

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su  
relación con el agente formador NO<sub>2</sub>, en la ciudad de Lima  
Metropolitana 2020 - 2021**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Catherine Magnolia Carrasco Suasaca  
Xiomara Yolanda Cano Delgadillo

**Asesor:**

Ing. Dario Ccaccya Ccaccya

Lima, mayo del 2023

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS


Yo Dario Ccaccya Ccaccya, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su relación con el agente formador NO<sub>2</sub>, en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 - 2021”** del (los) autor (autores) Xiomara Yolanda Cano Delgadillo, Catherine Magnolia Carrasco Suasaca tiene un índice de similitud de 19 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del o los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los doce días del mes de julio del año 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dario Ccaccya Ccaccya', written on a light blue grid background.

Nombres y apellidos del asesor  
Dario Ccaccya Ccaccya

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 13 días día(s) del mes de junio del año 2023 siendo las 09:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, y los demás miembros: **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y el **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, y el asesor **Ing. Dario Ccaccya Ccaccya**; con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su relación con el agente formador NO2, en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 - 2021".

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **CATHERINE MAGNOLIA CARRASCO SUASACA**

..... b) **XIOMARA YOLANDA CANO DELGADILLO**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**  
(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **CATHERINE MAGNOLIA CARRASCO SUASACA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): ..... **XIOMARA YOLANDA CANO DELGADILLO** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Milda Amparo  
Cruz Huaranga

\_\_\_\_\_  
Secretario  
Mg. Jackson Edgardo  
Pérez Carpio

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Dario Ccaccya  
Ccaccya

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Orlando Alan  
Poma Porras

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Joel Hugor  
Fernandez Rojas

\_\_\_\_\_  
Catherine  
Candidato/a (a)  
Catherine Magnolia

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Xiomara Yolanda

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
2.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
2.1.	Lugar de Estudio .....	8
2.2.	Metodología .....	11
2.2.1.	Registro de Concentraciones de Gases Contaminantes en el Aire.....	11
2.2.2.	Relación entre O <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> .....	12
2.2.2.1.	Tratamiento de datos.....	12
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	15
3.1.	Evaluación de las Concentraciones de O <sub>3</sub> .....	15
3.2.	Variación de concentraciones del NO <sub>2</sub> .....	18
3.3.	Relación entre O <sub>3</sub> y NO <sub>2</sub> .....	22
4.	CONCLUSIONES .....	25
5.	REFERENCIAS.....	27

## **Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su relación con el agente formador NO<sub>2</sub>, en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 - 2021**

### **Evaluation of Tropospheric Ozone concentrations and their relationship with the NO<sub>2</sub> forming agent, in the city of Metropolitan Lima 2020 - 2021**

Catherine Magnolia Carrasco Suasaca<sup>a</sup>, Xiomara Yolanda Cano Delgadillo<sup>b</sup>  
*EP, Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana  
Unión. Lima, Perú.*

#### **Resumen**

El presente artículo evaluó las concentraciones del O<sub>3</sub> y su relación con el NO<sub>2</sub> en Lima Metropolitana 2020-2021. Para este estudio, se procesaron datos horarios mensuales de la red de monitoreo calidad de aire de Lima, luego se seleccionaron aquellas estaciones y meses con registro horario  $\geq 75\%$  de representatividad. Los resultados muestran, en estación Campo de Marte, concentraciones de O<sub>3</sub> en abril-mayo 2020 se incrementaron a comparación del 2021, con temperatura 20.4°C y 18.9°C respectivamente. Además, se tiene un comportamiento similar en estación San Juan de Lurigancho, periodo junio 2020 y junio 2021. Las concentraciones de NO<sub>2</sub> en estación San Martín de Porres, periodo febrero y agosto 2020; febrero y agosto 2021, registraron un incremento de concentraciones en agosto a comparación de febrero para ambos años, debido a una disminución de velocidad del viento. La correlación positiva, cuando las concentraciones de NO<sub>2</sub> se incrementan e influye en la formación del O<sub>3</sub> y en correlación negativa, el NO<sub>2</sub> se incrementa y no influye en la formación del O<sub>3</sub>. Se concluye, que un incremento de temperatura favorece en la formación del O<sub>3</sub> a partir del NO<sub>2</sub> y la intensidad de velocidad del viento influye en la dispersión del contaminante, incrementando o reduciendo su concentración en el aire.

**Palabras claves:** *concentraciones, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, temperatura y velocidad de viento.*

#### **Abstract**

This article evaluated O<sub>3</sub> concentrations and their relationship with NO<sub>2</sub> in Metropolitan Lima 2020-2021. For this study, monthly hourly data from the Lima air quality monitoring network were processed, then those stations and months with hourly records  $\geq 75\%$  representativeness were selected. The results show, in Campo de Marte station, O<sub>3</sub> concentrations in April-May 2020 increased compared to 2021, with temperature 20.4°C and 18.9°C respectively. In addition, there is a similar behavior in San Juan de Lurigancho station, period June 2020 and June 2021. NO<sub>2</sub> concentrations in San Martín de Porres station, period February and August 2020; February and August 2021, recorded an increase in concentrations in August compared to February for both years, due to a decrease in wind speed. The positive correlation, when NO<sub>2</sub> concentrations increase and influence the formation of O<sub>3</sub> and in negative correlation, NO<sub>2</sub> increases and does not influence the formation of O<sub>3</sub>. It is concluded that an increase in temperature favors the formation of O<sub>3</sub> from NO<sub>2</sub> and the intensity of wind speed influences the dispersion of the pollutant, increasing or reducing its concentration in the air.

**Keywords:** *concentrations, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, temperature and wind speed.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) expone que el ozono troposférico se origina a partir de reacciones fotoquímicas entre la luz solar y gases contaminantes como los óxidos de nitrógenos ( $\text{NO}_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) emitidos en gran medida por los vehículos de motores diésel, gasolina [9] [24], quema de combustible y solventes químicos [19].

Actualmente, las emisiones de ozono troposférico es un problema ambiental en las ciudades a nivel del suelo, sus concentraciones aumentan según la intensidad de radiación solar y temperaturas altas repercutiendo en la salud de todo ser vivo [17]. Además, en primavera y verano son épocas en la que se alcanzan las máximas concentraciones debido a la alta presencia de radiación solar [26].

La OMS recomienda nuevos niveles de calidad del aire relacionado a los contaminantes perjudiciales como: partículas en suspensión (PM), ozono ( $\text{O}_3$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y monóxido de carbono (CO) [30]. Para el ozono, el máximo es  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en periodos de 8 horas y  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio de 8 horas en temporada máxima (la temporada máxima se define como la media de concentraciones máximas diarias de  $\text{O}_3$  en periodos de 8 horas durante los seis meses consecutivos con el promedio móvil más alto [19]).

En América del Sur la OMS clasifica a Santiago de Chile como una de las ciudades más contaminadas del Mundo por presentar condiciones geográficas y meteorológicas desfavorables, como factores para una conveniente dispersión de contaminantes [14]. Además, durante la época estival entre los años 1998 al 2006 fue declarada zona saturada por ozono troposférico alcanzando altos niveles en verano [13]. Asimismo, en la ciudad de Zulia, Venezuela, durante el año 2009, se tuvo los valores máximos de concentración de ozono en la época seca (enero a abril y diciembre) [2]. Por otro lado, en la ciudad de La Paz, Bolivia, los niños presentan Enfermedades Respiratorias Agudas (IRA) debido a que diariamente nuestros pulmones filtran alrededor de 15 kg de aire, y al estar contaminado llega a tener un efecto dañino para la salud. En efecto, a mayor concentración de ozono troposférico en la atmósfera habrá un crecimiento en la población de niños enfermos en un tiempo de exposición determinado [13]. A lo anterior, se le suma que, en la ciudad de Guadalajara, México, se tiene la presencia de enfermedades cardiovasculares tanto por exposición aguda, como crónica, porque el ozono ataca fácilmente el tracto respiratorio inferior y debido a sus propiedades oxidantes rompe vínculos moleculares dañando rápidamente el tejido humano [7].

En el Perú, se cuenta con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire aprobado por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) y estipulados en [3], la concentración para el ozono es  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medida máxima de un promedio diario de periodos de 8 horas y no debe exceder más de 24 veces al año. Además, también se tiene las guías de la OMS empleadas a nivel mundial. En la ciudad de Lima la causa principal de la contaminación del aire son las emisiones generadas por el parque automotor, constituido en gran parte por vehículos antiguos y sin una regulación adecuada. Una contaminación importante y nociva es el contenido de azufre en el diésel, que supera las 5 000 partes por millón (ppm), cuando debería estar en menos de 500 ppm. (Grupo de Trabajo Multisectorial Propuesta para un Ministerio del Ambiente, 2008).

En las ciudades de Lima, Ica y Arequipa, las concentraciones máximas de ozono troposférico se alcanzan en las horas cercanas al mediodía. Esto es durante las horas de mayor radiación solar y altas temperaturas, condiciones favorables para la formación de este [17]. Además, en la ciudad de Huánuco específicamente en los distritos de Amarilis y Pillco Marca, a través de una comparación en prospectiva para el año 2025, superarían el 200% en ozono [8].

Las emisiones antropogénicas de  $\text{NO}_x$  disminuyeron en un 15% a nivel mundial y entre un 18% y 15% a nivel regional en abril y mayo del 2020, lo que disminuyó el ozono troposférico libre hasta en 5ppb equivalente a  $10.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $1\text{ppb} = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de acuerdo con las observaciones satelitales independientes. La carga global total de ozono troposférico disminuyó en 6Tg de  $\text{O}^3$  (Tg = teragramo) (2%) en mayo y junio de 2020, en gran parte debido a las reducciones de emisiones de Asia y las Américas que se vieron amplificadas por las altas eficiencias de producción de ozono a nivel regional hasta en 4Tg de  $\text{O}^3/\text{Tg}$  de N. En efecto, durante la pandemia de COVID-19 se ha dejado una huella atmosférica global que altero la capacidad oxidativa atmosférica y forzamiento climático, proporcionando una prueba de la eficacia de los controles de emisiones de NOX para beneficiar conjuntamente la calidad del aire y el clima [21].

Esta investigación contribuirá a la provisión de información sobre la variación de las concentraciones de los contaminantes en el aire a causa de la covid-19 en comparación con los cambios posteriores, cuando se ha reanudado las actividades económicas en la Ciudad de Lima.

El 15 de marzo del 2020 en el Perú se declaró el estado de emergencia sanitaria por la pandemia de la covid-19, situación crítica para la salud de la población, pero favorable para el ambiente, especialmente de la ciudad de Lima donde se registran altos niveles de contaminación ambiental

previos a la pandemia [3]. La presente investigación tiene como objetivo evaluar las concentraciones de ozono troposférico y su relación con el agente formador  $\text{NO}_2$  en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 – 2021 a partir de los datos registrados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [28] [29].

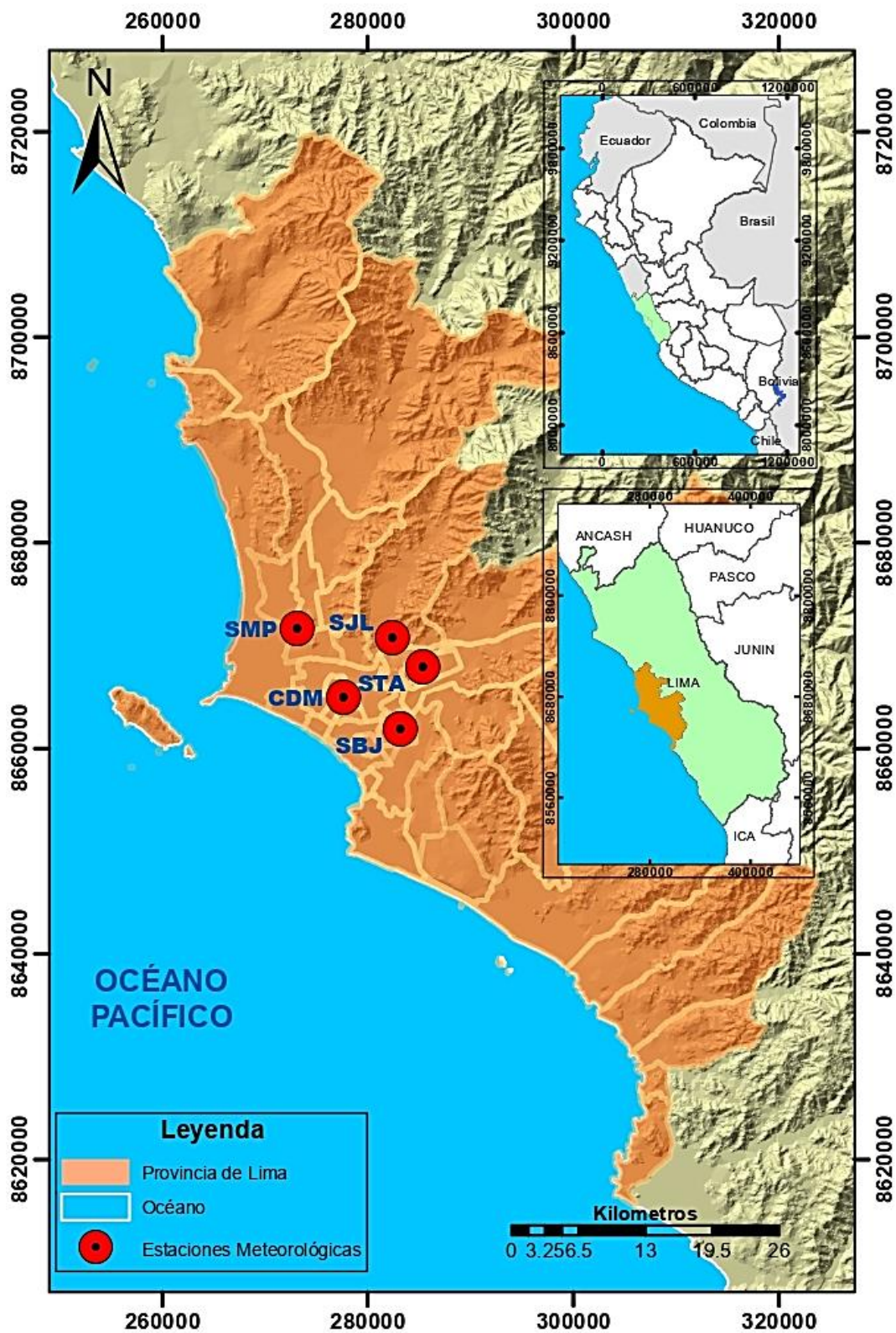
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de Estudio

La ciudad de Lima se encuentra a 154 m.s.n.m. entre los 8 665 531.99 m S y 297 062.28 m E (Google Earth Pro, 2022). Además, está ubicada en la región central y occidental del territorio peruano abarcando zonas interandinas y del litoral según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [19]. El último censo realizado en el 2017 señala que la Ciudad de Lima Metropolitana cuenta con 8 574 974 habitantes, en el que se evidencia una tasa de crecimiento promedio de 1.2% respecto al censo 2007 descritos [18].

Los datos de Calidad de Aire fueron proporcionados por el (SENAMHI) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología para el periodo de estudio de los años 2020 al 2021. El monitoreo de la calidad de aire en Lima Metropolitana, ejecuta dos organizaciones. La Dirección General de Salud Ambiental entidad que es parte del Ministerio de Salud. La segunda organización Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, entidad que pertenece al Ministerio del Ambiente, esta entidad supervisa la meteorología y la calidad del aire en 10 estaciones Meteorológicas como Ate (ATE), Santa Anita (STA), Huachipa (HCP), San Juan de Lurigancho (S JL), Puente Piedra (PPD), Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), Campo de Marte (CDM), San Borja (SBJ) y Villa María del Triunfo (VMT). Las estaciones meteorológicas registran los siguientes parámetros: dirección de viento, velocidad de viento, humedad, precipitación, temperatura, material articulado grueso menor a 10 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$ ), material particulado fino ( $\text{PM}_{2.5}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). En la investigación se utilizó el software R que es un programa para el análisis estadístico y gráfico de datos, su paquete Openair que está diseñado para el análisis de la calidad de aire.

La figura 1 muestra el área de estudio de Lima Metropolitana, asimismo se visualiza las estaciones meteorológicas automáticas de la calidad del aire detallados en la tabla 2, que monitorean en tiempo real las concentraciones de 6 contaminantes como:  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  [22].



**Figura 1:** Mapa de ubicación de la ciudad de Lima Metropolitana y sus estaciones de la calidad de aire.

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación

**Cuadro 1.** Distribución de la Población de la Ciudad de Lima Metropolitana.

Zona	Población
Lima Norte	2, 465, 288
Lima Este	2, 491, 856
Lima Sur	1, 392, 492
Lima Centro	1, 183, 255
Lima Centro Sur	1, 042, 113
Total	8, 574, 974

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018)

**Cuadro 2.** Estaciones Meteorológicas de Lima y Callao.

Zona	Nombre de la Estación	Ubicación	Latitud S	Longitud E	Estado
Norte	Puente Piedra (PPD)	Complejo Municipal Gallo de Oro – Puente Piedra	8 687 726.91	274 050.48	Inactivo
	Carabayllo (CRB)	Piscina Municipal de Carabayllo	8 683 451.77	278 492.27	Activo
	San Martín de Porres (SMP)	Parque Ecológico de San Martín de Porres	8 671 609.08	273 051.83	Activo
Este	San Juan de Lurigancho (SJL)	Universidad César Vallejo – San Juan de Lurigancho	8 674 686.34	282 306.56	Activo
	Huachipa (HCH)	Palacio Municipal de Huachipa	8 670 829.39	287 827.93	Activo
	Ate (ATE)	Parque frente al Municipal de Ate	8 669 824.03	291 099.95	Activo
	Santa Anita (STA)	Palacio Municipal de Santa Anita	8 667 925.59	285 386.52	Activo
Centro	Campo de Marte (CPM)	Campo de Marte – Jesús María	8 664 772.09	277 612.84	Activo
	San Borja (SBJ)	Complejo Polideportivo Limatambo – San Borja	8 660 634.12	281 489.65	Activo
Sur	Villa María del Triunfo (VMT)	Parque Nueva Esperanza – Villa María del Triunfo	8 654 310.71	2914 092.78	Activo

Fuente: SENAMHI (2019) y Extraído de Google Earth Pro (2022).

## 2.2. Metodología

A partir de los datos registrados por la red de estaciones meteorológicas y de calidad del aire de Lima y Callao. Se aplicó el tipo de investigación cuantitativa y diseño correlacional para la relación que existe entre variables, en la cual se seleccionaron datos con una representatividad mayor o igual al 75% y establecieron escenarios de análisis para los gases  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ , con el fin de establecer relaciones en la formación de  $\text{O}_3$  en diferentes periodos de evaluación.

### 2.2.1. Registro de Concentraciones de Gases Contaminantes en el Aire

Según el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire el procedimiento de monitoreo consiste en obtener información de manera continua y en tiempo real mediante las estaciones meteorológicas automáticas del SENAMHI las cuales se mencionan en la tabla 2 [16].

Para el monitoreo de  $\text{O}_3$  se emplea el Método Automático por Fotometría de Absorción Ultravioleta (UV), en el cual una muestra de aire ingresa a una cámara óptica a través de un depurador que separa el ozono de la muestra, se hace una comparación para calcular la concentración, que luego se corrige por las condiciones de temperatura y presión en la celda de absorción [16].



**Figura 2.** Estación de monitoreo en Ate Vitarte, Lima

Fuente: SENAMHI (2016).

Para los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se utiliza el método del sensor de Quimioluminiscencia que consiste en reaccionar el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) con el ozono ( $\text{O}_3$ ) generado por el equipo para formar dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Luego, el  $\text{NO}_2$  cuando vuelve a su estado fundamental emite una cantidad de radiación quimioluminiscente que es proporcional a la concentración de  $\text{NO}$  presente en la muestra de aire. La determinación de la concentración de  $\text{NO}_x$  se establece en dos pasos de medición, cuando la muestra llega directamente a la celda de reacción sin pasar por el convertidor la concentración detectada corresponde al  $\text{NO}$  existente y el microprocesador guarda la lectura tanque a través del convertidor  $\text{NO}_2$  y se convierte en  $\text{NO}$ , la concentración detectada se agrega a

la concentración de NO de la etapa anterior y se informa como NO<sub>x</sub> total. Finalmente, para calcular la concentración de NO<sub>2</sub> se aplica la diferencia entre NO y NO<sub>x</sub>. [16].

### 2.2.2. Relación entre O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>

El ozono troposférico es un contaminante secundario en la atmósfera formado fotoquímicamente por los agentes contaminantes primarios que reaccionan con la radiación solar [15].

Estos agentes contaminantes primarios como los óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) son generados principalmente por las fábricas industriales y el parque automotor [1].

#### 2.2.2.1. Tratamiento de datos

Se ordenó los registros horarios de las estaciones meteorológicas Puente Piedra (PPD), Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (S JL), Huachipa (HCH), Ate (ATE), Santa Anita (STA), Campo de Marte (CPM), San Borja (SBJ) y Villa María del Triunfo (VMT) para los parámetros de la calidad del aire NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> durante los años 2020 y 2021, luego se seleccionaron aquellas estaciones y meses que presentaron un registro horario  $\geq$  al 75%, lo cual indica una representatividad en los datos, presentados en la tabla 3, 4, 5 y 6.

**Cuadro 3.** Meses con un registro de datos  $\geq$ 75% de O<sub>3</sub> durante el 2020.

Estación Meteorológica	Periodo de Evaluación											
	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
CPM	-	-	-	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	-	-	$\geq$ 75%	-	-	-
VMT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SBJ	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S JL	-	-	-	-	-	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	$\geq$ 75%
CRB	-	-	-	-	-	-	-	-	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	-
SMP	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STA	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	$\geq$ 75%	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación

La tabla 3 y 4 presenta en porcentajes los registros horarios mensuales de las concentraciones de O<sub>3</sub> durante los años 2020 y 2021 respectivamente, se observa que el 2020 presenta el doble de datos a comparación del 2021.

La tabla 3 correspondiente al 2020 indica que, de las siete estaciones automáticas, seis registran al menos un mes o más con un 75% de representatividad en las concentraciones de O<sub>3</sub>, se observa que las estaciones con mayores meses registrados son SJL y STA, las estaciones que presentan entre dos a tres meses de registros son CPM, SBJ, CRB y SMP, la estación VMT no presentó registros durante el 2020.

**Cuadro 4.** *Meses con un registro de datos  $\geq 75\%$  de O<sub>3</sub> durante el 2021.*

Estación Meteorológica	Periodo de Evaluación												
	2021 Ene	2021 Feb	2021 Mar	2021 Abr	2021 May	2021 Jun	2021 Jul	2021 Ago	2021 Set	2021 Oct	2021 Nov	2021 Dic	
CPM	-	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	
VMT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SBJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SJL	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	
CRB	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SMP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
STA	-	-	-	-	-	-	-	-	$\geq 75\%$	-	-	-	

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación

La tabla 4 correspondiente al 2021 indica que, de las siete estaciones automáticas, cuatro registran al menos un mes o más con un 75% de representatividad en las concentraciones de O<sub>3</sub>, se observa que las estaciones con mayores meses registrados son CPM y SJL, las estaciones que presentaron solo un mes de registros son CRB y STA, las estaciones VMT, SBJ y SMP no presentaron registros durante el 2021.

**Cuadro 5.** *Meses con un registro de datos  $\geq 75\%$  de NO<sub>2</sub> durante el 2020.*

Estación Meteorológica	Periodo de Evaluación												
	2020 Ene	2020 Feb	2020 Mar	2020 Abr	2020 May	2020 Jun	2020 Jul	2020 Ago	2020 Set	2020 Oct	2020 Nov	2020 Dic	
CPM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
VMT	-	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	$\geq 75\%$	-	-	-	
SBJ	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SJL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CRB	-	-	-	-	-	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	
SMP	-	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	
STA	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	-	-	-	

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación

La tabla 5 y 6 presenta en porcentajes los registros horarios mensuales de las concentraciones de NO<sub>2</sub> durante los años 2020 y 2021 respectivamente, se observa que el 2020 presenta el doble de datos a comparación del 2021.

La tabla 5 correspondiente al 2020 indica que, de las siete estaciones automáticas, cinco registran al menos dos meses o más con un 75% de representatividad en las concentraciones de NO<sub>2</sub>, se observa que las estaciones con mayores meses registrados son STA y VMT, las estaciones que presentan entre dos a cuatro meses de registros son SBJ, CRB y SMP, las estaciones CPM y SJL no presentaron registros durante el 2020.

**Cuadro 6.** *Meses con un registro de datos  $\geq 75\%$  de NO<sub>2</sub> durante el 2021.*

Estación Meteorológica	Periodo de Evaluación											
	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
CPM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\geq 75\%$
VMT	-	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SBJ	-	-	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SJL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CRB	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SMP	-	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	-	$\geq 75\%$	-	-	$\geq 75\%$	-
STA	-	-	-	-	-	-	-	$\geq 75\%$	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación

La tabla 6 correspondiente al 2021 indica que, de las siete estaciones automáticas, seis registran al menos un mes o más con un 75% de representatividad en las concentraciones de NO<sub>2</sub>, se observa que la estación con mayores meses registrados es SMP, las estaciones que presentan entre uno a dos meses de registros son CPM, VMT, SBJ, CRB y STA, la estación SJL no presentó registros durante el 2021.

A partir de las tablas 3, 4, 5 y 6 se estableció tres grupos de escenarios de análisis, el primero para el O<sub>3</sub>, el segundo para el NO<sub>2</sub> y el tercero para la relación entre O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, donde se muestran las estaciones y meses seleccionados. Para las concentraciones de O<sub>3</sub> se seleccionaron las estaciones y meses de: CPM abril - mayo del 2020 y abril - mayo del 2021; y SJL junio 2020 y junio 2021. Para las concentraciones de NO<sub>2</sub> se seleccionaron las estaciones y meses de: SMP febrero y agosto del 2020, y febrero y agosto del 2021; y STA agosto 2020 y agosto 2021. Para las relaciones de O<sub>3</sub> y

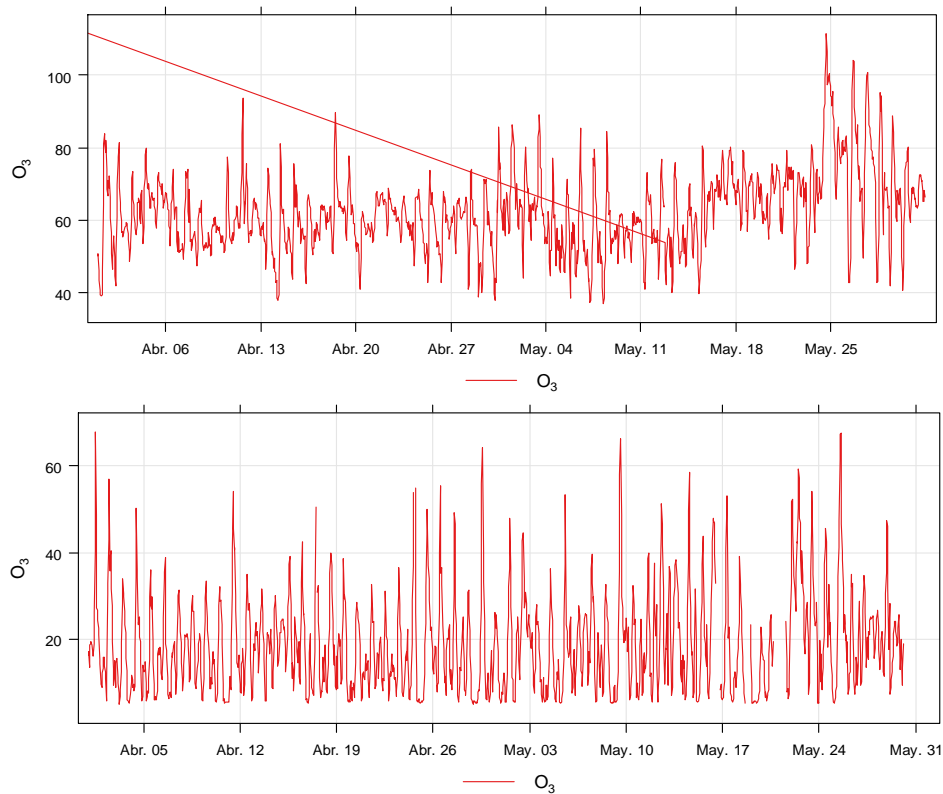
NO<sub>2</sub> se seleccionaron las estaciones y meses de: SBJ enero - febrero del 2020, SMP febrero 2020 y; STA enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio del 2020.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Luego de desarrollar el tratamiento de datos para aquellas estaciones que presentaron un registro horario mensual  $\geq$  al 75%, se seleccionaron las estaciones meteorológicas; San Martin de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (SJL), Santa Anita (STA), Campo de Marte (CPM) y San Borja (SBJ) para el O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> durante los años 2020 y 2021. Finalmente, se generaron diagramas de series de tiempo y diagramas de correlación para el O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, se obtuvieron los siguientes resultados donde se muestra la variación de concentraciones de los agentes contaminantes.

#### 3.1. Evaluación de las Concentraciones de O<sub>3</sub>

A continuación, en las figuras 3 y 4 se muestra la variación de concentraciones horarias de O<sub>3</sub> registradas durante los meses abril y mayo, en la estación Campo de Marte (CPM) ubicada al centro de Lima, se observa mayores concentraciones durante el 2020 (arriba) a comparación del 2021 (abajo).

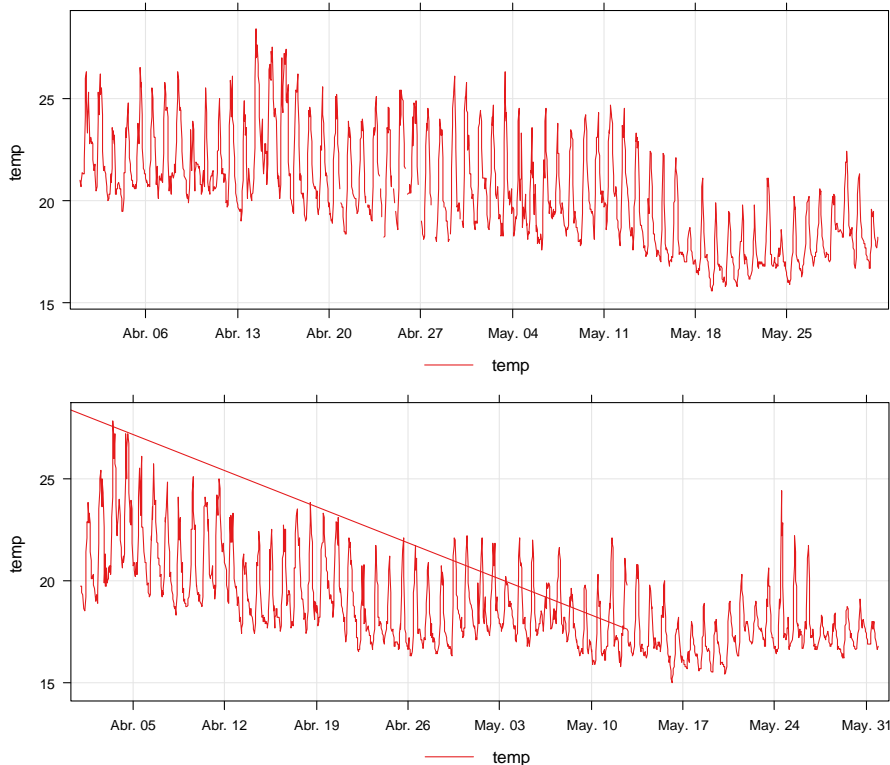


**Figura 3 y 4** Variación de concentraciones en el aire en ug/m<sup>3</sup> de O<sub>3</sub> en la estación CPM durante los meses abril - mayo del 2020 (Arriba) y abril - mayo del 2021 (Abajo).

Durante el periodo abril-mayo del 2020 se observa mayores concentraciones de O<sub>3</sub> con un registro mínimo de 36.9 ug/m<sup>3</sup>, un registro máximo de 111.3 ug/m<sup>3</sup> y en promedio una concentración de 62.31 ug/m<sup>3</sup>, siendo estos registros tolerables en la calidad del aire al no sobrepasar el ECA-Aire 2017 MINAM, salvo los registros a partir del 24 de mayo que supera el ECA-Aire con concentraciones mayores a 100 ug/m<sup>3</sup>. A comparación en el periodo abril-mayo del 2021 las concentraciones de O<sub>3</sub> presentan un registro menor, con un mínimo de 4.8 ug/m<sup>3</sup>, un registro máximo de 67.8 ug/m<sup>3</sup> y en promedio una concentración de 18.66 ug/m<sup>3</sup>, representando estos valores concentraciones muy por debajo del ECA-Aire.

Cabe mencionar que el domingo 15 de marzo del 2020 se da inicio a la cuarentena obligatoria social en la ciudad de Lima, paralizando las actividades económicas en la ciudad por la pandemia del SARS-CoV-2 y reanudando las actividades económicas (fase 3) de la ciudad el 1 de julio del 2020. A partir de esto podemos mencionar que durante el periodo abril-mayo del 2020 las emisiones presentes en la atmosfera por parte de las actividades generadoras de emisiones en la ciudad se vieron reducidas por la paralización de estas, sin embargo este periodo presenta mayores concentraciones de O<sub>3</sub> a comparación del periodo abril-mayo del 2021 siendo este un periodo donde las actividades económicas generadoras de emisiones a la atmosfera se dan sin ninguna restricción y de manera normal a comparación del periodo de pandemia.

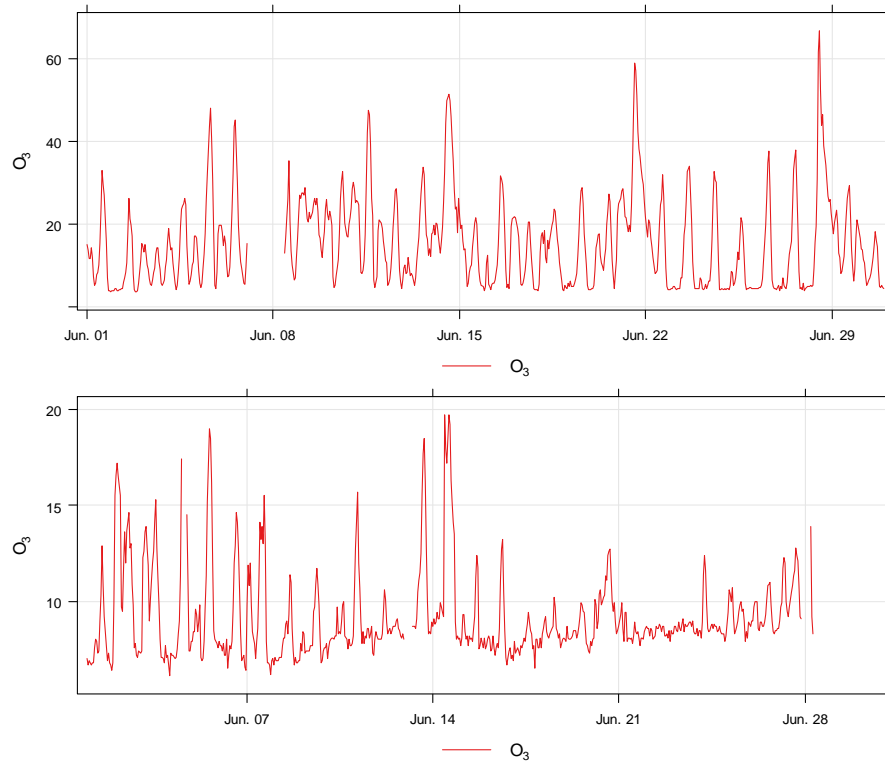
Debido a esto la explicación de las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> durante el periodo abril-mayo 2020 a comparación del periodo abril-mayo 2021 se debería a la temperatura y radiación solar registrada en ambos años, como se muestra las figuras 5 y 6, se observa un mayor registro de temperatura promedio (20.4 °C) durante el año 2020 a comparación del 2021 (18.9 °C), lo cual interviene en el proceso de formación de O<sub>3</sub> generando una mayor concentración de este gas en el aire a pesar de que las actividades económicas generadoras de emisiones que dan origen al O<sub>3</sub> son menores durante este periodo a comparación del 2021.



**Figura 5 y 6** Variación de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) del aire en la estación CPM durante los meses abril - mayo del 2020 (Arriba) y abril - mayo del 2021 (Abajo).

Por otro lado, se observa en la figura 7 y 8 un patrón similar en los registros de concentraciones de  $\text{O}_3$  en la estación San Juan de Lurigancho (SJL) ubicada al norte de Lima, donde en junio del 2020 mes sin actividades económicas generadoras de emisiones formadoras de  $\text{O}_3$  registran mayores concentraciones a comparación de junio del 2021 mes con actividades económicas sin restricciones por la pandemia del SARS-CoV-2.

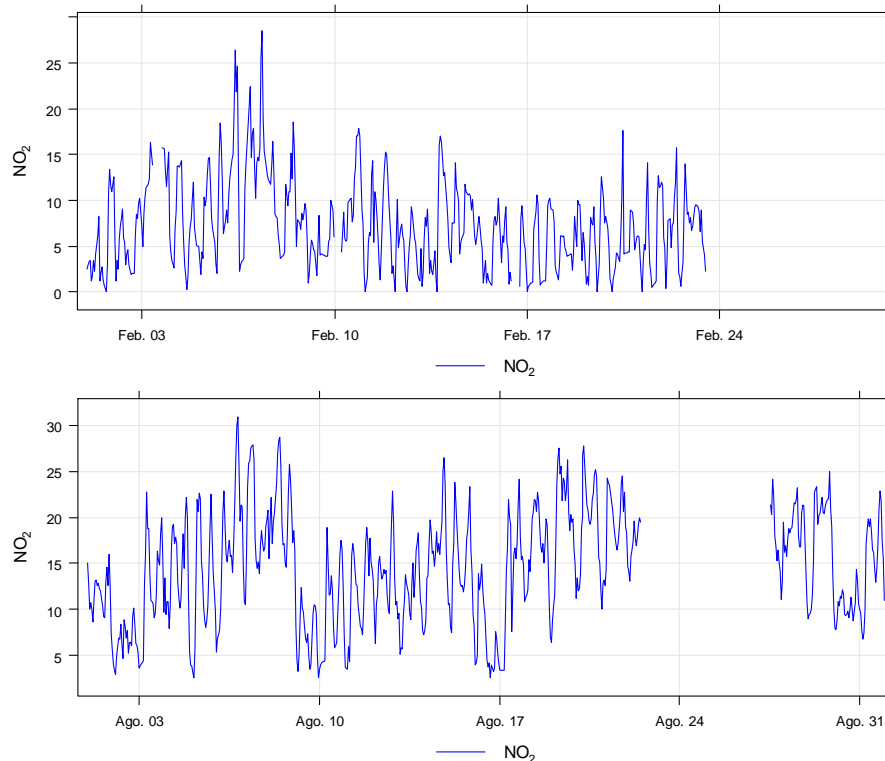
Durante junio del 2020 se observa concentraciones de  $\text{O}_3$  con un registro mínimo de  $3.5 \text{ ug/m}^3$ , un máximo de  $66.6 \text{ ug/m}^3$  y un promedio de  $15.34 \text{ ug/m}^3$ , a comparación de junio del 2021 que registra un mínimo de  $6.1 \text{ ug/m}^3$ , un máximo de  $19.7 \text{ ug/m}^3$  y un promedio de  $9.1 \text{ ug/m}^3$ , siendo estos valores registros que no superaron el ECA-Aire en ambos periodos con registros de temperaturas promedio de  $18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $16.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Ambos registros de las concentraciones de  $\text{O}_3$  están influenciadas por la diferencia de temperatura y radiación solar de los diferentes años 2020 y 2021, como se observa en la figura 5 y 6.



**Figura 7 y 8** Variación de concentraciones en el aire en ug/m<sup>3</sup> de O<sub>3</sub> en la estación SJL durante junio 2020 (Arriba) y junio 2021 (Abajo).

### 3.2. Variación de concentraciones del NO<sub>2</sub>

A continuación, en las figuras 9, 10, 11 y 12 se muestra la variación de concentraciones horarias de NO<sub>2</sub> registradas en los meses de febrero y agosto del 2020; febrero y agosto del 2021, en la estación San Martín de Porres (SMP) ubicada al oeste de Lima, se observa mayores concentraciones en agosto a comparación de febrero para ambos años 2020 y 2021.



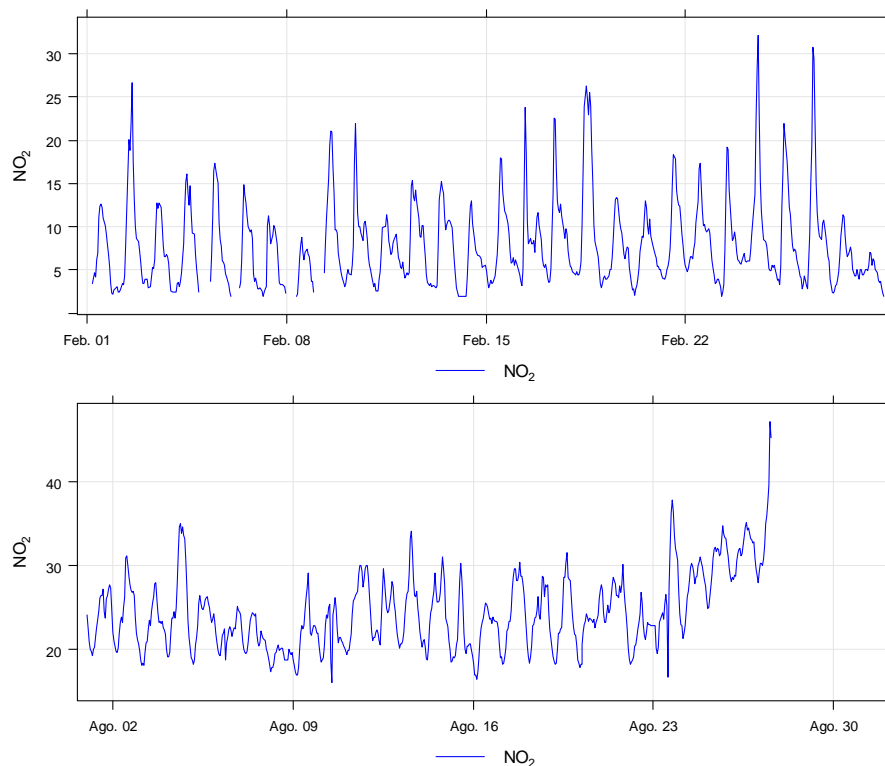
**Figura 9 y 10** Variación de concentraciones en el aire en  $\text{ug/m}^3$  de  $\text{NO}_2$  en la estación SMP durante febrero 2020 (Arriba) y agosto 2020 (Abajo).

Se observa en la figura 9 y 10 las concentraciones horarias de  $\text{NO}_2$  para el año 2020 en la figura 9 (arriba) del mes de febrero presenta menores concentraciones de  $\text{NO}_2$  con un registro mínimo de  $0.0 \text{ ug/m}^3$ , un registro máximo de  $28.5 \text{ ug/m}^3$  y en promedio una concentración de  $7.25 \text{ ug/m}^3$ , en la figura 10 (abajo) del mes de agosto presenta una mayor concentración de  $\text{NO}_2$  con un registro mínimo de  $2.5 \text{ ug/m}^3$ , un registro máximo de  $30.9 \text{ ug/m}^3$  y en promedio una concentración de  $14.43 \text{ ug/m}^3$ , estos registros para ambos meses del 2020 están muy por debajo de los ECA-Aire 2017 MINAM de  $200 \text{ ug/m}^3$ . Cabe mencionar que en estos dos meses las actividades económicas generadoras de estas emisiones no están sujetas a restricciones por la pandemia y cuarentena a causa del SARS-CoV-2, sin embargo, el mes de agosto del 2020 presenta actividades económicas generadoras de emisiones reducidas por la inicial reactivación económica y fin de cuarentena.

Una explicación a la variación de concentraciones en los meses de febrero y agosto del 2020 es la velocidad del viento registrada, con una velocidad mínima de  $1 \text{ m/s}$ , una velocidad máxima de  $3.6 \text{ m/s}$  y una velocidad promedio de  $2.1 \text{ m/s}$  para el mes de febrero, y una velocidad mínima de  $0 \text{ m/s}$ , una velocidad máxima de  $3.7 \text{ m/s}$  y una velocidad promedio de  $1.6 \text{ m/s}$  para el mes de agosto, se

observa que la velocidad del viento en agosto es menor a febrero lo que influye en la reducción de la dispersión del  $\text{NO}_2$  en el aire, e incrementado el registro de la concentración de  $\text{NO}_2$ .

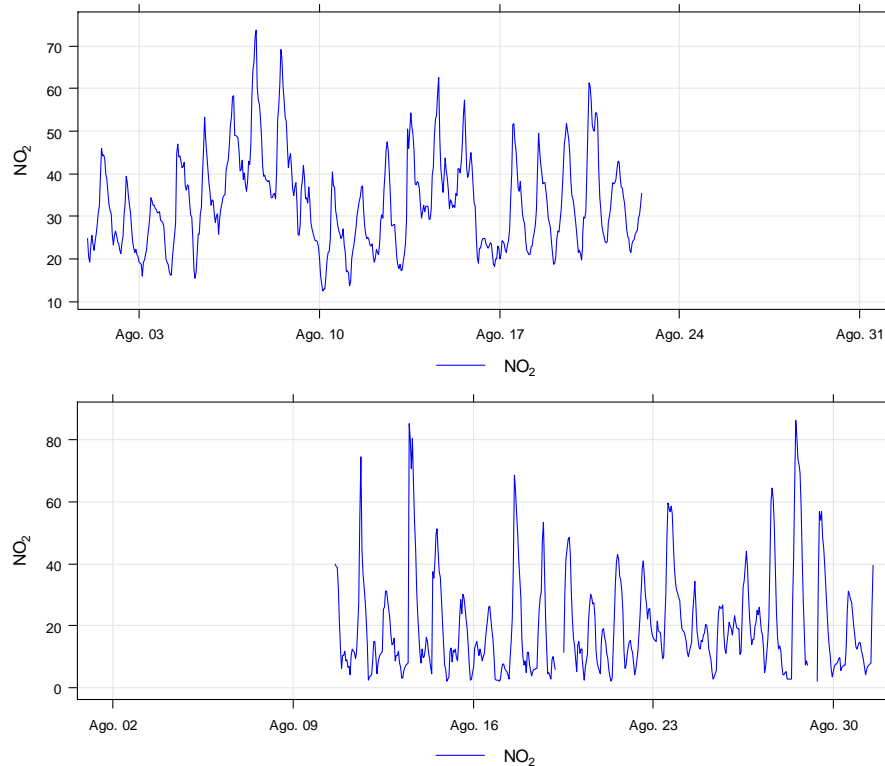
La figura 11 y 12 presenta las concentraciones de  $\text{NO}_2$  en los meses de febrero y agosto del 2021 en la estación San Martín de Porres (SMP) ubicada al oeste de Lima, teniendo en consideración que las actividades económicas generadoras de emisiones durante este periodo están en actividad sin ninguna restricción, observamos un comportamiento similar al 2020 en la variación de concentraciones para ambos meses, menores concentraciones en febrero y mayores concentraciones en agosto del 2021.



**Figura 11 y 12** Variación de concentraciones en el aire en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  en la estación SMP durante febrero 2021 (Arriba) y agosto 2021 (Abajo).

Durante febrero del 2021 las concentraciones de  $\text{NO}_2$  registró un mínimo de  $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , un máximo de  $32.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un promedio de  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a comparación de agosto del 2021 que registro un mínimo de  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , un máximo de  $47.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un promedio de  $24.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual podemos indicar al igual que el 2020 este incremento en las concentraciones en agosto se debe a las condiciones meteorológicas principalmente a la velocidad del viento, registrándose una velocidad mínima de  $0 \text{ m/s}$ , una velocidad máxima de  $3.3 \text{ m/s}$  y una velocidad promedio de  $1.6 \text{ m/s}$  para el mes de febrero, y una velocidad mínima de  $0 \text{ m/s}$ , una velocidad máxima de  $3.8 \text{ m/s}$  y una velocidad promedio de

1.5 m/s para el mes de agosto. De igual manera que el 2020 estos registros para ambos meses del 2021 están muy por debajo de los ECA-Aire 2017 MINAM de 200 ug/m.



**Figura 13 y 14** Variación de concentraciones en el aire en  $ug/m^3$  de  $NO_2$  en la estación STA durante agosto 2020 (Arriba) y agosto 2021 (Abajo).

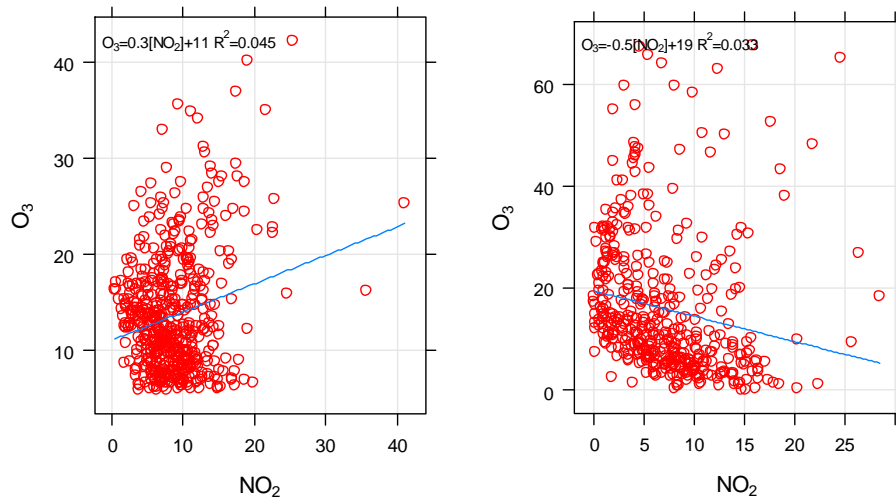
Por otro lado, se observa en las figuras 13 y 14 los registros de las concentraciones horarias de  $NO_2$  presente en el aire de la estación Santa Anita (STA) ubicada este de Lima, indica que agosto del 2020 registra una concentración mínima de  $12.3 ug/m^3$ , una máxima de  $73.7 ug/m^3$  y un promedio de  $33.26 ug/m^3$ , y para agosto del 2021 se registró una concentración mínima de  $1.9 ug/m^3$ , una máxima de  $86.2 ug/m^3$  y un promedio de  $20.17 ug/m^3$ . Se observa que agosto del 2020 presenta un mayor promedio en las concentraciones de  $NO_2$  a diferencia del promedio de agosto del 2021, lo cual puede deberse a las condiciones meteorológicas locales y al nivel de las actividades económicas generadoras de emisiones, y que agosto del 2020 presento una mayor velocidad promedio del viento de 3.0 m/s a diferencia de agosto del 2021 que presento una velocidad promedio del viento de 1.4 m/s, lo que podría indicar que la diferencia en el registro de concentraciones de  $NO_2$  no está ligada a las condiciones meteorológicas locales sino a las actividades económicas generadoras de emisiones que podemos deducir que estas fueron mayores

en agosto del 2020 en plena reactivación económica sin restricciones por la pandemia del SARS-CoV-2.

### 3.3. Relación entre O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>

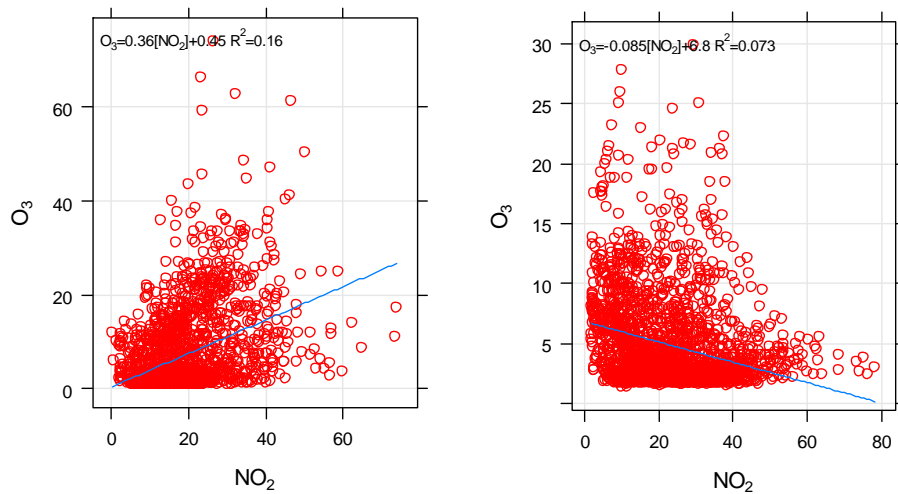
Las figuras 15, 16, 17 y 18 muestran gráficos de correlación entre las concentraciones registradas de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en ug/m<sup>3</sup>, se observan diferentes periodos de tiempo de evaluación debido a la naturaleza de los datos y escasos registros obtenidos a partir de la red de estaciones de Lima y Callao.

La figura 15 correspondiente a la estación San Borja ubicada próxima al centro de la ciudad de Lima, presenta las concentraciones horarias de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> durante el mes de febrero del 2020, se observa una correlación positiva entre ambos gases, a medida que las concentraciones de NO<sub>2</sub> se incrementan también lo hace las concentraciones de O<sub>3</sub>, sin embargo, la figura 16 muestra la correlación para ambos gases en la estación San Martín de Porres ubicada al norte de la ciudad de Lima, donde se observa una correlación negativa indicando que a medida que las concentraciones de NO<sub>2</sub> se incrementan, la concentración de O<sub>3</sub> disminuye. Ambas figuras nos muestran periodos similares de evaluación en el tiempo, pero presentan diferentes correlaciones lo cual puede estar influenciado por las condiciones meteorológicas locales, ya que las condiciones para la formación de O<sub>3</sub> a partir de NO<sub>2</sub> está relacionada a la temperatura del aire y velocidad de viento, indicando que durante el periodo de análisis las condiciones meteorológicas fueron favorables para la formación de O<sub>3</sub> en el centro de la ciudad como lo registra la estación SBJ con temperatura promedio de 24.5 °C y velocidad de viento 1.3 m/s; y desfavorables para el norte de la ciudad como lo registra la estación SMP con una temperatura promedio de 21.7 °C y velocidad de viento 2.1 m/s.



**Figura 15 y 16** Correlación de las concentraciones  $O_3$  y  $NO_2$  en  $\mu g/m^3$  para la estación SBJ durante febrero 2020 (Izquierda) y la estación SMP durante febrero 2020 (Derecha).

La figura 17 correspondiente a la estación Santa Anita, presenta las concentraciones horarias de  $O_3$  y  $NO_2$  en los meses de enero, febrero y marzo; en la figura 18 durante los meses mayo, junio y julio del 2020, ambas figuras muestran gráficos de correlación entre ambos gases, la correlación de los tres primeros meses se muestra positiva a medida que las concentraciones de  $NO_2$  se incrementan, también lo hace las concentraciones de  $O_3$ , esta relación se da en meses de verano donde la temperaturas son elevadas lo que favorece la formación del  $O_3$  a partir de  $NO_2$ , se tiene una temperatura promedio de  $24\text{ }^\circ\text{C}$  y velocidad de viento  $3.6\text{ m/s}$ , sin embargo en la figura 18 observamos que la correlación se vuelve negativa al evidenciar que las concentraciones de  $O_3$  disminuyen a medida que las concentraciones de  $NO_2$  se incrementan, esto es debido a las condiciones meteorológicas locales como una menor temperatura en el aire y radiación solar, evidenciando que el aumento de  $NO_2$  se debe principalmente a las emisiones de origen antrópico para los meses de mayo a julio del 2020 con temperatura de  $17\text{ }^\circ\text{C}$  y velocidad de viento  $2.9\text{ m/s}$  en promedio.



**Figura 17 y 18** Correlación de las concentraciones  $O_3$  y  $NO_2$  en  $\mu g/m^3$  para la estación STA durante enero-febrero-marzo 2020 (Izquierda) y mayo-junio-julio 2020 (Derecha).

Los resultados obtenidos del estudio muestran que las concentraciones de  $O_3$  en la fase de abril-mayo del 2020 son mayores a comparación del 2021. Además, se tiene un comportamiento similar en el mes de junio para ambos periodos. Según, [30] que analizaron la formación de ozono en Lima - Callao en función de los patrones meteorológicos y las concentraciones de óxidos de nitrógeno y gases orgánicos reactivos, mediante radiosondas se observó que el periodo cálido abarca de diciembre a mayo y periodo frío de junio a noviembre. Asimismo, [17] menciona que el comportamiento de las concentraciones de ozono troposférico durante el ciclo diario muestra una estrecha relación directa con el comportamiento horario de la radiación solar total. De los autores en mención se demuestra que la temperatura y radiación solar influyen en el proceso de formación de  $O_3$  generando una mayor concentración de este gas en el aire.

Las naciones unidas (2020) recopiló los resultados de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [18], sobre la base de datos “The World Air Quality Project” señala que la concentración de  $NO_2$  de la población urbana de América Latina como; Ciudad de México, Bogotá, Lima, Monterrey, Quito, Santiago y São Paulo muestran una disminución significativa de los niveles registrados en 2020 respecto al 2019 durante los primeros meses (marzo a mayo), donde las condiciones ambientales; como corrientes de aire y vientos, las temperaturas estacionales, la topografía de las ciudades y las precipitaciones son medios que influyen en la concentración o dispersión del  $NO_2$ . Mostrando así, que los resultados de la presente investigación registradas en los meses de febrero y agosto del 2020; febrero y agosto del 2021, se tuvo mayores concentraciones en agosto a comparación de febrero para ambos años. Febrero tiene mayor velocidad de viento

influyendo en la dispersión del NO<sub>2</sub> generando la reducción de concentración del contaminante, mientras que agosto presenta una menor velocidad de viento influyendo en una dispersión menor del NO<sub>2</sub> e incrementando su concentración.

A partir de los resultados obtenidos del presente estudio, la correlación positiva, es decir, cuando las concentraciones de NO<sub>2</sub> van en aumento influyen en el crecimiento de las concentraciones de O<sub>3</sub> porque este se incrementa a altas temperaturas, de igual manera los autores [22] exhiben de manera general la correlación predominante inversa con las concentraciones de NO<sub>2</sub> de las estaciones rurales. Esto probablemente se debe a la conocida influencia de la radiación solar (que contiene radiación ultravioleta, acompañada de radiación infrarroja o calor) en la transformación de O<sub>3</sub> a partir del NO<sub>2</sub>, lo que indica que la variación del O<sub>3</sub> se debe a altas temperaturas. Según [25] indica mediante los resultados de su investigación que la dirección y velocidad de los vientos muestran de manera general una relación directa con la concentración de NO<sub>2</sub> cuando se trata de estaciones cercanas a la estación objetivo, y se presenta una correlación inversa cuando se trata de estaciones lejanas a las estaciones de estudio. De los autores en mención se demuestra que la correlación, se da mayor incremento de la temperatura que influye en la formación del O<sub>3</sub> a partir del NO<sub>2</sub>; y su velocidad de viento en su dispersión y concentración.

#### **4. CONCLUSIONES**

Solo cinco estaciones meteorológicas de la red de calidad de aire de Lima Metropolitana presentaron condiciones aceptables en la data registrada para determinar escenarios comparativos de concentraciones de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> y la correlación entre el O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, en su mayoría se tuvo el registro de datos en los meses de febrero a agosto 2020-2021, las cuales fueron Campo de Marte, San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Santa Anita y San Borja.

En los meses abril-mayo 2020 y abril-mayo 2021 de la estación Campo de Marte registran concentraciones de O<sub>3</sub> en promedios de 62.31 ug/m<sup>3</sup> y 18.66 ug/m<sup>3</sup>; con temperatura promedio de 20.4 °C y 18.9 °C respectivamente. Las concentraciones del primer periodo se incrementaron a diferencia del segundo período, debido a la influencia del incremento de temperatura y alta presencia de radiación solar. De igual manera hay un patrón similar en el mes junio 2020 y junio 2021 de la estación San Juan de Lurigancho que registran concentraciones promedio de 15.34 ug/m<sup>3</sup> y 9.1 ug/m<sup>3</sup>; con temperatura promedio de 17.2 °C y 16.9 respectivamente. Siendo las concentraciones de O<sub>3</sub> tolerables en la calidad del aire al no sobrepasar el ECA.

En la estación San Martín de Porres, durante el período de febrero y agosto 2020, se registraron concentraciones de  $\text{NO}_2$  en promedio de  $7.25 \text{ ug/m}^3$  y  $14.43 \text{ ug/m}^3$  además, velocidades de viento  $2.1 \text{ m/s}$  y  $1.6 \text{ m/s}$  respectivamente. Así mismo, en el período de febrero y agosto 2021 se registraron concentraciones en promedio de  $8 \text{ ug/m}^3$  y  $24.46 \text{ ug/m}^3$  además, velocidades de viento  $1.6 \text{ m/s}$  y  $1.5 \text{ m/s}$  respectivamente. Las concentraciones de  $\text{NO}_2$  en el mes de agosto para ambos años se incrementan a diferencia de febrero, debido principalmente a una disminución de la velocidad del viento que influye en la reducción de la dispersión del  $\text{NO}_2$  e incrementando su concentración en el aire. En el mes de agosto 2020 y agosto 2021 de la estación Santa Anita se registraron concentraciones promedio de  $33.26 \text{ ug/m}^3$  y  $20.17 \text{ ug/m}^3$  además, velocidades de viento  $3.0 \text{ m/s}$  y  $1.4 \text{ m/s}$  respectivamente, siendo las concentraciones muy por debajo del ECA ( $200 \text{ ug/m}^3$ ).

En el mes febrero 2020 de la estación San Borja y mes febrero 2020 de la estación San Martín de Porres, indica una correlación positiva y negativa respectivamente. En el primero, al incrementarse el  $\text{NO}_2$  influenciada por la temperatura registrada de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , incidió en la formación de una mayor cantidad de  $\text{O}_3$ , sumado a la velocidad de viento promedio registrado de  $1.5 \text{ m/s}$  hizo que la dispersión de las concentraciones sea mínima a comparación del segundo, donde la temperatura promedio registrada de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  que influye en el incremento de  $\text{NO}_2$  pero este último no incide en la formación del  $\text{O}_3$  debido a la velocidad de viento de  $2.2 \text{ m/s}$  que dispersa su concentración e impide la formación del  $\text{O}_3$ . Finalmente, en los meses enero a marzo 2020 y mayo a julio 2020 de la estación Santa Anita indica una correlación positiva y negativa respectivamente. En los meses de verano con temperatura promedio registrada de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  incrementa las concentraciones de  $\text{NO}_2$  incidiendo en la formación del  $\text{O}_3$  a diferencia de los meses de invierno donde la temperatura promedio registrada de  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  no influye en las concentraciones de  $\text{O}_3$  y  $\text{NO}_2$ .

## 5. REFERENCIAS

- [1] Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. In Catarata - Instituto de Salud Carlos III (pp. 1–129). <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/7274>
- [2] Cano Baudino, Y. N., Morales Mariño, J. A., Sánchez Castillo, L. J., Colina Rincón, M. N., & Torres Puente, J. C. (2016). Evaluación de los niveles de ozono en la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(1), 25–34. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v32n1/0188-4999-rica-32-01-00025.pdf>
- [3] Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.
- [4] Decreto Supremo N° 044-2020-PCM, que declara Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/460472-044-2020-pcm>
- [5] Decreto Supremo N° 117-2020-PCM, que aprueba la Fase 3 de la Reanudación de Actividades Económicas dentro del marco de la declaratoria de emergencia sanitaria nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del COVID-19 <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/1466070-117-2020-pcm>
- [6] Flores, C. (2020). Efectos del aislamiento COVID-19 en la calidad de aire en la provincia de Lima - Perú en el año 2020. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10758/1/IV\\_FIN\\_107\\_TI\\_Flores\\_Llanto\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10758/1/IV_FIN_107_TI_Flores_Llanto_2020.pdf)
- [7] González de la Cerda, N. E. (2013). Tendencias de las concentraciones de ozono y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 135. <https://www.riudg.udg.mx/handle/20.500.12104/84870>
- [8] Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación: Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. In Mc Graw-Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- [9] INECC. (2006). 1. Los vehículos automotores como fuentes de emisión. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - México*, 25–34. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>
- [10] INEI. (2001). Conociendo Lima. Instituto Nacional de Estadística e Informática, 224. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0410/Libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0410/Libro.pdf)
- [11] INEI. (2018). Resultados definitivos: Provincia de Lima. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, 1101. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1583/15ATOMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1583/15ATOMO_01.pdf)

- [12] INEI. (2021). Estadísticas Ambientales. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-estadisticas-ambientales-ene-2021.pdf>
- [13] Justiniano Antelo, A. J. (2014). Modelos de Simulación Ozono Troposférico y su relación con las enfermedades respiratorias agudas que se presentan en los niños que viven en la ciudad de la paz. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Ciencias Puras y Naturales, 86. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/7960>
- [14] Lavado Sepulveda, A. L. (2012). Las Condes como punto focal de la contaminación estival por ozono en la ciudad de Santiago. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de La Naturaleza. <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/lavado Ariela.pdf>
- [15] Loera-Sánchez, J., Ramírez-Aldaba, H., Meléndez Soto, A., García-Montie, E., & González-Laredo, R. (2021). Aplicaciones geoestadísticas para la evaluación de la contaminación por ozono en la ciudad de Durango, México. *Nova Scientia*, 13(27), 1–33. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2804>
- [16] MINAM. (2019). Protocolo Nacional del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Ministerio Del Ambiente, 102. [https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad#:~:text=El “Protocolo Nacional de Monitoreo,%2C compatible%2C confiable y representativa.](https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad#:~:text=El%20Protocolo%20Nacional%20de%20Monitoreo,%20compatible%20confiable%20y%20representativa)
- [17] Montoya, Z., & Silva, J. (2004). Análisis del comportamiento del ozono troposférico y su relación con la radiación solar en las ciudades de Lima, Ica y Arequipa, 2004. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú - SENAMHI.
- [18] Naciones Unidas. (2020). Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina. Cepal, 1-13. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45839>
- [19] OMS. (2021a). Contaminación del aire ambiente (exterior). Organización Mundial de La Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-airquality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-airquality-and-health)
- [20] OMS. (2021b). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- [21] OMS. (2021c). WHO global air quality guidelines Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- [22] Ramos et al. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 26(1), 65-80. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a5.pdf>

- [23] Rivera Garcés, A. N. (2011). Impacto de las variables meteorológicas en la formación de ozono en la cuenca de Santiago. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geofísica, 93. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102641>
- [24] Roper S. (2020). Que contamina más el diésel o la gasolina. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/que-contamina-mas-el-diesel-o-la-gasolina-3174.html>
- [25] Ruiz-Villavicencio et al., (2020) Modelación y Estimación de NO<sub>2</sub> Y O<sub>3</sub> en zonas Rurales y Suburbanas del Valle de México <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v36n3/0188-4999-rica-36-03-747.pdf>
- [26] Sánchez, E. (2021). El ozono cae de forma drástica por la bajada del tráfico durante la pandemia. El País. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-11-16/el-ozono-cae-de-forma-drastica-por-la-bajada-del-trafico-en-pandemia.html>
- [27] SENAMHI (2019). Vigilancia de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC) - Marzo 2019. Boletín Mensual Vigilancia de La Calidad Del Aire, 19, 13. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03201SENA-70.pdf>
- [28] SENAMHI. (2020). Climas del Perú: Mapa de clasificación Climática Nacional. 7. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1574101/Resumen%20ejecutivo%20Climas%20del%20Peru%CC%81%20.pdf>
- [29] SENAMHI (2020). Tiempo / Pronóstico del Tiempo. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=lima&p=pronostico-detalle>
- [30] Silva, J. S., Rojas, J. P., Norabuena, M. & Seguel, R. J. (2018). Ozone and volatile organic compounds in the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 11(8), 993-10008. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0604-2>



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

**RESOLUCIÓN N° 0260-2023/UPeU-FIA-CF**

Lima, Ñaña, 30 de mayo de 2023

**VISTO:**

El expediente de los (las) bachilleres **Catherine Magnolia Carrasco Suasaca** identificado(a) con código universitario N° **201611655** y **Xiomara Yolanda Cano Delgadillo** identificado(a) con código universitario N° **201420187**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su relación con el agente formador NO<sub>2</sub>, en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 - 2021", presentado por los(las) bachilleres **Catherine Magnolia Carrasco** y **Xiomara Yolanda Cano Delgadillo**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 30 de mayo de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Catherine Magnolia Carrasco** y **Xiomara Yolanda Cano Delgadillo**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Evaluación de las concentraciones de Ozono Troposférico y su relación con el agente formador NO<sub>2</sub>, en la ciudad de Lima Metropolitana 2020 - 2021", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 13 de junio de 2023, a las 09:30 horas, modalidad virtual u online sincrónica.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga  
Secretario: Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio  
Asesor: Ing. Dario Ccaccya Ccaccya  
Vocal 1: Ing. Orlando Alan Poma Porras  
Vocal 2: Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Regístrese, comuníquese y archívese.



*Erika Inés Acuña Salinas*  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



*Santiago Ramírez López*  
Dr. Santiago Ramírez López  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

cc:  
-Interesado  
-Jurado (04)  
-Secretaría General  
-Archivo