una concentración de 4.40 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> en el proceso se ve notablemente cómo va decayendo constantemente hasta el 12 de marzo que vuelve a subir a un valor de 3.95 µg/m<sup>3</sup> a partir de esa fecha la concentración va decayendo más, llegando un valor mínimo de 0.75 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>. Esto es unos días antes de la implementación de la cuarentena, cuando el crecimiento de los casos de COVID-19 empieza a seguir el comportamiento exponencial. Después de algunas semanas de la cuarentena en el 11 de abril hasta el 30 de abril, que es hasta donde dura el estudio, llega a un valor de 1.63 µg/m<sup>3</sup> denotando una decaída importante de 2.77 µg/m<sup>3</sup> de concentración de SO<sub>2</sub>, valores que indican claramente que toda la contaminación atmosférica con

la que se convivía a diario ha ido en decrecimiento producto del confinamiento a causa del COVID-19.



*Figura 33.* Análisis de concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> de 24 horas del día desde el 1 de febrero hasta el 30 de abril de 2020.

Como se puede observar en análisis espacial para cada sitio de estudio (Tabla 8 y Figura 33), la concentración más alta de SO<sub>2</sub> se obtuvo antes de la implementación de la cuarentena, siendo la estación de los Chillos la que presentó el valor más alto 5.091 µg/m<sup>3</sup>. Mientras en la estación de Guamaní se obtuvo un valor mínimo de 0.502 µg/m<sup>3</sup> correspondiente a la primera semana de la cuarentena del 17-22 de marzo, 2020. Esto muestra que las concentraciones de SO<sub>2</sub> estuvieron mucho más altas en el mes de febrero a condiciones “normales” lo que corresponde al mes antes de la implementación de las medidas de aislamiento social por COVID-19 (Figura 33). Así, durante la primera semana de la cuarentena se puede ver la decaída de la contaminación por SO<sub>2</sub>, que es el resultado de la quema de combustibles fósiles en motores móviles e industrias. Estas tendencias de decaída de los niveles de contaminación se pueden observar en todas las semanas siguientes, por la implementación de las medidas más y más estrictas de movilización en la ciudad (Figura 33).

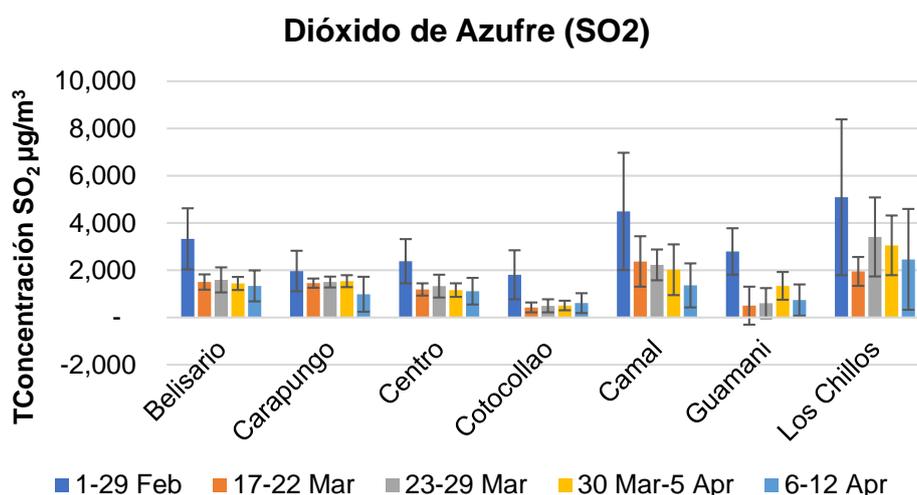
En cuanto a la concentración de SO<sub>2</sub> máxima obtenida durante el periodo de estudio, eso también fue durante 1 al 29 de febrero de 2020. Es así que la estación de los Chillos presentó una concentración de 16.347 µg/m<sup>3</sup> en comparación con la estación de Cotocollao en donde se presentó una concentración más alta mínima de 0.740 µg/m<sup>3</sup> en la primera semana de la cuarentena. La concentración más alta por SO<sub>2</sub> en Los Chillos es porque esta estación está colocada cerca de la planta termoeléctrica, cual para la producción de electricidad utiliza crudo de petróleo, un combustible altamente contaminante.

Tabla 8.

*Promedios de SO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> máxima semanas antes y después de la cuarentena*

<b>Concentración</b>					
<b>SO<sub>2</sub> promedio</b>					
(µg/m <sup>3</sup> )	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	3.327	1.501	1.593	1.441	1.339
Carapungo	1.966	1.454	1.501	1.537	0.984
Centro	2.385	1.187	1.329	1.157	1.113
Cotocollao	1.808	0.425	0.493	0.507	0.609
Camal	4.489	2.371	2.229	2.022	1.359
Guamaní	2.794	0.502	0.605	1.336	0.739
Los Chillos	5.091	1.948	3.410	3.054	2.457
Promedio de					
Quito	3.123	1.341	1.594	1.579	1.228
<b>Concentración</b>					
<b>SO<sub>2</sub> máxima</b>					
(µg/m <sup>3</sup> )	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	6.857	1.980	2.568	1.839	2.085
Carapungo	4.817	1.743	1.857	1.940	2.249
Centro	5.099	1.583	2.215	1.621	1.836
Cotocollao	4.685	0.740	0.976	0.840	1.307

Camal	11.443	4.023	3.402	3.300	2.859
Guamaní	5.804	1.892	1.742	2.138	2.013
Los Chillos	16.347	2.930	6.638	5.398	6.177
Promedio de					
Quito	7.865	2.127	2.771	2.439	2.646



*Figura 34.* Desviación estándar de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de todas las estaciones estudiadas.

Finalmente, la (Figura 34) demuestra una decaída considerable de contaminante para el año 2020 para el mes de abril alcanzando un valor máximo de 2.47 µg/m<sup>3</sup> que es más de la mitad en comparación al mes de febrero (Anexo 1). Este valor se debe a la cuarentena realizada en el país y a la limitación de producción y movilización en todos los sectores estratégicos del Ecuador. La decaída comparada con todos los años atrás es muy notable y el contaminante se encuentra por sobre mucho bajo el límite permisible de calidad de aire.

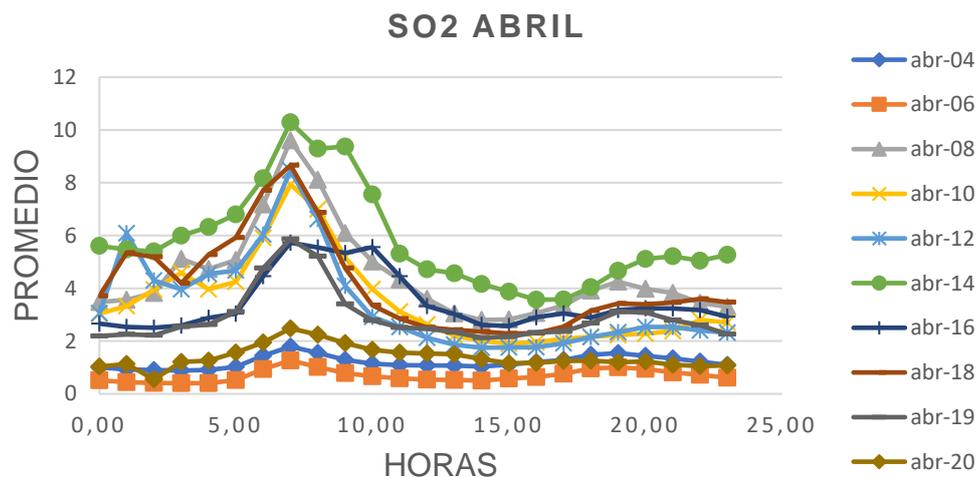


Figura 35. Comparación de Dióxido de azufre en el mes de abril de diferentes años.

Se corrió un ANOVA para estudiar la significancia de la diferencia entre el año 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (un año normal). Como se muestra en la Tabla 1 el comportamiento diario de SO<sub>2</sub> en el mes de abril entre dos diferentes años es significativamente diferente  $p < 0.001$ ,  $F = 121.7$ .

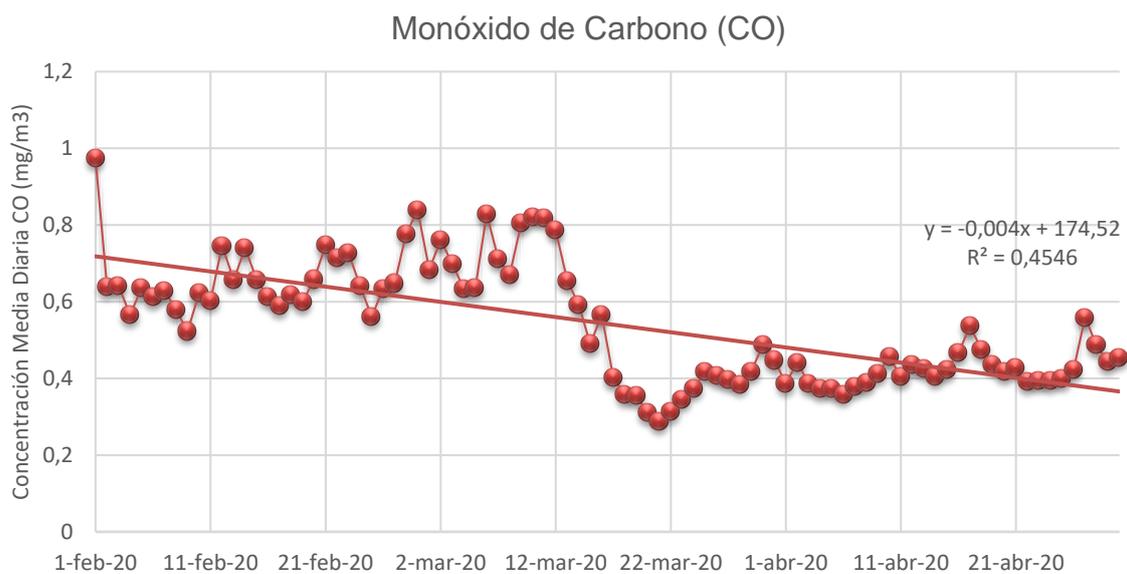
Tabla 9.

Cuadro de análisis de varianza para SO<sub>2</sub> para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	21,4991		0,93474	4,11529	0,000616	2,01442
Filas	642	23	627	479	76	484
Columnas	27,6338	1	27,6338	121,660	1,1657E-10	4,27934
Error	5,22420	23	0,22713	956		
Total	54,3571	47				

### 4.3.2 Monóxido de carbono (CO)

En el siguiente gráfico se puede observar un decaída drástica del contaminante ya que se inicia en febrero con un valor de  $0.97 \text{ mg/m}^3$  de CO en el mismo mes antes de empezar el confinamiento se llega a un valor mínimo de  $0.52 \text{ mg/m}^3$ , después en el mes de marzo los valores son mucho menores en comparación al mes de febrero y se presentan altas y bajas hasta el 21 de marzo que llega a un valor mínimo de  $0.28 \text{ mg/m}^3$ , ya para el mes de abril todos los valores de concentración de CO son bajos y se termina el mes de abril con un valor de  $0.45 \text{ mg/m}^3$  valor que es menos de la mitad comparado con el mes de febrero lo que indica una línea de tendencia que disminuye de manera importante el contaminante con una valor de  $R^2 = 0.4546$ .



*Figura 36.* Análisis de concentraciones promedio de CO de 24 horas del día desde el primero de febrero hasta el 30 de abril.

De acuerdo con los datos obtenido para el CO (tabla 10) los valores más elevados se presentaron en el mes de febrero con una concentración promedio de  $0.658 \text{ mg/m}^3$  siendo  $0.856 \text{ mg/m}^3$  la concentración más elevada y que

corresponde a la estación de El Camal. La menor concentración para este contaminante fue determinada en la semana del 17 al 22 de marzo en la estación de Guamaní con un valor de 0.245 mg/m<sup>3</sup>.

Para las concentraciones máximas el valor más alto fue determinado en el mes de febrero siendo la estación del Camal la que presentó el valor más alto 1.712 mg/m<sup>3</sup> y la concentración máxima mínima se obtuvo de igual manera en la Estación de Guamaní con un valor de 0.313 mg/m<sup>3</sup> en la semana del 17 al 22 de marzo.

Tabla 10.

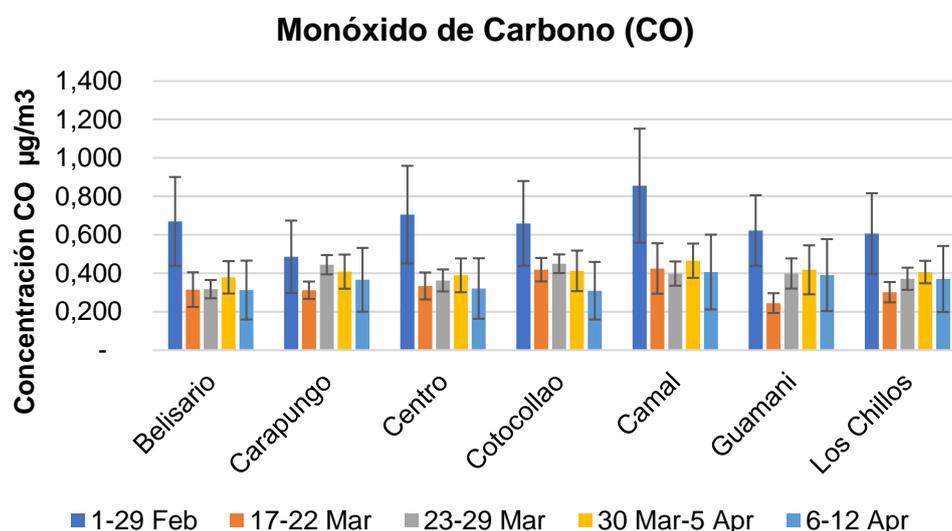
*Promedio de Monóxido de Carbono (CO) y Monóxido de Carbono (CO) máxima semanas antes y después de la cuarentena.*

PROMEDIO					
<b>Concentración</b>					
<b>CO promedio</b>					
<b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	0.670	0.315	0.318	0.379	0.313
Carapungo	0.486	0.312	0.444	0.409	0.366
Centro	0.705	0.334	0.363	0.390	0.321
Cotocollao	0.659	0.419	0.450	0.413	0.310
Camal	0.856	0.425	0.399	0.466	0.407
Guamaní	0.622	0.245	0.399	0.418	0.391
Los Chillos	0.607	0.302	0.371	0.407	0.371
Promedio de					
Quito	0.658	0.336	0.392	0.412	0.354

MAX					
<b>Concentración</b>					
<b>CO máxima</b>					
<b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr

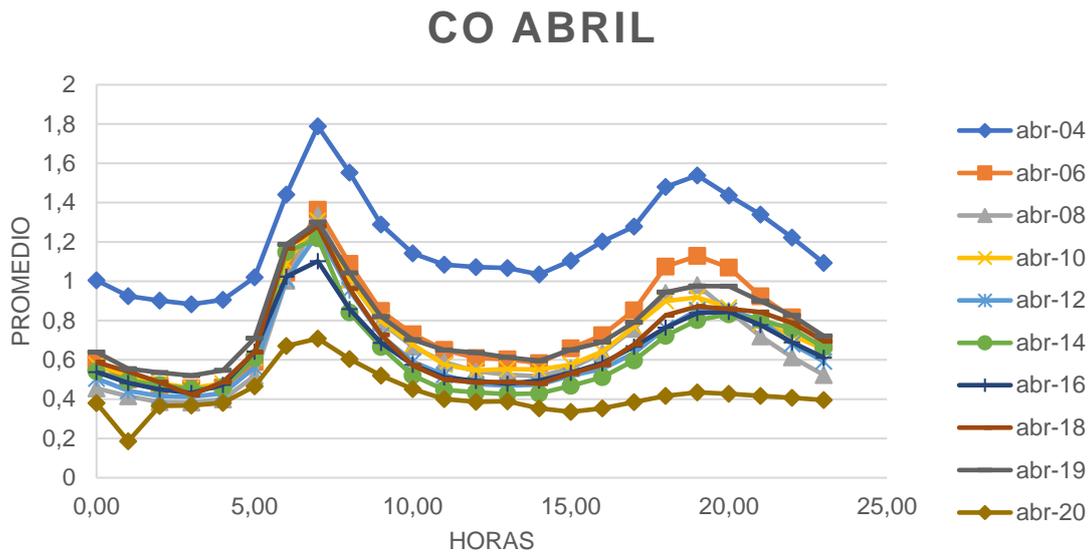
Belisario	1.294	0.458	0.388	0.509	0.482
Carapungo	0.956	0.381	0.508	0.568	0.515
Centro	1.378	0.443	0.458	0.522	0.494
Cotocollao	1.238	0.510	0.520	0.581	0.481
Camal	1.712	0.608	0.489	0.605	0.603
Guamaní	1.150	0.313	0.500	0.586	0.602
Los Chillos	1.152	0.381	0.457	0.480	0.532
Promedio de					
Quito	1.269	0.442	0.474	0.550	0.530



*Figura 37.* Desviación estándar de monóxido de carbono (CO) de todas las estaciones estudiadas.

Finalmente, en el mes de abril para el año 2020 (Figura 36) la disminución es aún más notoria alcanzando un pico máximo de  $0.70 \text{ mg}/\text{m}^3$  que comparado con el mes de febrero (Anexo 2) que no había cuarentena redujo  $0.53 \text{ mg}/\text{m}^3$  valor que se encuentra mucho menos que la mitad. Los demás años se mantienen con valores similares siendo al año 2004 el año más contaminado con los valores más altos de CO, también las horas de máxima concentración son similares.

Se puede observar de igual manera que en el año 2020 no tiene un segundo pico pronunciado en las horas de la noche esto se debe a que a partir del 28 de marzo se implementó una nueva modalidad en Ecuador de restricción vehicular y toque de queda por lo que la contaminación por CO se reduce considerablemente.



*Figura 38.* Comparación de Monóxido de carbono en el mes de abril de diferentes años.

En el caso del CO se corrió un ANOVA obteniendo  $p < 0.001$ ,  $F = 160.2$  lo que indica que si existe diferencia significativa en el comportamiento diario de CO en los meses de abril entre dos diferentes años 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (año normal) (Tabla 11).

Tabla 11.

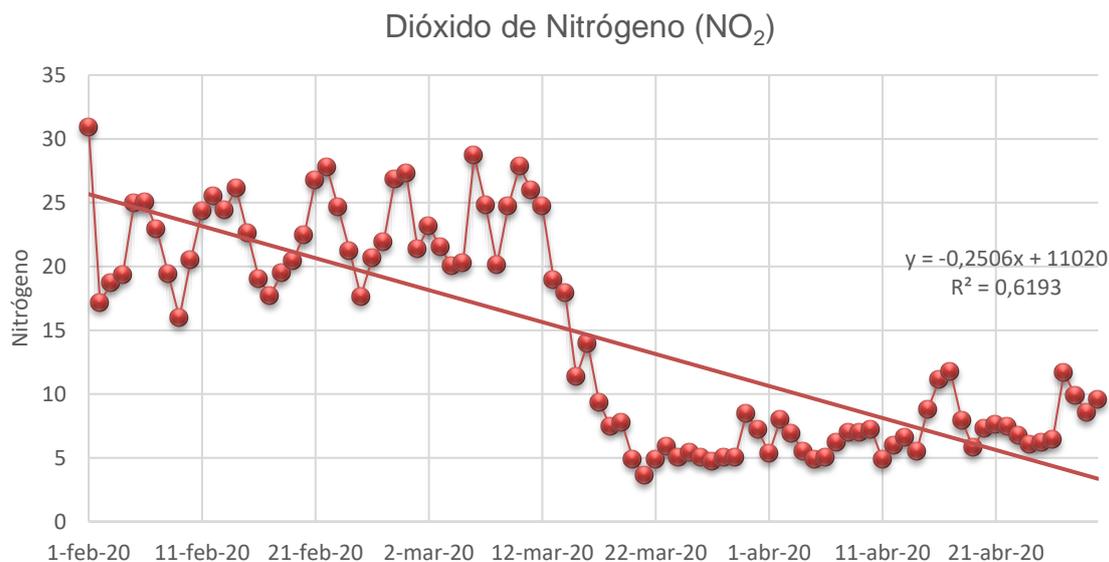
*Cuadro de análisis de varianza para CO para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).*

## ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
	<b>1,08734</b>		0,04727	5,24364	9,3111E-	2,01442
<b>Filas</b>	<b>529</b>	23	588	615	05	484
<b>Columnas</b>	<b>1,44475</b>	1	1,44475	160,246	7,5508E-	4,27934
	<b>275</b>		275	024	12	431
<b>Error</b>	<b>0,20736</b>		0,00901			
	<b>435</b>	23	584			
<b>Total</b>	<b>2,73946</b>					
	<b>24</b>	47				

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

Para el gráfico de NO<sub>2</sub> la tendencia de decaída de concentración de contaminante desde el mes de febrero hasta abril es muy notoria se puede observar que se inicia el 1 de febrero con un valor de 30.90 µg/m<sup>3</sup> y mantiene con valores similares subiendo y bajando durante todo el mes de febrero hasta los primeros días de marzo, una vez que inicia el confinamiento el decaimiento es notable el 21 de marzo que alcanza un valor mínimo de 3.63 µg/m<sup>3</sup> a partir de ahí en adelante durante el mes de abril los valores no vuelven a tener picos de altas concentraciones que sean bastantes pronunciados y se mantienen con valores bajos hasta terminar el mes con un valor de 9.54 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> valor que se redujo alrededor de tres veces su cantidad inicial y con un línea de tendencia que disminuye de manera considerable el contaminante con una valor de R<sup>2</sup> = 0.6193 lo que indica que la calidad del aire mejoro notablemente durante la cuarentena realizada en la ciudad.



*Figura 39.* Análisis de concentraciones promedio de NO<sub>2</sub> de 24 horas del día desde el primero de febrero hasta el 30 de abril de 2020.

Los datos presentados en la tabla 12 indican los valores obtenidos para el contaminante NO<sub>2</sub>, en donde las altas concentraciones fueron evidentemente en el mes de febrero y en todas las estaciones, sin embargo, la estación de el Camal presentó el valor más elevado siendo este 30.477 µg/m<sup>3</sup> y el valor mínimo fue de 2.480 µg/m<sup>3</sup> del 23 al 29 de marzo correspondiente a la estación de Cotocollao

Los datos de concentración máxima para el NO<sub>2</sub> indican de igual manera elevadas concentraciones en el mes de febrero siendo el valor de 52.171 µg /m<sup>3</sup> la concentración más elevada correspondiente a la estación de El Camal y el valor máximo mínimo se identificó en la estación de Cotocollao la semana del 23 al 29 de marzo con un valor de 3.666 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 12.

*Promedios de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) máxima, semanas antes y después de la cuarentena.*

---

PROMEDIO

**Concentración**

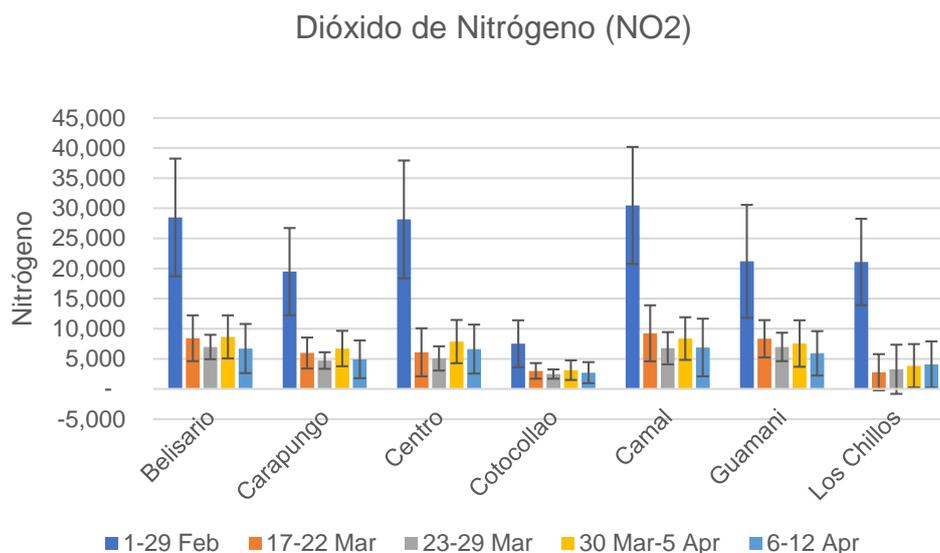
**NO<sub>2</sub> promedio**

(µg/m <sup>3</sup> )	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	28.483	8.411	6.967	8.645	6.709
Carapungo	19.495	5.974	4.715	6.708	4.927
Centro	28.160	6.090	5.075	7.861	6.622
Cotacollao	7.510	2.997	2.480	3.129	2.711
Camal	30.477	9.235	6.768	8.371	6.889
Guamaní	21.195	8.340	6.971	7.551	5.920
Los Chillos	21.089	2.772	3.264	3.850	4.069
Promedio de					
Quito	22.344	6.260	5.177	6.588	5.407

MAX

	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	50.685	13.915	10.040	14.612	12.853
Carapungo	39.241	9.698	7.060	11.587	10.171
Centro	50.175	12.018	8.523	13.873	12.681
Cotacollao	20.893	4.893	3.666	5.643	5.454
Camal	52.171	16.341	10.993	14.058	14.109
Guamaní	43.988	12.842	10.579	13.329	11.308
Los Chillos	37.685	7.329	10.721	9.442	10.744
Promedio de					
Quito	42.120	11.005	8.797	11.792	11.046

---



*Figura 40.* Desviación estándar de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) de todas las estaciones estudiadas.

Finalmente, podemos observar en el gráfico (Figura 39) de abril que la contaminación por (NO<sub>2</sub>) decae drásticamente alcanzando un pico máximo de 15.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una reducción de 15.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en comparación a los meses de febrero (Anexo 3) cuando no se tenía la cuarentena. También se puede observar que la contaminación más alta se dio en los años 2018 y 2019 que comparados con el año 2020 es notoria su reducción en cuanto a (NO<sub>2</sub>). Aunque para el mes de abril ya estaba vigente la restricción vehicular se puede observar cómo se sigue formando un pico pronunciado de contaminación esto puede deberse a que bastantes ciudadanos sacaron salvoconductos vehiculares y seguía habiendo tránsito, al aumento del consumo de cigallos, aumento de cocinas a gas y aparatos de calefacción y diversos métodos que implican la quema de combustibles fósiles que hacen que aumente la cantidad de NO<sub>2</sub>, cabe recalcar que su presencia contribuye a la formación de otros contaminantes como el ozono y partículas en suspensión.

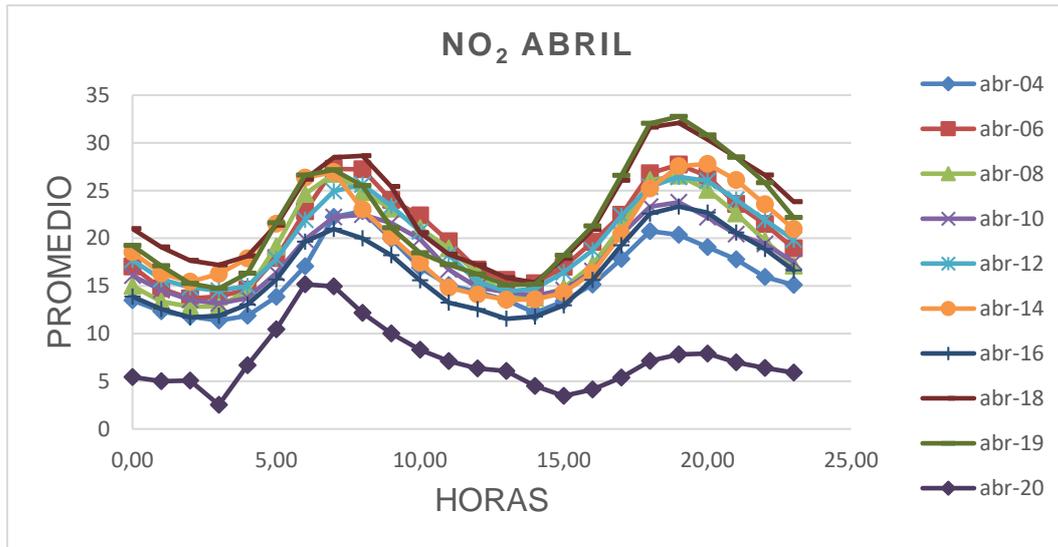


Figura 41. Comparación de dióxido de nitrógeno en el mes de abril de diferentes años.

Podemos observar en la Tabla 13 del análisis de ANOVA claramente una diferencia significativa  $p < 0.001$ ,  $F = 191.4$  en el comportamiento diario de  $\text{NO}_2$  para los meses de abril de los años 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (año normal).

Tabla 13.

Cuadro de análisis de varianza para  $\text{NO}_2$  para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).

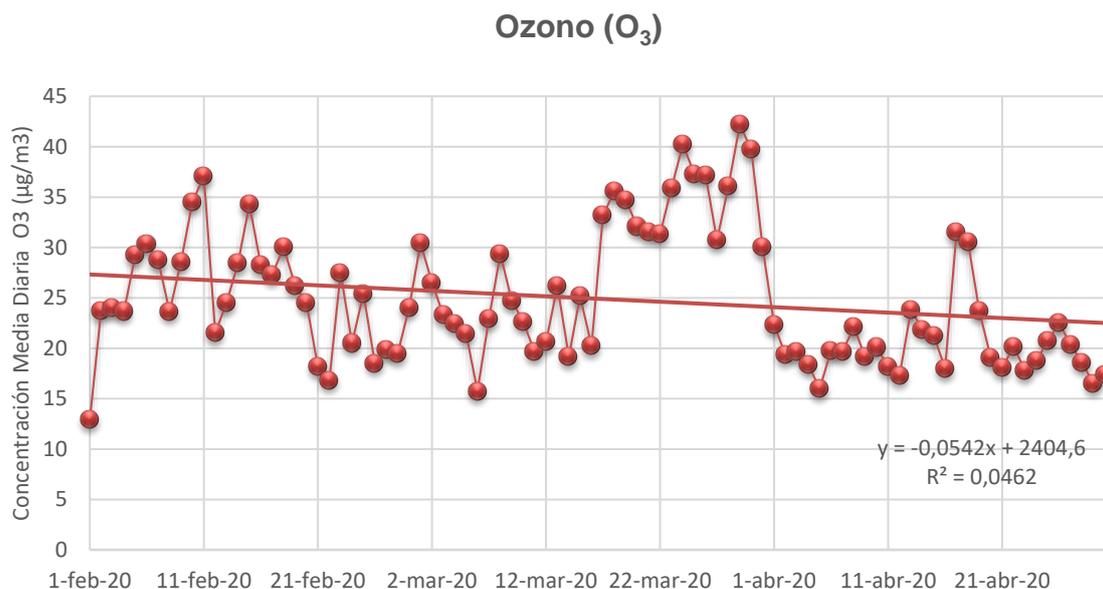
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	707,986		30,7820	2,30809	0,025204	2,01442
Filas	203	23	088	823	66	484
Columnas	2552,52806	1	2552,52806	191,393796	1,2299E-12	4,27934
Error	306,740065	23	13,3365246			

	3567,25	
Total	433	47

---

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

En cuanto al ozono se puede observar que como se menciona en gráficos anteriores su concentración muestra disminución, pero no en grandes cantidades ya que durante este periodo de cuarentena la cantidad de radiación solar tuvo notables aumentos lo cual indica que la producción de O<sub>3</sub> es producto de condiciones meteorológicas más que de condiciones antropogénicas y se muestra que inicia febrero con un valor de 12.90 µg/m<sup>3</sup> que después el 10 de febrero alcanza un valor de 34.52 µg/m<sup>3</sup> el valor más alto de ese mes, posteriormente para el mes de marzo vuelve a pronunciarse un pico con un valor elevado de 35.61 µg/m<sup>3</sup> el 18 de marzo y termina el mes con valores de concentración elevados el valor más alto se dio el 29 de marzo alcanzado 42.18 µg/m<sup>3</sup> de O<sub>3</sub>, finalmente para el mes de abril los valores bajan alcanzando un mínimo de 15.97 µg/m<sup>3</sup> y máximo de 31.49 µg/m<sup>3</sup>, aunque no es muy notoria su disminución de O<sub>3</sub> respecto a otros contaminantes se puede observar que la línea de tendencia disminuye presentando un valor de  $R^2 = 0,0462$  lo que indica que tanto la cuarentena como las condiciones meteorológicas presentadas en estos meses han hecho que los valores de ozono disminuya.



*Figura 42.* Análisis de concentraciones promedio de O<sub>3</sub> en 24 horas desde el primero de febrero hasta el 30 de abril.

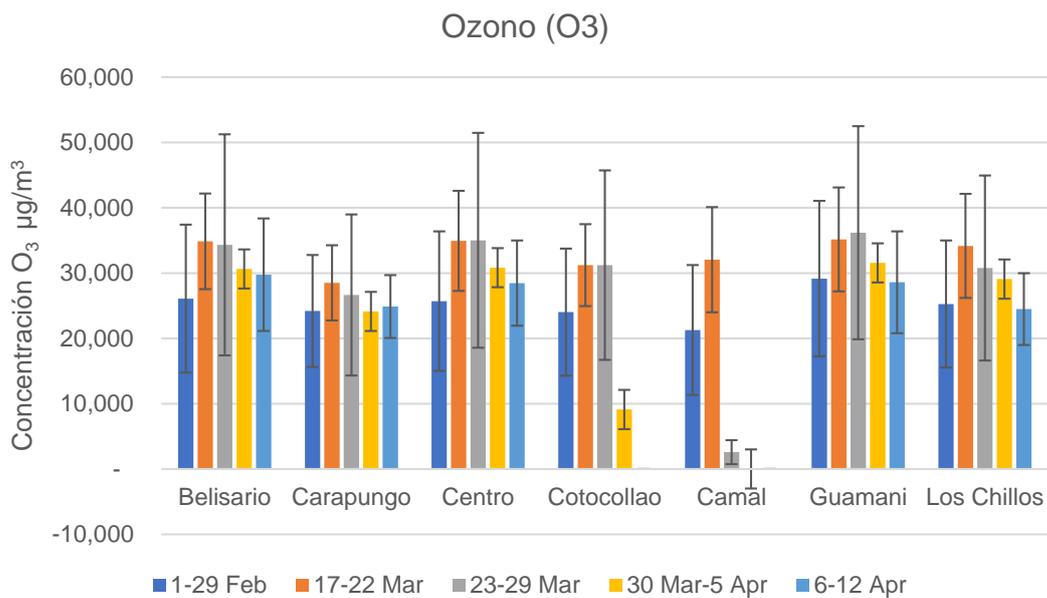
En la Tabla 14, podemos observar los datos obtenidos para el O<sub>3</sub> donde las concentraciones más altas fueron evidenciadas en la semana del 17 al 22 de marzo. Es importante recalcar que el aumento de la concentración de ozono está relacionado en su mayoría por su interacción con otros contaminantes, sin embargo, en estas fechas la concentración del resto de contaminantes fue disminuyendo, por lo cual los altos valores de Ozono fueron producto de la alta radiación que se presenció durante algunos días. El valor más alto se obtuvo en la estación de Guamaní la semana del 23 al 29 de marzo con un valor de 36.189 µg/m<sup>3</sup>. El valor mínimo fue obtenido en la estación de el Camal con un valor de 2.592 µg/m<sup>3</sup>.

En cuanto a los valores máximos, los datos promedio en el mes de febrero fueron más elevados con respecto a los demás días, sin embargo, en la semana del 23 al 29 de marzo se obtuvo el valor más elevado que fue de 51.429 µg/m<sup>3</sup> en la estación de Guamaní y en la estación de Carapungo se obtuvo el valor máximo mínimo en la semana del 6 al 12 de abril con un valor de 32.191 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 14.

*Promedios de O<sub>3</sub> y O<sub>3</sub> máximo semanas antes y después de la cuarentena.*

PROMEDIO					
<b>Concentración</b>					
<b>O<sub>3</sub> promedio</b>					
<b>(µg/m<sup>3</sup>)O<sub>3</sub></b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	26.092	34.868	34.323	30.629	29.762
Carapungo	24.198	28.511	26.652	24.140	24.889
Centro	25.704	34.950	35.016	30.831	28.469
Cotocollao	24.025	31.226	31.215	9.115	-
Camal	21.283	32.054	2.592	-	-
Guamaní	29.153	35.151	36.189	31.559	28.604
Los Chillos	25.264	34.167	30.786	29.086	24.492
Promedio de					
Quito	25.103	32.989	28.110	22.194	19.459
MAX					
<b>Concentración</b>					
<b>O<sub>3</sub> máxima</b>					
<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Belisario	50.005	43.712	51.847	47.145	43.668
Carapungo	41.168	35.772	39.205	35.333	32.191
Centro	46.505	45.267	51.223	44.988	38.879
Cotocollao	44.484	39.595	46.280	37.594	-
Camal	42.073	42.194	5.184	-	-
Guamaní	51.833	46.723	51.429	48.799	40.522
Los Chillos	43.983	44.244	44.281	42.086	32.556
Promedio de					
Quito	45.721	42.501	41.350	36.564	26.831



*Figura 43.* Desviación estándar de O<sub>3</sub> de todas las estaciones estudiadas.

En el caso del mes de abril (Figura 42) se encontraron cambios considerables ya que el ozono para el año 2020 disminuyó alcanzando un valor máximo de  $38.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que en comparación con el mes de marzo (Anexo 4) disminuyó  $20.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , también se puede observar en el mes de abril que el año 2019 es el que presenta la contaminación más alta y el año 2004 (Figura 42) es el que presenta la contaminación más baja y las horas pico de continuación son las mismas entre las 7h00 a 19h00 horas. La reducción de ozono se debe a la cuarentena y ausencia de actividades en la ciudad de Quito y al clima que presentó la ciudad durante estas fechas.

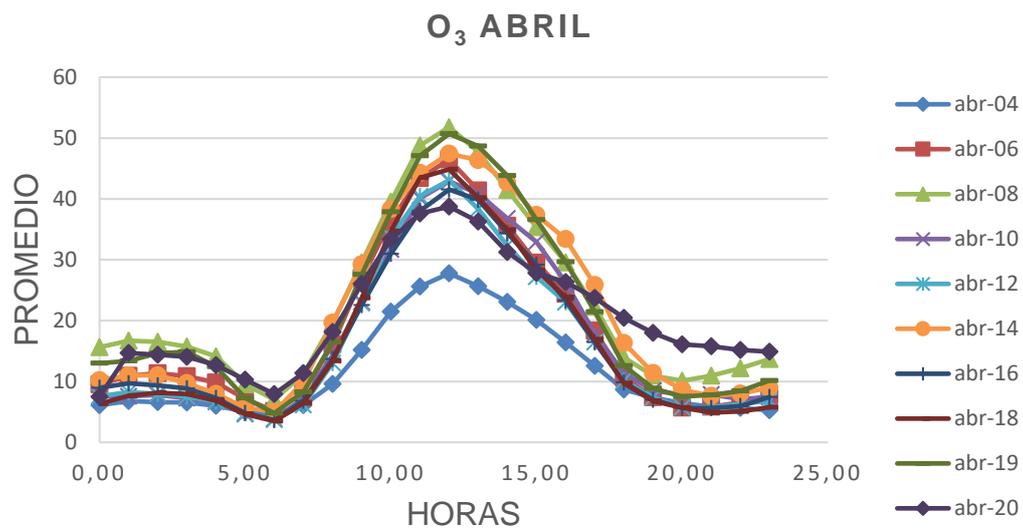


Figura 44. Comparación de O<sub>3</sub> en el mes de abril de diferentes años

Mediante ANOVA se puede observar como es el comportamiento diario del contaminante en el mes de abril dando como resultado valores que muestran una alta significancia  $p < 0.001$ ,  $F = 0.11$  en diferencia entre los años 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (año normal) (Tabla 15).

Tabla 15.

Cuadro de análisis de varianza para O<sub>3</sub> para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).

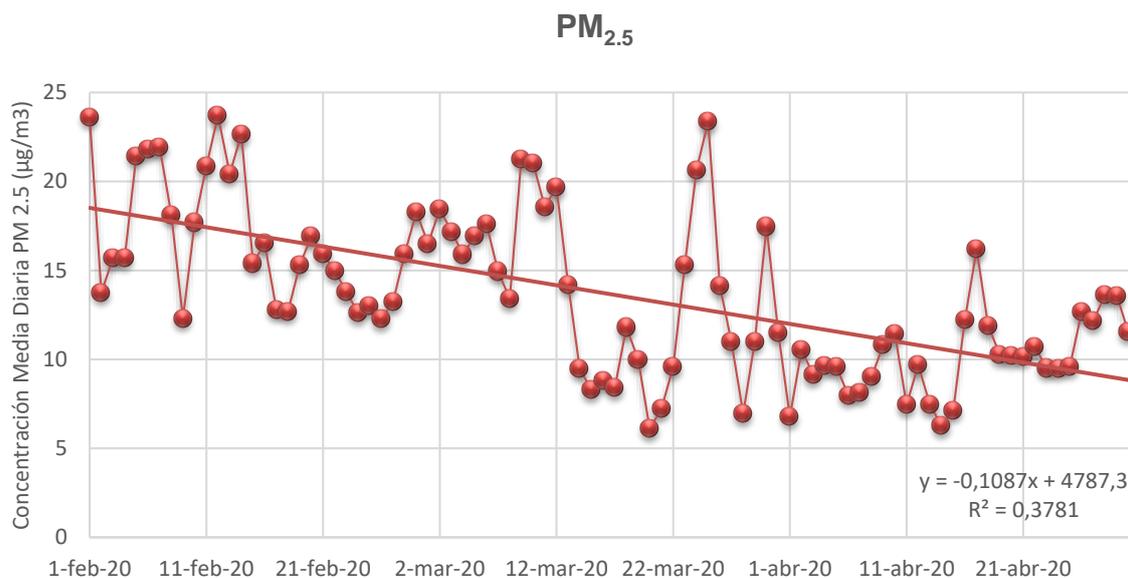
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	6800,40	04	295,669	12,7104	2,7985E-08	2,01442
Columnas	2,67339	36	2,67339	0,11492	0,737680	4,27934
Error	535,024	322	23,2619			

	7338,09	
Total	811	47

---

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

Otro de los contaminantes que tuvo que tuvo valores altos por ayuda de las condiciones meteorológicas es el Material particulado, que a pesar del confinamiento por COVID-19 presenta valores de concentración con altas y bajas y se debe a que durante estos meses de estudio la velocidad del viento ha sido cambiante y con velocidades altas, como se puede observar en la gráfica se inicia el mes de febrero con un valor alto de 23.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> los valores tienen picos de concentración altos y bajos durante todo el mes de febrero, para el mes de marzo el mayor pico de concentración se alcanza el 25 de marzo con un valor de 23.36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pero también se nota una disminución considerable en las concentraciones respecto al mes de febrero, finalmente para abril la tendencia a disminuir continua llegando en a un valor máximo de 16.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y mínimo de 6.77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lo que indica que en comparación al febrero mes donde la entraba en vigencia la cuarentena si se disminuyó considerablemente, este contaminante es principiante producto del parque automotriz y las industrias que queman combustibles fósiles lo cual indica que la paralización de actividades en la ciudad de Quito si apporto en gran parte a que la línea de tendencia baje obteniendo un valor de  $R^2 = 0,3781$ .



*Figura 45.* Análisis de concentraciones promedio de PM<sub>2.5</sub> en 24 horas desde el primero de febrero hasta el 30 de abril de 2020.

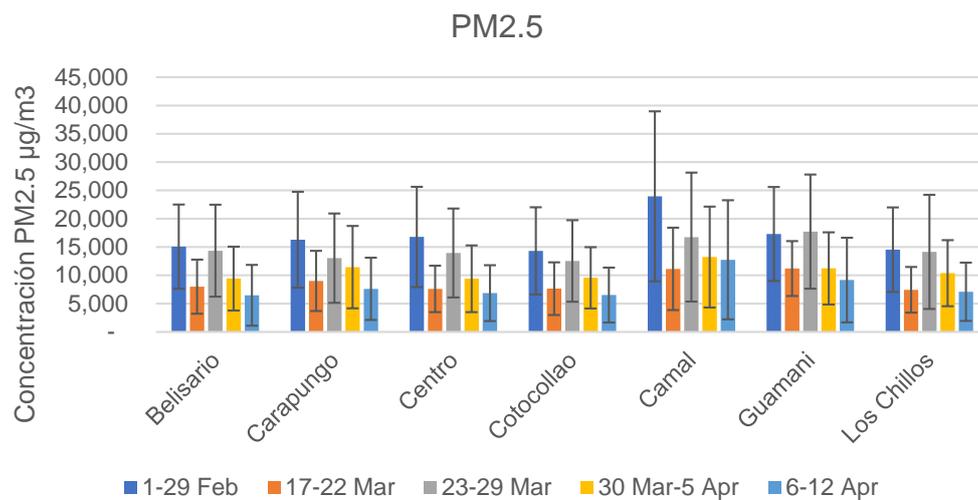
Los datos obtenidos para PM<sub>2.5</sub> (tabla 16) muestran las concentraciones promedio obtenidas tanto en el mes de febrero como en el mes de marzo en donde el mes de febrero presentó concentraciones elevadas en comparación a las semanas siguientes, siendo 23.954 µg/m<sup>3</sup> la concentración más alta, misma que se presentó en la estación de El Camal. En cuanto a la concentración mínima, esta fue de 6.479 µg/m<sup>3</sup> en la semana del 6 al 12 de abril correspondiente a la estación de Belisario.

En cuanto a las concentraciones máximas de igual manera la estación del Camal presentó la más elevada siendo 67.969 µg/m<sup>3</sup> para el mes de febrero y la concentración máxima mínima se obtuvo la semana del 17 al 22 de marzo con un valor de 13.380 µg/m<sup>3</sup> en la estación del Centro de Quito.

Tabla 16.

*Promedios de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>2.5</sub> máxima semanas antes y después de la cuarentena.*

PROMEDIO					
<b>Concentración</b>					
<b>PM<sub>2.5</sub> promedio</b>					
<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1-29 Feb</b>	<b>17-22 Mar</b>	<b>23-29 Mar</b>	<b>30 Mar-5 Apr</b>	<b>6-12 Apr</b>
Belisario	15.072	7.989	14.349	9.417	6.479
Carapungo	16.290	8.998	13.033	11.440	7.607
Centro	16.777	7.591	13.936	9.391	6.854
Cotocollao	14.320	7.638	12.542	9.561	6.511
Camal	23.954	11.131	16.741	13.224	12.742
Guamaní	17.309	11.197	17.720	11.226	9.167
Los Chillos	14.535	7.439	14.133	10.383	7.087
Promedio de					
Quito	16.894	8.855	14.636	10.663	8.064
MAX					
<b>Concentración</b>					
<b>PM<sub>2.5</sub> máxima</b>					
<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1-29 Feb</b>	<b>17-22 Mar</b>	<b>23-29 Mar</b>	<b>30 Mar-5 Apr</b>	<b>6-12 Apr</b>
Belisario	32.487	15.009	26.826	17.749	15.554
Carapungo	35.228	16.147	24.660	23.190	16.038
Centro	38.657	13.380	25.671	18.470	14.656
Cotocollao	31.834	14.401	23.744	18.080	14.509
Camal	67.969	21.950	32.264	27.168	29.952
Guamaní	40.404	18.491	35.128	21.451	22.380
Los Chillos	32.800	13.056	33.359	18.966	15.394
Promedio de					
Quito	39.911	16.062	28.807	20.725	18.355



*Figura 46.* Desviación estándar de PM<sub>2.5</sub> de todas las estaciones estudiadas.

Finalmente, para los meses de abril se puede notar que máximo pico de contaminación lo tiene el año 2019 (Figura 45) con un valor de 26.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  seguido del año 2018 con un valor máximo de 24.35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero hay una notable disminución en el año 2020 donde su mayor pico de contaminación de 15.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obteniendo una reducción de 6.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respecto al mes de febrero del 2020 (Anexo 5), esta disminución se da a causa del confinamiento que se realizó en la ciudad de Quito, aunque se realizó la restricción vehicular existen pico que sobresalen y eso se da porque para abril ya empezaron a circular bastantes vehículos nuevamente y las condiciones meteorológicas también favorecieron a que estos contaminantes no se dispersen de manera rápida.

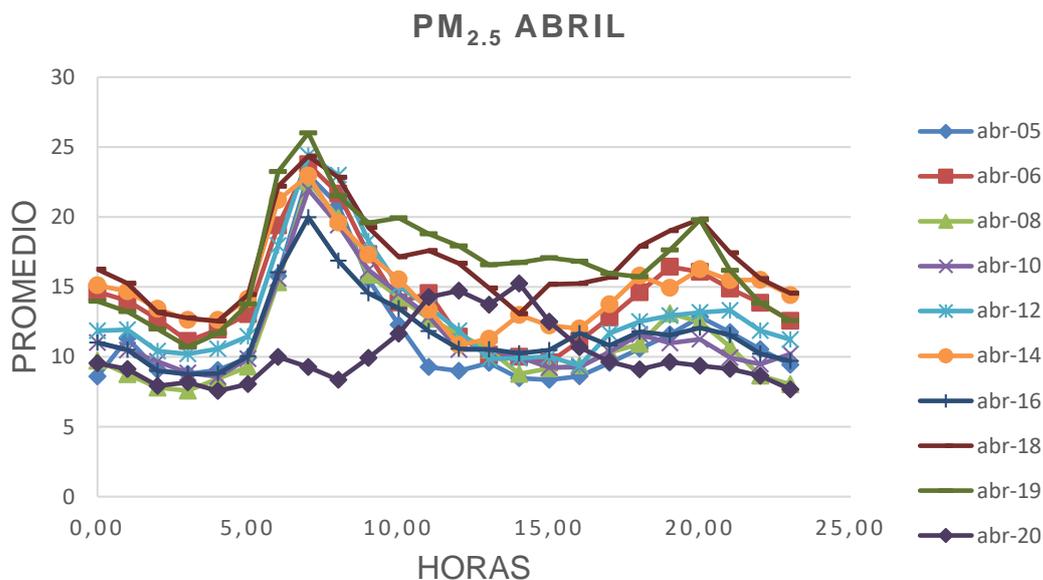


Figura 47. Comparación de PM<sub>2.5</sub> en el mes de abril de diferentes años.

Se corrió ANOVA para estudiar la diferencia entre el año 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (año normal). Como se muestra en la Tabla 17 el comportamiento diario de PM<sub>2.5</sub> en el mes de abril entre dos diferentes años es significativamente diferente  $p < 0.001$ ,  $F = 73.1$ .

Tabla 17.

Cuadro de análisis de varianza para PM<sub>2.5</sub> para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).

ANÁLISIS DE  
VARIANZA

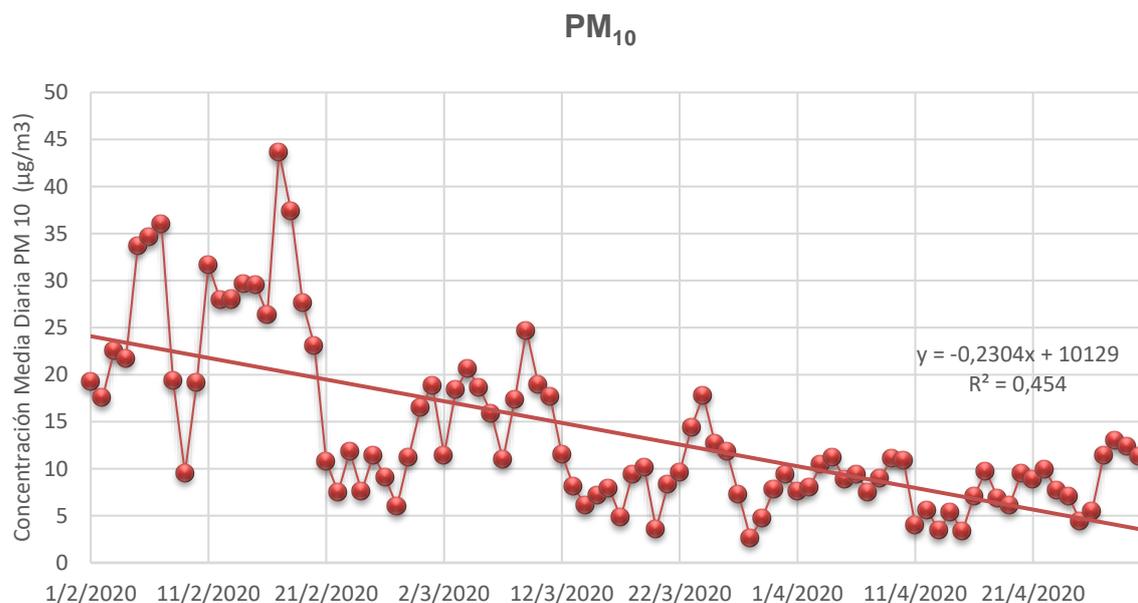
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	285,464		12,4114	1,75645	0,092161	2,01442
Filas	397	23	955	394	98	484
Columnas	516,528	1	516,528	73,0982	1,3461E-08	4,27934
	317		317	174		431

Error	162,523 133	23	7,06622 317
Total	964,515 847	47	

---

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

Para este contaminante sucede igual que el anterior la velocidad del viento y factores meteorológicos ayudaron a que los valores que se presentan en el siguiente gráfico sean variados sin embargo en la siguiente grafica se puede observar un notable decaimiento del contaminante con una línea de tendencia de  $R^2 = 0,454$ , iniciando el mas de marzo con valores altos que alcanzan un máximo de  $43.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y mínimo de  $5.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el mes de marzo se ve como los valores son cada vez más bajos alcanzan un máximo de  $20.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un mínimo de  $2.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , finalmente en el mes de abril todos los valores observados son bajos llegando el máximo de apenas  $11.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores mínimos de  $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lo que muestra que los valores sin han disminuido durante la cuarentena que inicio en marzo.



*Figura 48.* Análisis de concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> en 24 horas desde el primero de febrero hasta el 30 de abril de 2020.

Los datos obtenidos para PM<sub>10</sub> (Tabla 118) se pudieron recopilar únicamente en dos estaciones debido a que únicamente 4 estaciones se encuentran habilitadas para la medición de este contaminante y dos de ellas, no se encuentran funcionando correctamente. De esta manera la estación de Carapungo presentó el valor promedio más elevado con una concentración de 46.432 µg/m<sup>3</sup> en el mes de febrero y la menor concentración se observó en la estación de San Antonio con un valor de 11.006 µg/m<sup>3</sup> la semana del 17 al 22 de marzo.

Las concentraciones máximas se evidenciaron de igual manera en el mes de febrero siendo 160.788 µg/m<sup>3</sup> la más elevada correspondiente a la estación de San Antonio. Sin embargo, en la misma estación se evidenció la concentración máxima mínima en la semana del 17 al 22 de marzo con un valor de 23.163 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 18.

*Promedio de  $PM_{10}$  y  $PM_{10}$  máxima semanas atrás antes y después de la cuarentena.*

<b>Concentración</b>					
<b><math>PM_{10}</math> promedio</b>					
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Carapungo	46,432	19,613	26,795	22,556	21,431
San Antonio	42,356	11,006	13,960	13,613	11,371
Promedio de					
Quito	22,197	7,655	10,189	9,042	8,200
<b>Concentración</b>					
<b><math>PM_{10}</math> máxima</b>					
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1-29 Feb	17-22 Mar	23-29 Mar	30 Mar-5 Apr	6-12 Apr
Carapungo	108,514	40,285	45,355	41,000	43,370
San Antonio	160,788	23,163	33,017	39,596	26,379
Promedio de					
Quito	67,325	15,862	19,593	20,149	17,437

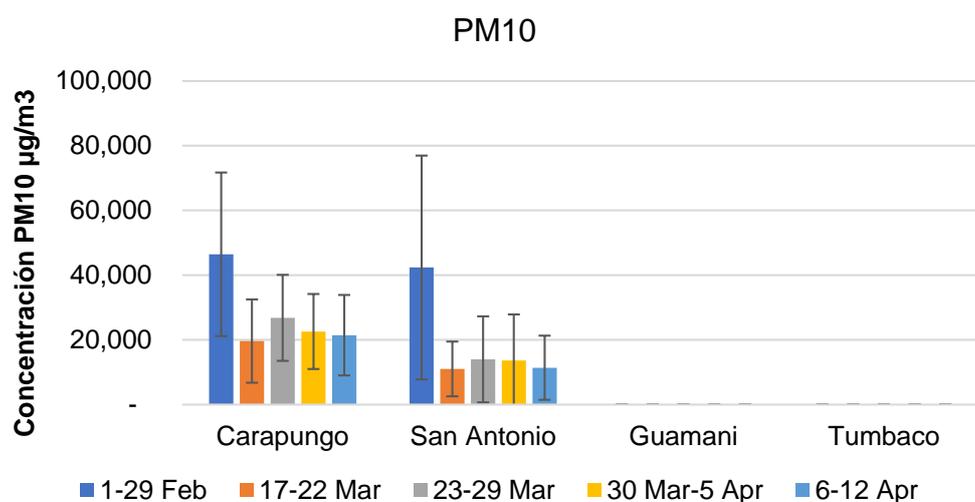
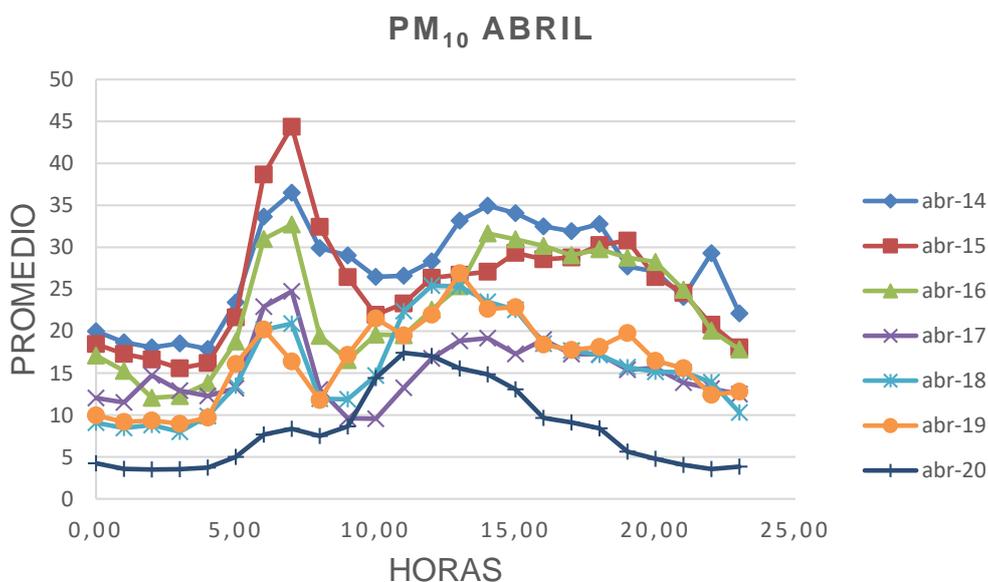


Figura 49. Desviación estándar de  $PM_{10}$  de todas las estaciones estudiadas.

Finalmente, para el mes de abril se vuelve a ver pronunciados cambios en cuanto a la contaminación más alta en este caso se posiciona el año 2015 con el pico más alto con un valor de  $44.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguido del año 2014 con un valor de  $36.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cuanto al año 2020 se reduce notablemente alcanzado un pico de apenas  $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que en comparación al mes de febrero (Anexo 6) y disminuyendo un valor de  $25.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que es más de la mitad las condiciones climáticas como la radiación solar hacen que se produzcan picos más altos de contaminación aun cuando existe una norma de restricción vehicular por lo que la contaminación nunca va ser de cero y mínima pero gracias confinamiento obligatorio que atravesó la ciudad de Quito la calidad del aire mejoró y se estabilizó haciendo que sea puro y saludable.



*Figura 50.* Comparación de PM<sub>10</sub> en el mes de abril de diferentes años.

Después de correr el ANOVA se obtuvo valores de  $p < 0.001$  y  $F = 190.6$  que indican que el comportamiento diario de PM<sub>10</sub> para los meses de abril son significativamente diferentes para los años 2020 (cuarentena COVID-19) y 2019 (año normal) (Tabla 19).

Tabla 19.

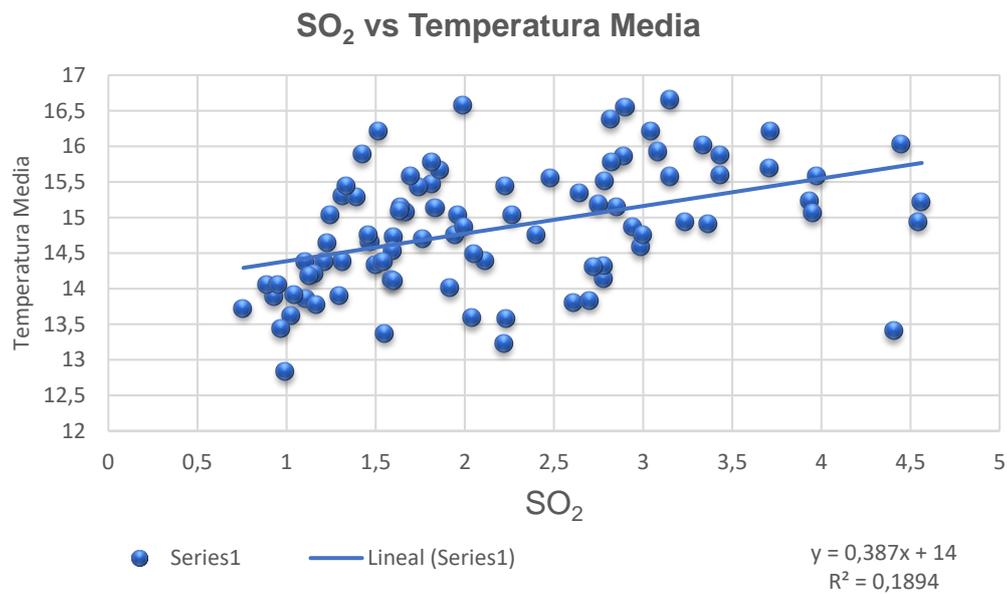
Cuadro de análisis de varianza de  $PM_{10}$  para diferentes años 2019 (año normal) 2020 (Año cuarentena).

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	1003,24		43,6194	10,1560	2,5195E-07	2,01442
Columnas	721	23	438	933		484
	818,843		818,843	190,654		4,27934
	117	1	117	588	1,28E-12	431
Error	98,7827		4,29490			
	876	23	381			
Total	1920,87					
	311	47				

#### 4.4 Gráficos de correlación

##### 4.4.1 SO<sub>2</sub> y temperatura

Para el siguiente análisis se hizo la correlación lineal en el cual se puede observar que se presenta una  $R^2= 0.1894$  lo que indica que existe una correlación aunque no muy alta. Esto sugiere que cada vez que existe incremento de temperatura también incrementa la concentración de SO<sub>2</sub>. Se puede observar que a pesar de que la ciudad de Quito estuvo en cuarentena y se paralizaron todas las actividades las concentraciones de SO<sub>2</sub> también incrementaron ya que los parámetros meteorológicos alteran algunos contaminantes.



*Figura 51.* Análisis de correlaciones entre SO<sub>2</sub> y Temperatura Media

#### 4.4.2 CO y temperatura

En el caso del análisis de correlación lineal entre CO y temperatura se puede observar que tiene un valor de  $R^2 = 0,0191$  lo que nos indica que no existe correlación o es muy débil entre estos parámetros (Figura 50). Es decir, la cantidad de CO no se ve influenciada por la temperatura y que la decaída de concentración de contaminantes se debe a las medidas de cuarentena que vivió la Ciudad de Quito.

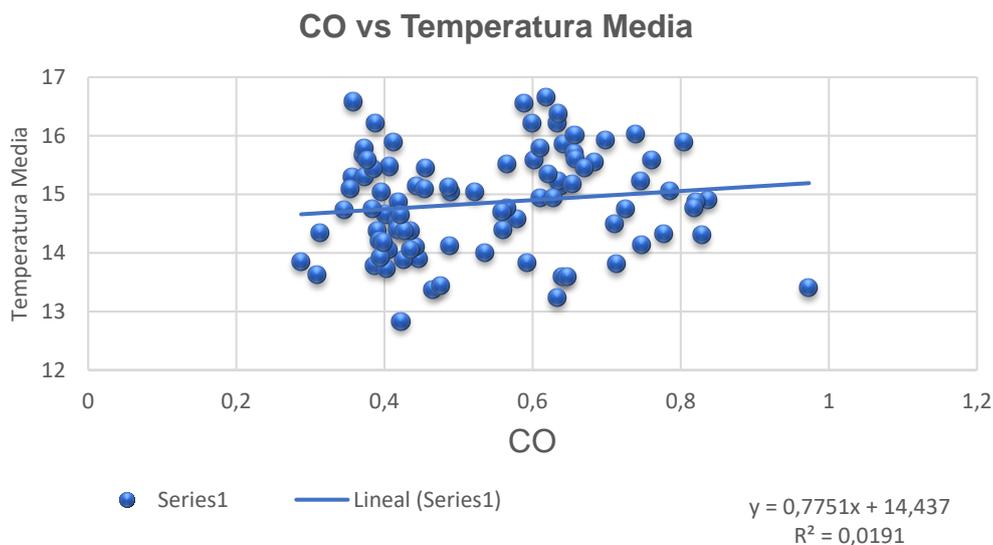


Figura 52. Análisis de correlaciones entre CO y Temperatura Media.

#### 4.4.3 NO<sub>2</sub> y radiación solar

Se puede observar en la Figura 51 que no existe ninguna correlación entre NO<sub>2</sub> y radiación solar, ya que se obtuvo un valor  $R^2 = 0.0027$ , es decir que si existe correlación, pero es muy débil por lo que se dice que el NO<sub>2</sub> no se ve influenciado por la radiación solar y la decaída de este contaminante se debe al confinamiento por COVID-19.

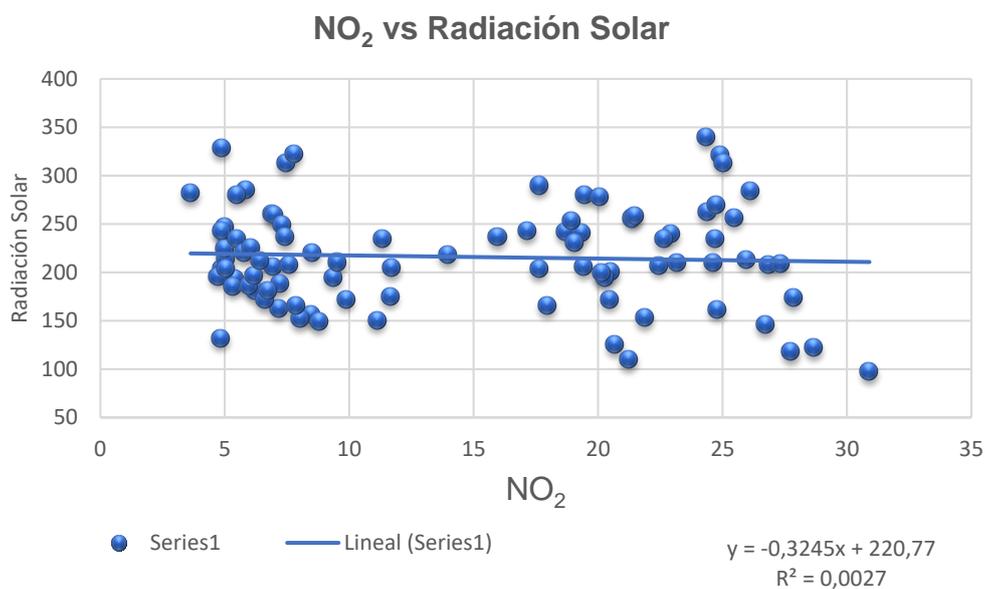


Figura 53. Análisis de correlaciones entre Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y radiación solar.

#### 4.4.4 O<sub>3</sub> y radiación solar

Para el siguiente gráfico (Figura 52) de correlación lineal se observa como existe una correlación  $R^2 = 0.25$  entre O<sub>3</sub> y radiación solar, lo que nos indica que la radiación solar influye directamente a la cantidad de ozono y el incremento de concentraciones de este contaminante no solo se debe a actividades humanas sino también a parámetros meteorológicos que atraviesa la ciudad de Quito.

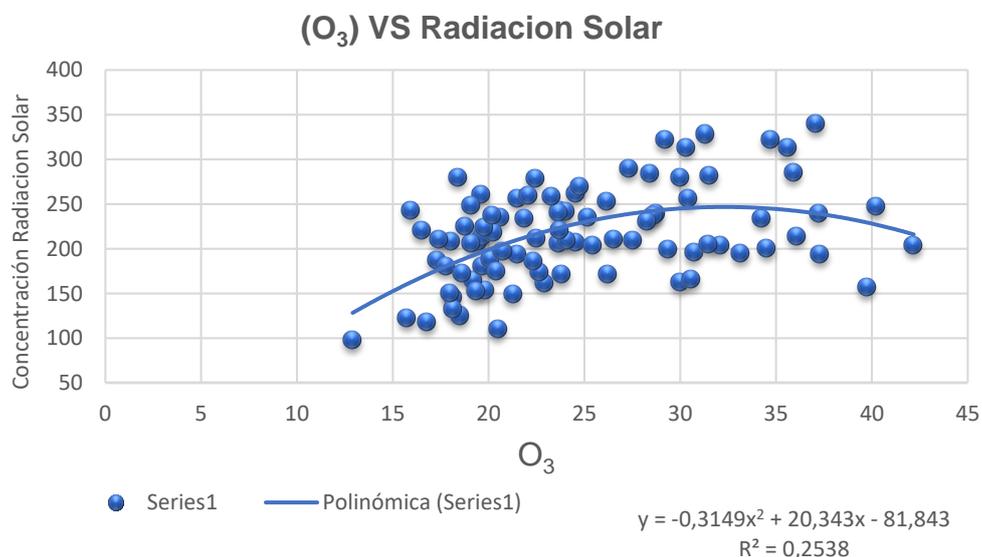


Figura 54. Análisis de correlaciones entre Ozono (O<sub>3</sub>) y radiación solar.

#### 4.4.5 PM<sub>2.5</sub> y velocidad del viento

Para la presente correlación (Figura 53) se puede observar que nos arroja un valor de  $R^2 = 8e*06$ . Esto es un valor bajo que no muestra significancia ni que existe correlación y lo que nos indica es que el PM<sub>2.5</sub> no se ve influenciado por la velocidad del viento y la decaída de este contaminante de debe principalmente a las medidas de confinamiento que atravesó la ciudad de Quito por el COVID-19.

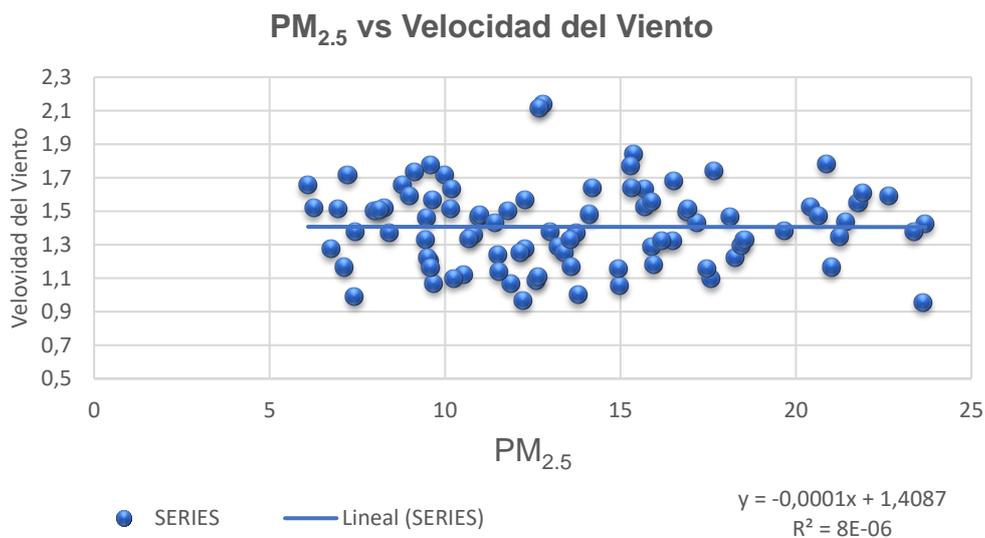
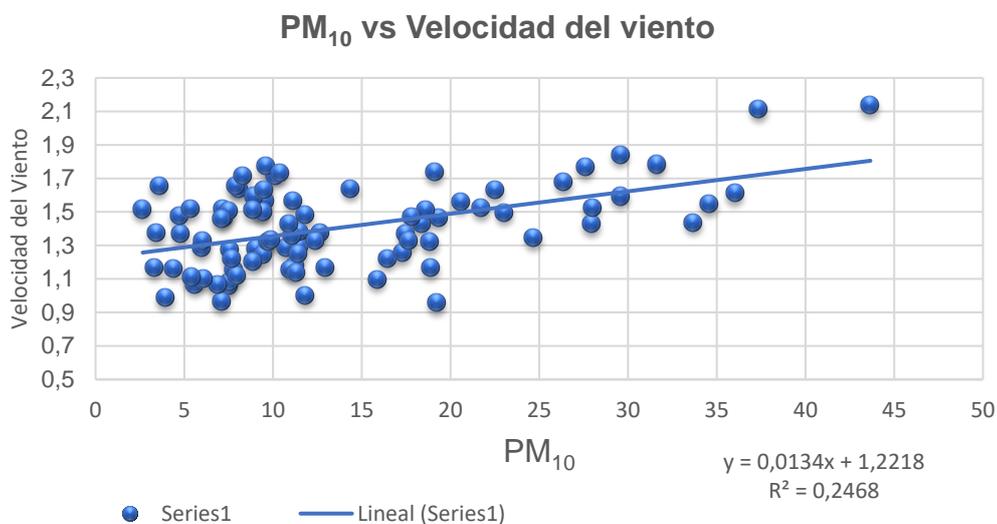


Figura 55. Análisis de correlaciones entre PM<sub>2.5</sub> y Velocidad del viento.

#### 4.4.6 PM<sub>10</sub> y velocidad del viento

Para el siguiente gráfico (Figura 54) de correlación se puede observar un valor de  $R^2 = 0.2468$  lo que indica que existe una correlación significativa, es decir que el contaminante se ve altamente influenciado por este parámetro meteorológico, debido a que la velocidad del viento aumenta la concentración de PM<sub>10</sub> también aumenta a pesar de que haber vivido medidas de cuarentena.



*Figura 56.* Análisis de correlaciones entre PM<sub>10</sub> y Velocidad del viento.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Mediante el Análisis de Temperatura se muestra que en la estación Los Chillos se encuentra la temperatura más alta y Guamaní es más baja en promedio, esto se debe a la elevación de cada sitio lo que nos indica que la temperatura tiene correlación negativa con altura. Se puede observar en el estudio que la temperatura más alta fue durante la semana cuatro (6-12 abril), y que ha ido incrementando en los últimos 14 años, pero en los años 2019 y 2020 no muestra gran diferencia lo que nos indica que los cambios visibles de contaminación no tiene que ver con cambios en temperatura.

En el caso de humedad relativa se observa que tiene una anticorrelación con temperatura, este efecto es negativo y se puede observar que la máxima humedad se da en la semana (30mar-5abr) y la mínima en la semana 4 (6-12 abril), también se puede observar que humedad relativa ha ido incrementando con los años, lo que nos indica que el clima ambiente de Quito se está modificando volviéndose más húmedo, como se sabe que con más temperatura el aire contiene más cantidad de agua (humedad).

Como se conoce que el viento tiene relación con la temperatura se puede observar que en año 2020 incrementa la velocidad de viento lo que produce alteraciones al medio ambiente por la suspensión de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y (PM<sub>10</sub>).

Para el caso de la radiación solar se observa un notable incremento anual e incremento en los meses de cuarentena lo que nos indica una fuerte correlación con la temperatura y ozono, es por eso que las concentraciones de ozono

aumentaron con en los meses de cuarentena cuando se dieron los picos más altos de radiación solar.

En el análisis de series temporales desde 1 feb hasta 30 de abril indica claramente una decaída significativa de concentraciones de todos contaminantes atmosféricos estudiados en el momento que se instalan las medidas de cuarentena por COVID-19.

En el análisis por semanas se puede ver alguna variación, pero en la mayoría de los casos decae con medidas más estrictas de cuarentena, con excepción de SO<sub>2</sub> que tuvo varios incrementos que se deben al aumento de radiación solar y de ozono, también por el uso de termoeléctricas y actividades humanas caseras que hacen que suban las concentraciones de los contaminantes.

Mediante el análisis horario de diferentes años se puede ver que los niveles de concentración son mínimos durante cuarentena, y demuestra aumentos de concentraciones solo en horas pico de la mañana antes del inicio del toque de queda.

Finalmente, el caso más particular se presenta con el ozono ya que la decaída de todos los contaminantes es notoria, pero en el caso del ozono existe una relación con radiación solar y NO<sub>2</sub> que no ayuda al decaimiento del ozono sin embargo debido a las medidas de cuarentena también se denota que los picos de concentraciones son muchos más bajos que en otros años, por lo que mediante este estudio se asegura que estos durante las semanas de la cuarentena la calidad del aire mejoro abismalmente y el medio ambiente tomo un respiro de tanta contaminación atmosférica.

## 5.2 Recomendaciones

Por lo descrito anteriormente, el decaimiento de las concentraciones de todos los contaminantes en los meses de cuarentena del año 2020 constituye un importante punto de partida para seguir monitoreando todo este tipo de contaminantes con el fin de mantener una óptima calidad del aire en Quito para todos los pobladores. El presente estudio solo utilizó 7 estaciones de monitoreo con sus respectivas áreas de estudio, sin embargo, existen varias zonas de alta demanda de contaminantes dentro del DMQ donde se pueden realizar el mismo tipo de toma de datos para verificar a qué concentraciones estamos expuestos todos los ciudadanos.

Con el objetivo de reducir la cantidad de concentraciones de contaminantes en la ciudad de Quito las autoridades competentes deberían implementar alternativas amigables con el medio ambiente como el uso de energías renovables, también incentivar el uso de transportes que no sean de quema de combustibles que son los principales liberadores de gases y partículas.

Es indispensable que en la ciudad de Quito se implementen infraestructuras más sostenibles, autos eléctricos y transporte público de mejor calidad como el Metro de Quito que ayuden a reorganizar la ciudad con el fin de proteger la salud de las personas y oxigenar el aire ambiente.

Finalmente, es importante que este tipo de estudios se sigan replicando para verificar a qué tipo de contaminación estamos expuestos los ciudadanos y mediante estos tomar medidas de acción para disminuir la contaminación y llevar una vida saludable disminuyendo los efectos peligrosos a los grupos más vulnerables como niños, ancianos y personas con problema de salud.

## REFERENCIAS

- Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (2010). Óxidos De Nitrógeno. División de Toxicología ToxFAQs, 1, 2. Recuperado el 04 de enero de 2020 de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts175.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.pdf)
- Andrade, C. (1993). Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. Boletín Científico CIOH, (13), 33-43. Recuperado el 1 de julio de 2020 de <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>.
- Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (2010). Óxidos De Nitrógeno. División de Toxicología ToxFAQs, 1, 2. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts175.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.pdf)
- Arangué, E., Ordoñez, J., Serrano, J., Fernández, R., Aragonés, N., Gandarillas, A., & Galán, I. (2011). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. 123–132.
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm10. Luna Azul, 34, 195–213. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Atmosférica, C., & Salud, C. C. Y. (2005).
- Ballester, F. (2015). Vigilancia de riesgos ambientales en Salud Pública. El caso de la contaminación atmosférica. *Gaceta Sanitaria*, 19(3), 253–257. <https://doi.org/10.1157/13075960>
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H., & Cifuentes, L. A. (2006). *The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and México City*. 100, 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.08.002>
- Bosquet, L. (2003). Los efectos nocivos de la radiación solar y la forma de combatirlos. *Offarm: farmacia y sociedad*, 22(5), 68-76.
- Breithaupt, M. (2012). Transporte Urbano y Salud. *World Health Organization*.
- Cazorla, M. (2018). *Air quality over a populated Andean region: Insights from measurements of ozone, NO, and boundary layer depths Atmospheric*

*Pollution Research Air quality over a populated Andean region: Insights from measurements of ozone, NO, and boundary layer depths. Atmospheric Pollution Research, (February).*

<https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.07.006>

Crana. (2010). *Monóxido de Carbono.*

[http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion\\_3/monaxido-carbono](http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/monaxido-carbono)

Deters, J. K., Zalakeviciute, R., González, M., & Rybarczyk, Y. (2017). *Modeling PM<sub>2.5</sub> Urban Pollution Using Machine Learning and Selected Meteorological Parameters. 2017.*

Díaz, V. (2017). *Informe de la calidad de aire-2016.*

Dugan, R. E., & Jones, J. B. (1996). *Ingeniería termodinámica.* Prentice Hall.

EPA. (s.f.). Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

Fontes, T., Li, P., Barros, N., y Zhao, P. (2017). Trends of PM<sub>2.5</sub> concentrations in China: A long term approach. *Journal of Environmental Management*, 196, 719–732. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.074>

García, C., García, J. C., & Vaca, M. L. (2012). Políticas en salud ambiental, con énfasis en contaminación atmosférica e infancia, en ciudades colombianas. *Revista de Salud Pública*, 14(2), 100–112. <https://doi.org/10.1590/S0124-00642012000800009>

Gesti, I. D. E., enero, P., Eco, D., & Villalba, R. (2014). Empresa pública metropolitana de transporte de pasajeros de quito. *EPMTP.*

Hincapié, N. F. M. (2019). Introducción del concepto de probabilidad en Física desde la Mecánica Estadística. *Revista Científica*, 280-292.

Hewlett Packard. (2005). Carcasas HPE BladeSystem c3000. Obtenido de <https://buy.hpe.com/es/es/options/enclosures-chassis/bladesystem-c-class-enclosures/bladesystem-c-class-enclosures/hpe-bladesystem-c3000-enclosures/p/3540808>

Huang, S., Roth, M., & Velasco, E. (2017). Particle exposure and inhaled dose

- during commuting in Singapore. *Atmospheric Environment*, 170, 245–258. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.056>
- Illicachi, M. (2015). La contaminación del medio ambiente provocado por los vehículos a motor por la emisión de monóxido de carbono y su incidencia en la salud de la población del centro histórico de Quito en el año 2014.
- Martín, P., Martín, E., Loredó, A., & Camano, E. B. (2014). Utilización de anemómetro de hilo caliente a temperatura constante para mediciones de velocidad de aire en túnel de viento. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 35(1), 78-92.
- Martínez, J. (2019). *Tarea Final “Contaminación atmosférica” Maestría: Ingeniería Ambiental. Abril.*  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14603.34087>
- Millares, C. (2012). *Las encuestas de movilidad y los referentes ambientales de los transportes.* 38(2006).
- Neira, M., y Prüss-Ustün, A. (2016a). *Ambient air Pollution a global assessment of exposure and burden of diseases.*
- Neira, M., y Prüss-Ustün, A. (2016b). Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the environmental burden of disease. *Toxicology Letters*, 259, S1.  
<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.07.028>
- Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. (2011). *Guía de Calidad del Aire.* 7–9.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19).
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *CORONAVIRUS.* Obtenido de <https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus>
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). *Contaminación del Aire Ambiental.* Obtenido de [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)
- Pérez, C. P. (2009). *gestión de la contaminación atmosférica urbana: el caso de Quito.* 1–17.

- Raso, J. M. (1987). Variaciones recientes de la temperatura media en el observatorio del Ebro. *Madrid, Anales Universidad Complutense*, 7, 155-165.
- Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes. (2013). *ÓXIDOS DE NITRÓGENO*. <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
- REMMAQ. (2016). *ANTECEDENTES E INSTITUCIONALIDAD*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/generalidades>
- Russell, R. (13 de 06 de 2016). *Luz Visible*. Obtenido de [https://www.windows2universe.org/physical\\_science/magnetism/em\\_visible\\_light.html&lang=sp](https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_visible_light.html&lang=sp)
- Secretaría del Ambiente. (2010). Red de Monitoreo Atmosférico. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/generalidades>
- Sherydan, C. (2018). *Gulf Coast Systems Environmental*. <http://gcesystems.mx/oxidos-de-azufre/>
- Teledyne API Everywhereyoulook. (2015). Obtenido de <http://www.teledyne-api.com/products/sulfur-compound-instruments/t100>
- Thermo Fisher Scientific. (2017). Thermo Scientific™ Catalogo. Obtenido de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/431#/431>
- Tomassetti, Z. (2010). Impacto ambiental del transporte urbano en el gran Mendoza. *impacto ambiental del transporte urbano en el gran Mendoza*.
- Tornero, A., Ángel, M., Dorado, I., Rubio, M., Manuel, J., Segovia, P., ... Róales, R.-. (2011). *URBANA EN LA SALUD. Plan de Movilidad Empresarial como estrategia de prevención en Madrid Salud*. 1–43.
- Toro, V. (2011). *Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión corinair \**. (191), 42–49.
- TradingView. (04 de 05 de 2020). Obtenido de

<https://es.tradingview.com/covid19/>

World Health Organization. (2016). *DATOS ESTADISTICOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA*. Retrieved from <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>

Zalakeviciute, R., López, J., & Yves, R. (2018). *Contrasted Effects of Relative Humidity and Precipitation on Urban PM<sub>2.5</sub> Pollution in High Elevation Urban Areas*. <https://doi.org/10.3390/su10062064>

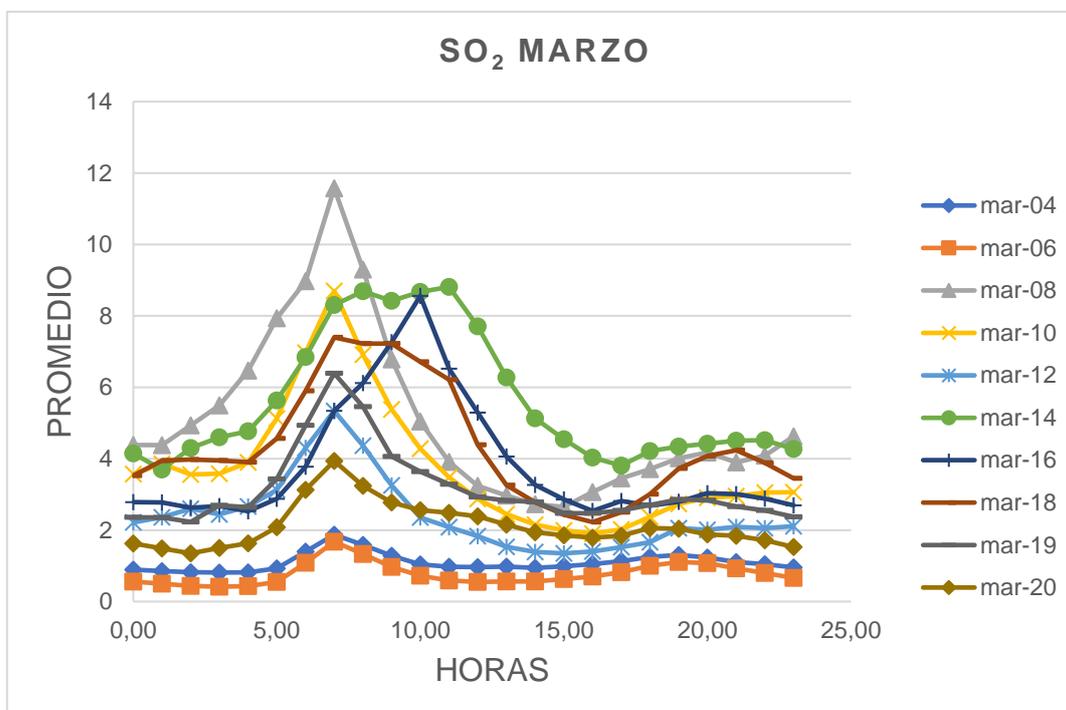
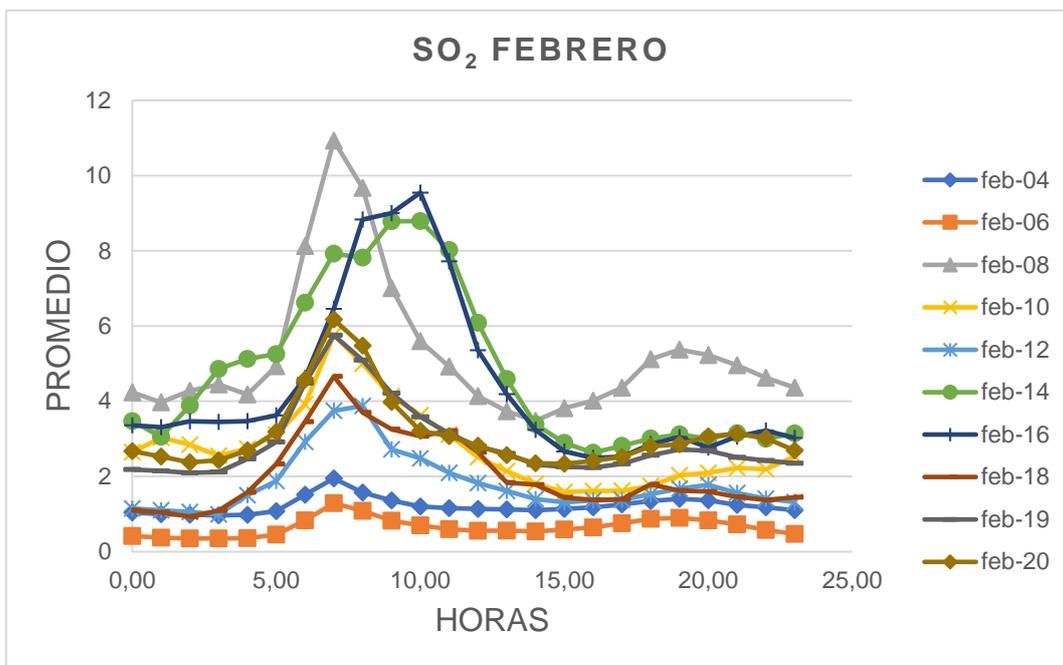
Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., Jesús, L., Valeria, M., & Suarez, D. (2018). Quantifying decade-long effects of fuel and traffic regulations on urban ambient PM<sub>2.5</sub> pollutions in a mid-size South American city. *Atmospheric Pollution Research*, 9, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.07.001>

Worldometer. (abril de 2020). *PANDEMIA DE CORONAVIRUS COVID-19*. Obtenido de <https://www.worldometers.info/coronavirus/>

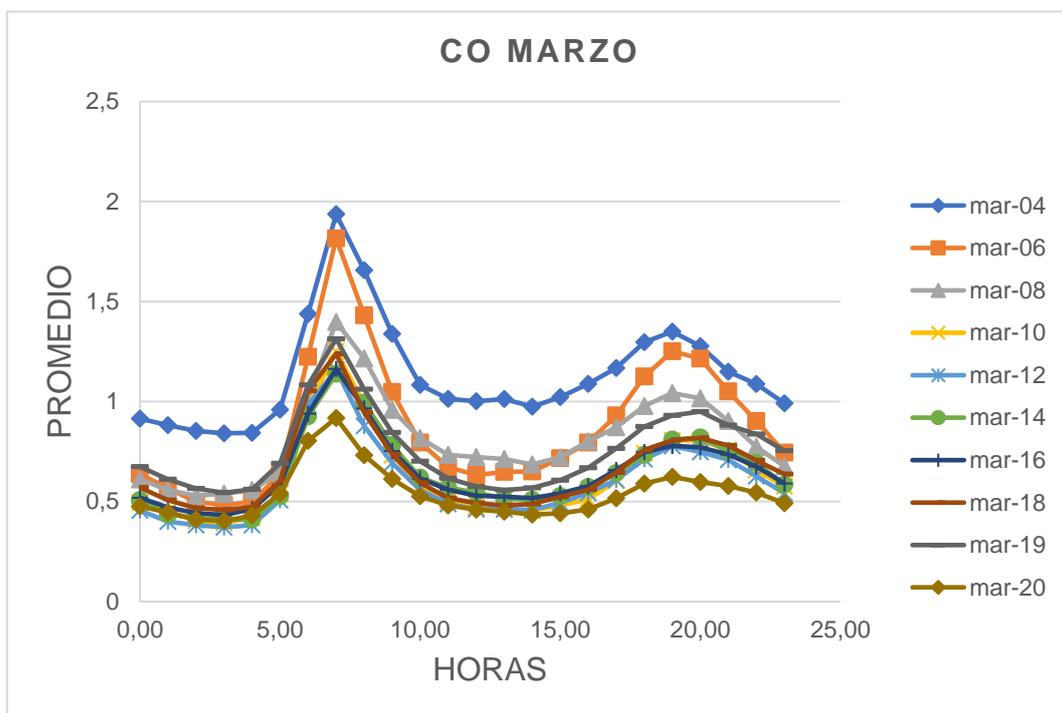
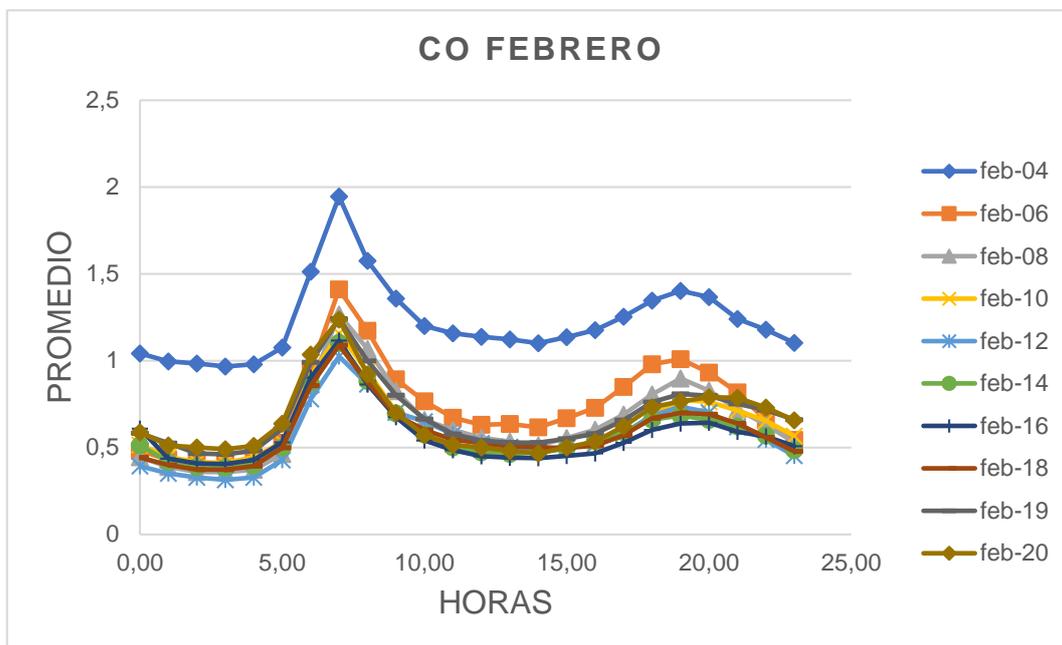
Zavala-Aguirre, J. L. (2008). *C Contaminación*.

## **ANEXOS**

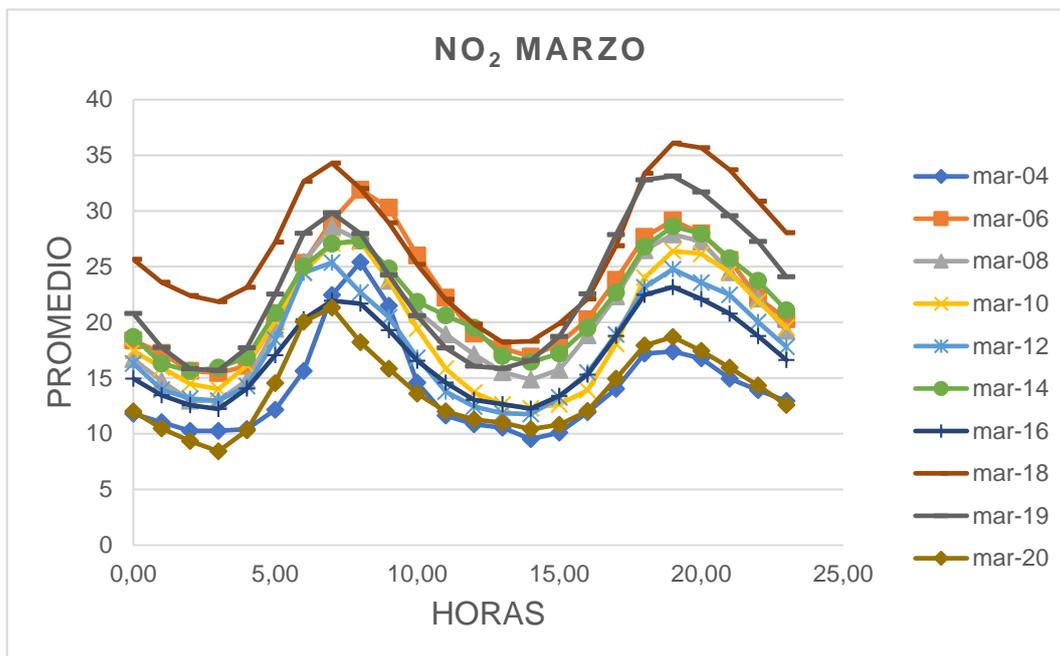
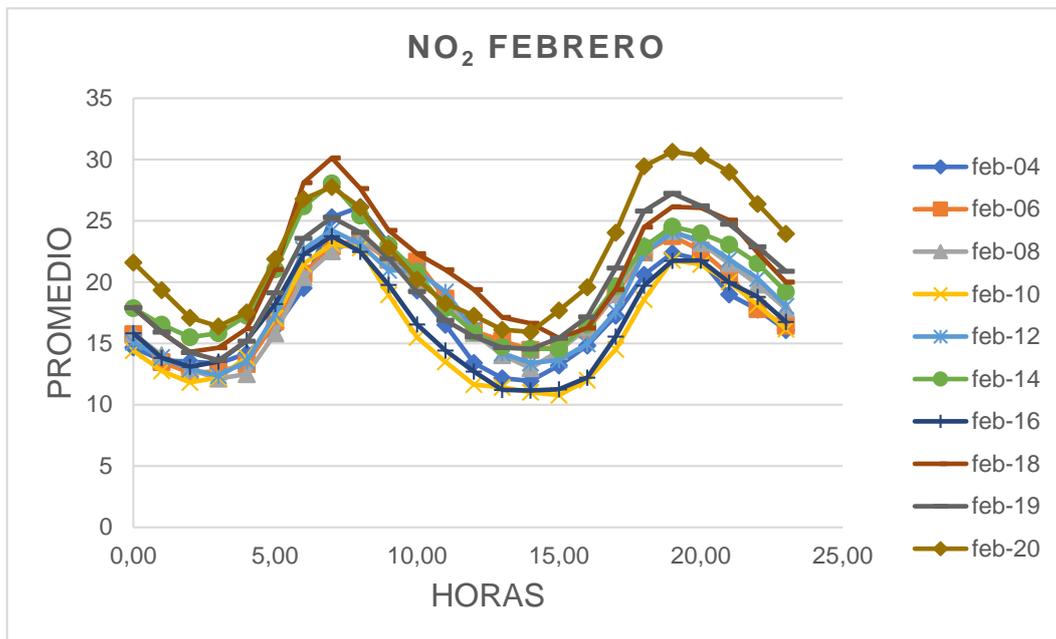
**Anexo 1:** Comparación de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el mes febrero y marzo de diferentes años.



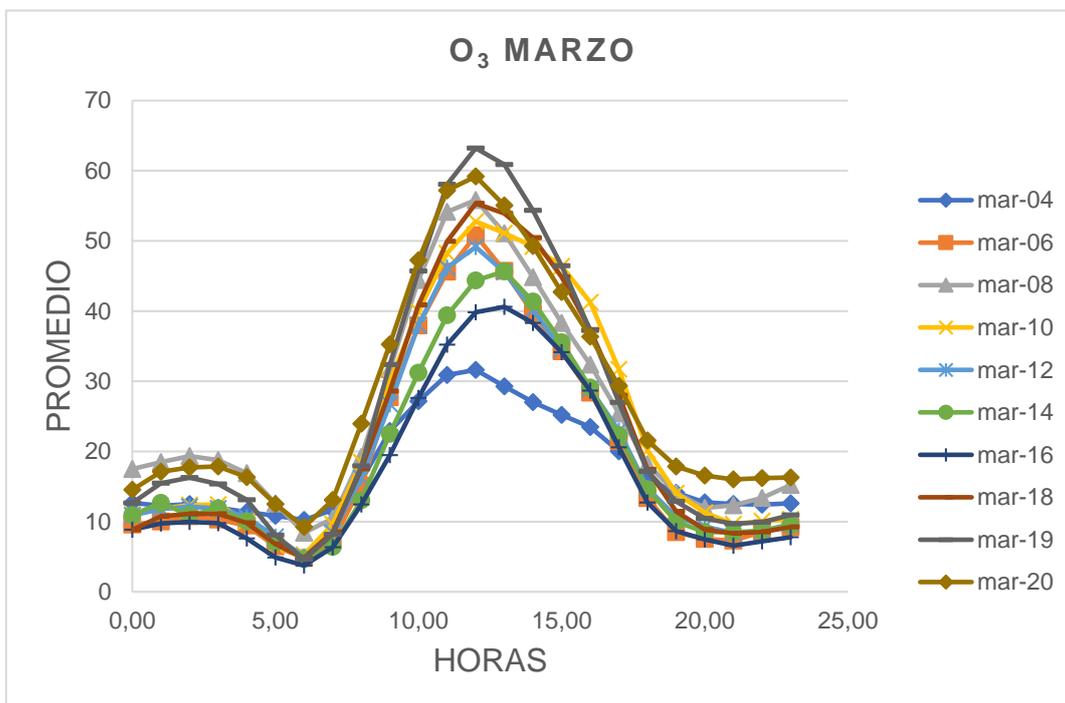
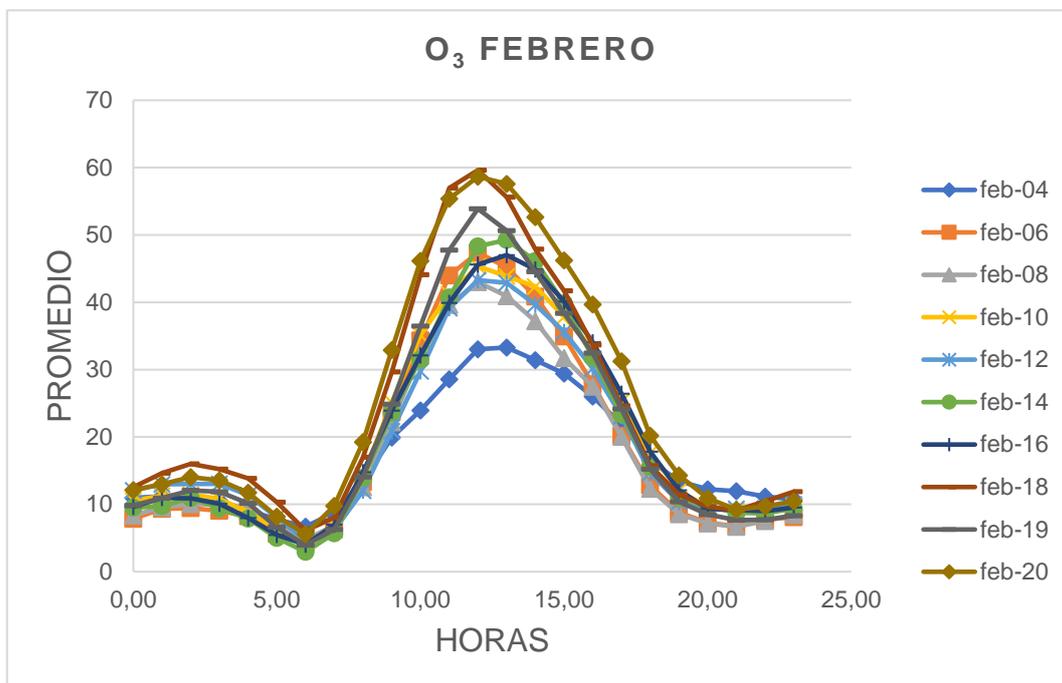
**Anexo 2:** Comparación de Monóxido de Carbono (CO) en el mes febrero y marzo de diferentes años.



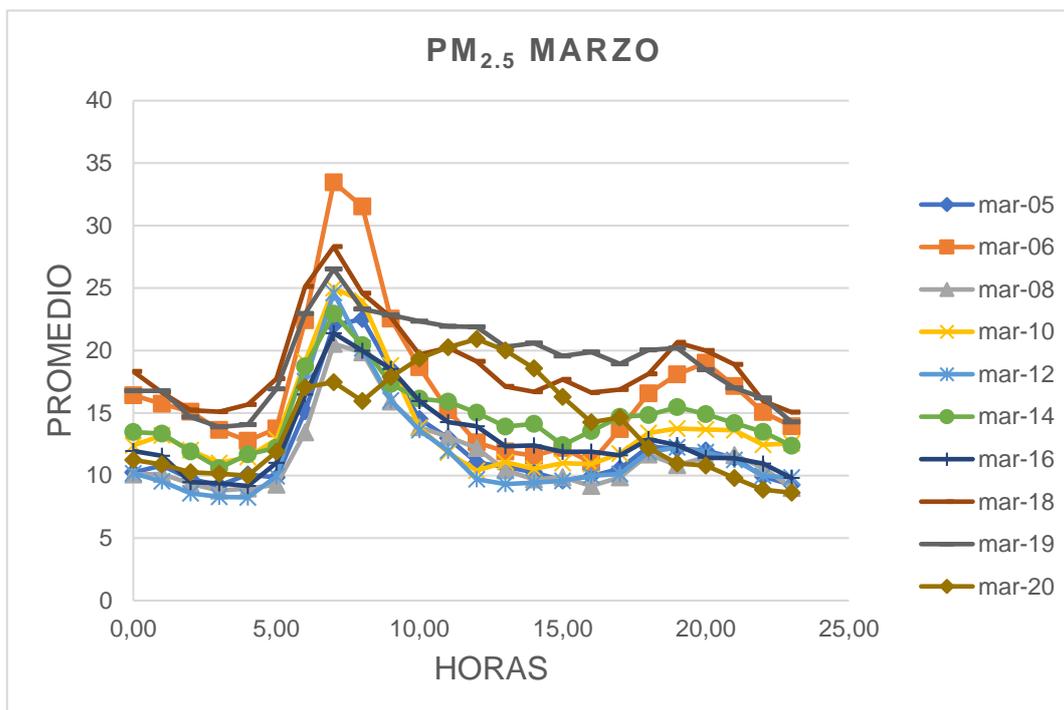
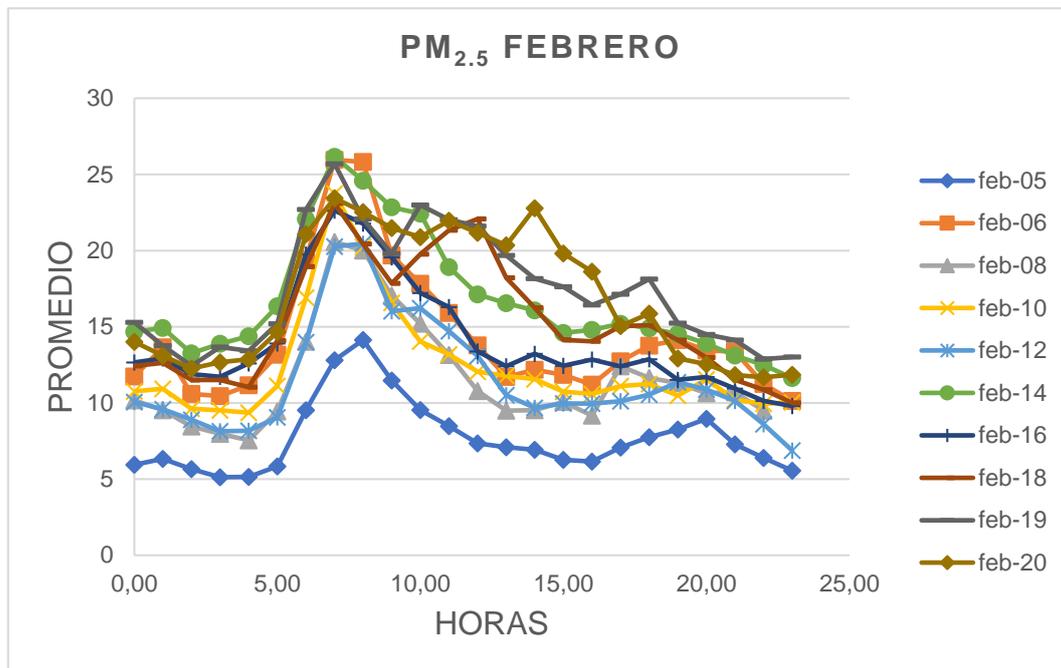
**Anexo 3: Comparación de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el mes febrero y marzo de diferentes años.**



**Anexo 4:** Comparación de Ozono ( $O_3$ ) en el mes febrero y marzo de diferentes años.



**Anexo 4: Comparación de Material particulado (PM<sub>2.5</sub>) en el mes febrero y marzo de diferentes años.**



**Anexo 4:** Comparación de Material particulado (PM<sub>10</sub>) en el mes febrero y marzo de diferentes años.

