

Post-Pandemic Air Quality Assessment in the District of San Borja

Alejandro J. Bejar-Calderon¹, Gladys S. Licapa-Redolfo²

^{1,2}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú. N00231675@upn.pe; gladys.licapa@upn.edu.pe

Abstract– The objective of this research was to determine the degree of concentration of pollutants to evaluate post-pandemic air quality with respect to the year 2023. The research approach is descriptive, for which information from air quality monitoring and the meteorological station of the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI) located in the district of San Borja. The result indicated that, of the 6 parameters analyzed PM10; PM2.5; CO; NO₂; SO₂ and O₃; They are within the range and half exceed the standard recommended by the Environmental Quality Standard for air D.S. N° 003-2017 MINAM. In that sense, PM-10 is exceeded in almost every month, reaching a maximum level of 220 µg/m³ in May, with ECA PM-10 being 100 µg/m³; in PM-2.5 in the months evaluated complies with the regulations, but in July it exceeds the concentration with 260 µg/m³ and the ECA for PM-2.5 is 50 µg/m³ and NO₂ in June reaches 580 µg/m³ and the ECA establishes a value of 200 µg/m³, therefore it is concluded that particulate matter of 2.5 and 10 microns has a higher concentration throughout the study period. Furthermore, the results show the behavior of the measured parameters. It is recommended to establish rapid response protocols for high air pollution events, such as temporary traffic restrictions, closure of polluting sources and alerts to the population to suppress the disturbing issue of poor air quality.

Keywords: Air quality, environmental monitoring, Forecast, air

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Evaluación de la Calidad de Aire Post Pandemia en el Distrito de San Borja

Alejandro J. Bejar-Calderon¹, Gladys S. Licapa-Redolfo²

^{1,2}Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú. N00231675@upn.pe; gladys.licapa@upn.edu.pe

Resumen – La presente investigación tiene como objetivo determinar el grado de concentración de los contaminantes para evaluar la calidad del aire post pandemia con respecto al año 2023, el enfoque de la investigación es descriptivo, para lo cual se utilizó información de monitoreo de calidad del aire y la estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ubicada en el distrito de San Borja. El resultado indicó que, de los 6 parámetros analizados PM_{10} ; $PM_{2.5}$; CO ; NO_2 ; SO_2 y O_3 ; se encuentran dentro del rango y la mitad superan el estándar recomendado por la Norma de Calidad Ambiental para el aire D.S.N° 003-2017 MINAM. En ese sentido para $PM-10$ son superados en casi todo los meses llegando a tener como nivel máximo $220 \mu g/m^3$ en mayo siendo ECA $PM-10$ $100 \mu g/m^3$; en $PM-2.5$ en los meses evaluados cumple con lo establecido con la normativa, pero en julio supera la concentración con $260 \mu g/m^3$ y el ECA para $PM-2.5$ es $50 \mu g/m^3$ y el NO_2 en junio llega a $580 \mu g/m^3$ y el ECA establece un valor de $200 \mu g/m^3$, por ello se concluye que material particulado de 2.5 y 10 micras presenta mayor concentración a lo largo del período de estudio. Además, con los resultados se observa el comportamiento de los parámetros medidos. Se recomienda establecer protocolos de respuesta rápida ante eventos de alta contaminación del aire, como restricciones temporales de tráfico, cierre de fuentes contaminantes y alertas a la población para suprimir el tema perturbador de la deficiente calidad del aire.

Palabras clave: Calidad de aire, monitoreo ambiental, Pronóstico, aire

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud en el año 2016 realizó un estudio en considerando su objetivo el cual busca conseguir un futuro más saludable, en base a ello realiza el monitoreo de la calidad de aire a diferentes ciudades y en los 103 países que conforman la organización, dentro del análisis se identificó a Lima como una de las ciudades más contaminadas a nivel de América Latina por PM_{10} y $PM_{2.5}$, incluso sus pobladores están expuestos a estas elevadas concentraciones de contaminación que sobrepasan los límites que establece la Organización mundial de salud sobre la calidad del Aire (OMS, 2016). Continuar con el monitoreo permanentemente de la calidad del aire es fundamental, por otro lado, con la información obtenida, se busca alternativa de solución para su adecuado control de la contaminación del aire [1].

Los principales contaminantes atmosféricos en Europa son las partículas totales en suspensión que en realidad son un poco más grandes que los $PM-10$, el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico. Estos valores límite de partículas que se tiene

regularizado (Directiva 2008/50/CE), se superan principalmente dentro de las zonas urbanas, lugar en la cual existe mayor aglomeración y de habitantes. Según el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, el 60% de las estaciones españolas de control y vigilancia de la calidad del aire situadas en zonas con mucho tráfico rodado superan los límites diarios de dióxido de nitrógeno fijados en 2010, mientras que el 40% y el 40% en zonas con El tráfico pesado supera la zona transitada. El 70% de ellos superó el límite anual y diario de partículas en suspensión establecido desde 2005. En el caso del PTS se puede analizar que en aquel momento fue muy decisivo y con dimensión europea. Además, la mayoría de las áreas centrales tienen congestión, que es la principal razón de la alta concentración [2].

Por ello, en un estudio sobre contaminación del aire y alternativas de solución para la Organización Mundial de la Salud, recomienda medidas y correctivos necesarios para solucionar el problema de la contaminación del aire en la ciudad de Bogotá, Colombia. El gobierno colombiano ha desarrollado un conjunto de medidas para enfrentar los problemas de contaminación ambiental, de los cuales la contaminación del aire es el problema más complejo, por lo que el gobierno colombiano necesita promover y fortalecer el marco legal de sus políticas ambientales y de salud. debido a la calidad del aire y a su país donde la salud pública está en riesgo [3].

Otro estudio ofrece investigaciones sobre la contaminación de la calidad del aire y las enfermedades respiratorias. Considerando que la contaminación del aire contribuye al origen de enfermedades respiratorias en Kennedy, Colombia, pero lo más peligroso es que el número de infecciones respiratorias en esta jurisdicción aumenta debido a la presencia de desechos sólidos y altas concentraciones en el aire. Las emisiones de los vehículos están aumentando y se necesita una política ambiental para combatir la contaminación del aire y al mismo tiempo proteger la salud humana, ya que es una herramienta importante para abordar los problemas de contaminación del aire [4].

En el Perú, en el ámbito regional el Área Metropolitana de Lima – Callao (AMLC) es considerada una de las mega ciudades en América Latina, razón por la cual presenta los elevados niveles de contaminación del aire, especialmente por material particulado con diámetro menor a 2,5 micras más nombrado como ($PM-2,5$) y material particulado con diámetro menor a 10 micras ($PM-10$) en ciertas estaciones y a nivel distrital que se encuentran los puntos de control, en la ciudad de Lima es a menudo que superen los límites que establecen las

guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la calidad de Aire, aprobado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) [5].

De igual manera, existen investigaciones de la contaminación del aire y su efecto en la salud, lo que justifica el incremento de la concentración es por la aparición de más industrias en lugares que no deberían estar, pero hay que hacer mención que muchas veces por lo migración se tuvieron que establecer en lugares cerca de la zona industrial y asentarse para vivir. Con el tiempo, enferma a la gente porque el medio ambiente está tan contaminado que la calidad del aire supera el ECA. La industria del automóvil es la industria que más contamina el medio ambiente y que más enfermedades trae a las personas. Como resultado, la gente enferma por las partículas emitidas por los vehículos viejos, añadiendo que la indiferencia de las autoridades hacia la flota perjudica el ecosistema y la salud de la población. Finalmente se menciona que en la ciudad de Chiclayo surgen problemas de contaminación debido al envejecimiento de los vehículos, especialmente los que prestan servicios de transporte público, lo que afecta el derecho humano a la salud, así como a un medio ambiente sano [6].

Para verificar y mejorar el estado del aire, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ha establecido estaciones de monitoreo, que conforman la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) del AMLC los cuales son 10 estaciones. Estas estaciones se encuentran en diferentes distritos y están bien equipadas, en otras palabras, tecnología de punta para hacer frente a la problemática actual. [7].

Sin embargo, la contaminación del aire se considera un peligro potencial para la salud ambiental porque el monóxido de carbono puede afectar negativamente la capacidad de la sangre, los nervios y el corazón para transportar oxígeno y puede poner a las mujeres embarazadas en riesgo de sufrir un aborto espontáneo. Las emisiones de partículas aumentan el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Además, estos efectos pueden provocar una reducción de la esperanza de vida biológica, como distancias visibles más cortas, aire más fino y un desarrollo deficiente de las plantas [8].

El presente estudio tiene como objetivo determinar la calidad del aire post pandemia por COVID-19, en el distrito de San Borja comparando las concentraciones de PM_{2.5}; PM₁₀; CO; NO₂; SO₂ y O₃ con los valores de los estándares de calidad ambiental para aire que está contemplado en el DS N° 003-2017 MINAM [9].

Según la normativa Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, nos da a conocer y su aplicabilidad de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y sus disposiciones complementarias [9], establece los valores que no representen riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente para los contaminantes SO₂, NO₂, PM-2,5, PM-10, CO y O₃ los cuales se muestran en la tabla 1. Del mismo modo, en la Tabla 2 se presenta la Guía de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para los parámetros: PM 2.5, PM

10, SO₂, O₃ y NO₂.

De acuerdo con las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud están destinadas a nivel mundial, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud de la población. Por otra parte, cada nación en su potestad de autonomía establece normas de calidad del aire para salvaguardar la salud de sus ciudadanos. Las normas varían en función del enfoque que le proporciones o adopten con el fin de equilibrar los riesgos para salud, la viabilidad tecnológica, los aspectos económicos y otros, que a su vez dependen, entre otras cosas, del nivel de desarrollo y la capacidad nacional en relación con la gestión de la calidad del aire [10].

TABLA 1. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AIRE

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética a móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM [9] NE: No Exceder o método equivalente aprobado [1].

TABLA 2. GUÍA DE LA CALIDAD DEL AIRE DADO POR LA OMS

Parámetro	Periodo	Valor [µg/m ³]
SO ₂	media de 24 horas	20
	media de 10 minutos	500
NO ₂	media anual	40
	media de una hora	200
PM _{2.5}	media anual	10
	media de 24 horas	25

PM ₁₀	media anual	20
	media de 24 horas	50
O ₃	media de 8 horas	100

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio utilizó un diseño transversal no experimental con enfoque descriptivo. Un estudio que no manipula deliberadamente variables se refiere a una investigación no experimental [11]. En la investigación no experimental no se manipula ninguna variable [12].

El presente estudio tiene el enfoque descriptivo en donde se efectúa el análisis de series de tiempo correspondiente al periodo de monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Borja, durante 5 años desde 2019 hasta el 2023. Se utilizó la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), También el estudio fue generado por diferentes fuentes bibliográficas.

La información que se genera en la red observacional debe organizarse en una base de datos, para la elaboración de inventarios y así se pueda facilitar el procesamiento de los datos y a la vez poder absolver consultas si surgiera; por otra parte, es imprescindible que pasen los controles de calidad para analizar y depurar los datos inconsistentes. Para el efecto, existe un manual técnico para el control automático de calidad de los datos de la estación automática de monitoreo de calidad del aire el SENAMHI [13], el mismo que contribuye para contar con una base de datos confiable, de calidad y una información libre para el ciudadano.

También se debe tener en consideración con respecto a los equipos para monitoreo ambiental, deben contar con el certificado de calibración y que se encuentren vigentes, si dado las circunstancias, ya sea como persona natural o jurídica deseamos hacer un monitoreo de calidad de aire para este escenario tendría que ser un laboratorio que se encuentre acreditado por el Instituto nacional de la calidad (INACAL).

A) Ubicación geográfica

La presente investigación se ejecutó en base a los datos que almacena SENAMHI día a día en el monitoreo de la Calidad de aire para Lima Metropolitana en donde solo se trabajó con la estación San Borja, el cual se muestra en la figura 1 y en la tabla 3 las coordenadas.



Fig. 1 Ubicación de la estación de monitoreo

TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN EN SAN BORJA

<i>Descripción General</i>	
<i>Propietario</i>	SENAMHI
<i>Operador</i>	Dirección de Redes de Observación y datos
<i>Provincia</i>	Lima
<i>Distrito</i>	San Borja
<i>Coordenadas</i>	-12.10859, -77.00769
<i>Recepción de datos</i>	En línea

B) Procedimiento Experimental

Para la investigación solo se tomó el dato de la estación que se encuentra en San Borja para poder contrastar la calidad del aire en qué condiciones se encuentra, los datos fueron proporcionados por el SENAMHI del Perú de la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) del Área Metropolitana de Lima, se ha procesado los parámetros: PM-2.5, PM-10, NO₂, CO, SO₂, O₃ y variables meteorológicas durante el periodo del 2023, y para la comparación de los años 2019, 2020, 2021 y 2022 un total de 5 años.

En la etapa de evaluación de datos se realiza el procesamiento de los datos horarios de la estación de calidad de aire y la estación meteorológica, de la estación que ese encuentra en San Borja dichos datos es de forma pública para el usuario el cual es proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

El Monitoreo Ambiental de calidad del aire en el presente estudio está contemplado para el caso de post pandemia del año 2023, sin embargo se evaluó desde el 20219 hasta diciembre del 2023, para evaluar la tendencia del comportamiento de los contaminantes atmosféricos que están contemplados en el ECA para aire, en la elaboración de los gráficos donde se representa la distribución mensual, se ha tenido que procesar data diaria con respecto a la información de la calidad de aire y meteorológica dado que es unainformación importante para determinar el grado de concentración y poder contrastar con el ECA aire como se encuentra la calidad del aire en San Borja con respecto las concentraciones tanto para el material particulado PM-2.5, material particulado PM-10, Dióxido de azufre (SO₂), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O₃) en conjunto con los datos meteorológicos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos del monitoreo para calidad de aire durante el periodo de evaluación de enero a diciembre se presentan a continuación.

A. Resultados de Temperatura

Se muestra, en la figura 2 el comportamiento de la temperatura durante el periodo de evaluación de enero a diciembre del 2023 y la temperatura se mantiene entre 21.2 °C a 25.3°C.

C. Resultados PM-10

En la figura 5 se muestra la variación mensual de la concentración del Material particulado (PM-10) con diámetro igual a 10 micrómetros durante 5 años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA, donde PM-10 no debe superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para que no afecte a la salud [9]. En la figura 5 se puede apreciar una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Además, al iniciar el estado de emergencia la concentración promedio diaria del PM-10 fue reduciendo lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, ha tenido picos de elevación e incremento antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que se ha venido superando el estándar establecido lo cual es preocupante.

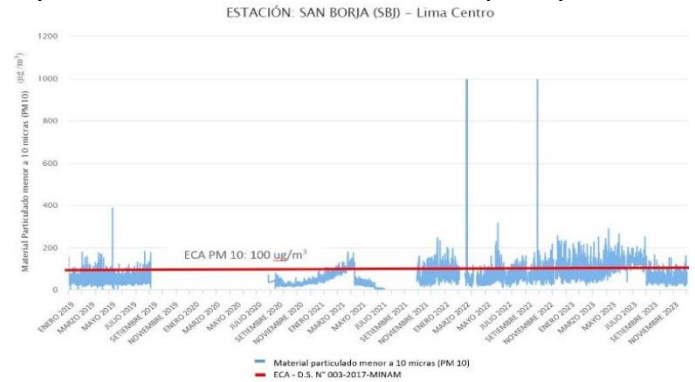


Fig. 5 Concentración de PM-10, distrito de San Borja

D. Resultados PM-2.5

En la figura 6 se muestra la variación mensual de la concentración del Material particulado (PM-2.5) durante 5 años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA donde PM-2.5 no debe superar los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para que no afecte a la salud [9]. En el gráfico se puede apreciar una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Además, al iniciar el estado de emergencia la concentración promedio diaria del PM-2.5 fue reduciendo lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, ha tenido picos de elevación e incremento antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que se ha venido superando el estándar establecido lo cual es preocupante.

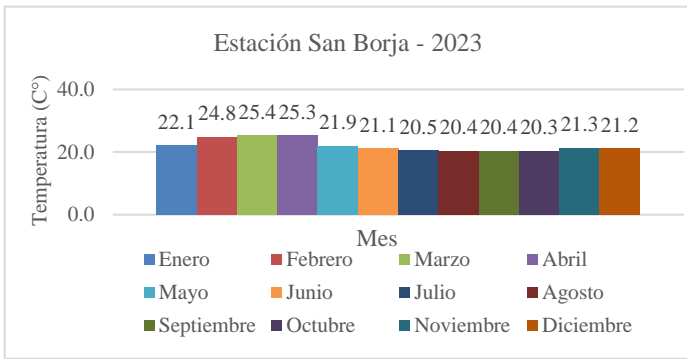


Fig. 2 Comportamiento de la temperatura – Distrito de San Borja

B. Velocidad y dirección del viento

En la figura 3 se muestra el comportamiento de la velocidad del viento durante el periodo de evaluación de enero a diciembre desde 0.85 m/s hasta 1.24 m/s.

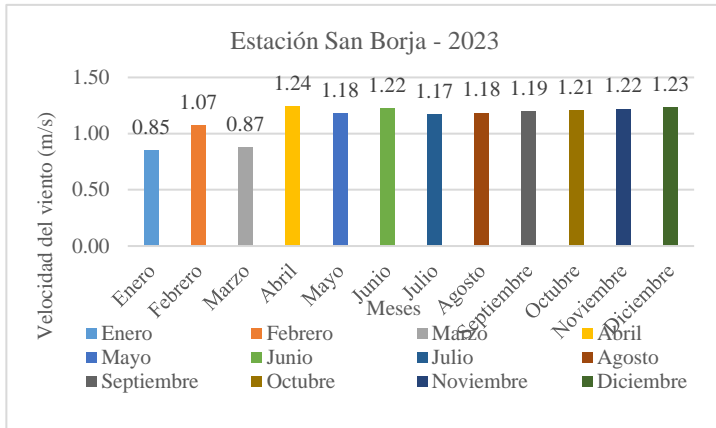


Fig. 3 velocidad del viento – Distrito de San Borja

En la figura 4 se muestra la predominancia que tiene la dirección del viento el cual es un factor muy importante al momento de dar un descargo, por ejemplo, puede que exista un incendio para este caso se genera un incremento de las concentraciones al momento del muestreo tanto para material particulado como para los gases.

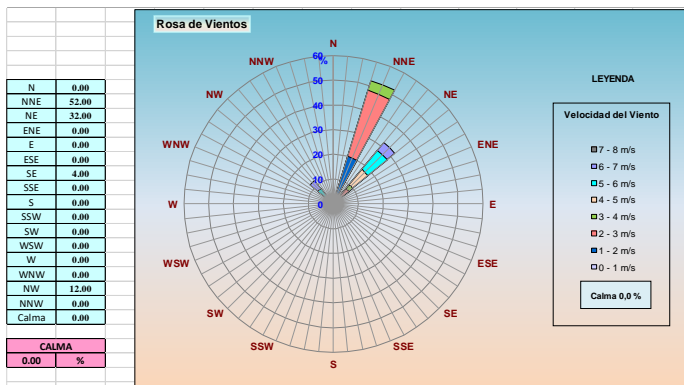


Fig. 4 Dirección del viento, distrito de San Borja

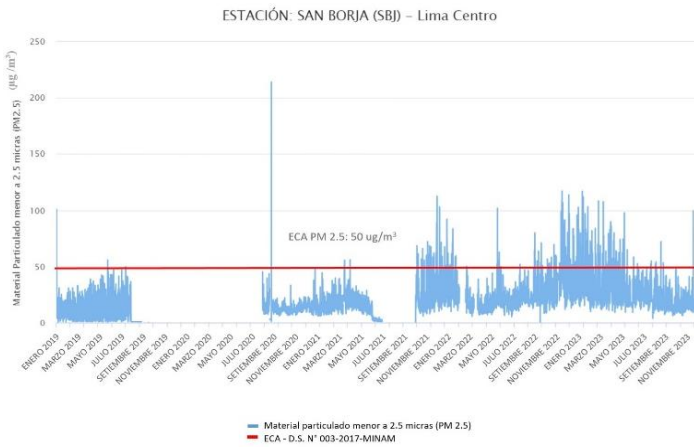


Fig. 6 Concentración de PM-2.5, distrito de San Borja

E. Resultados SO₂

En la figura 7 se muestra la variación mensual de la concentración del Dióxido de Azufre durante 5 años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA donde SO₂ no debe superar los 250 µg/m³ para que no afecte a la salud [9]. En el gráfico se puede apreciar una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Además, al iniciar el estado de emergencia la concentración promedio diaria del SO₂ fue reduciéndose lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, ha tenido picos de elevación e incremento antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que se ha venido superando el estándar establecido lo cual es preocupante.

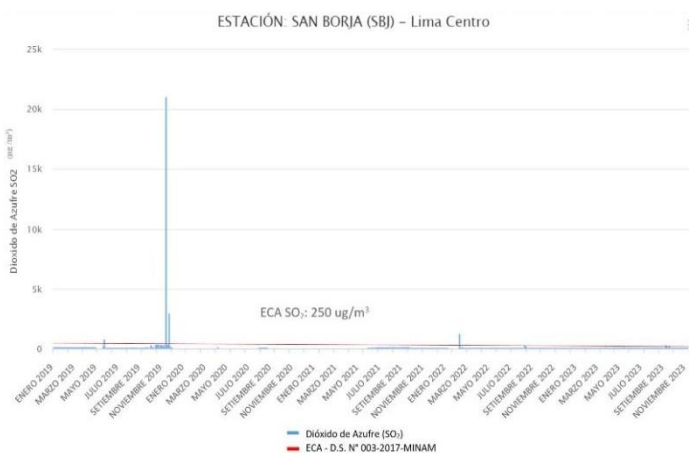


Fig. 7 Concentración de SO₂ - distrito de San Borja

F. Resultados NO₂

En la figura 8 se muestra la variación mensual de la

concentración del Dióxido de nitrógeno durante 5 años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA NO₂ donde no debe superar los 200 µg/m³ para que no afecte a la salud [9]. En el gráfico se puede apreciar una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Igualmente, al iniciar el estado de emergencia la concentración mensual del NO₂ fue reduciéndose lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, ha tenido picos de elevación que están fuera de lo permitido, antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que se ha venido superando el estándar establecido, pero no muy recurrente lo cual no es muy alarmante.

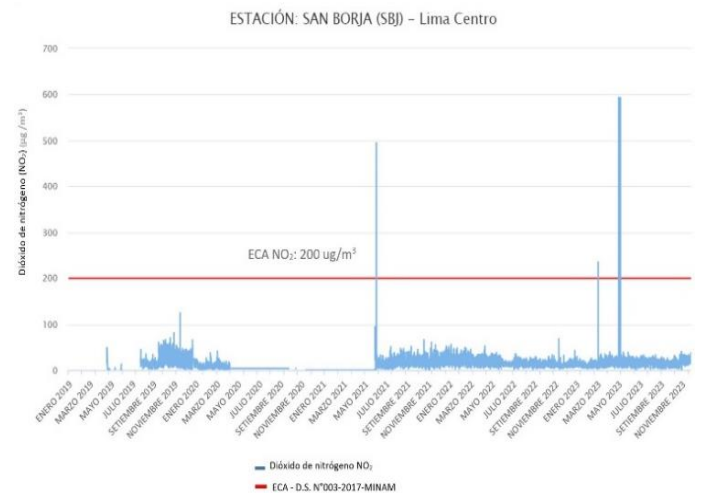


Fig. 8 Concentración de NO₂

G. Resultados CO

En la figura 9 se muestra la variación mensual de la concentración del Monóxido de carbono durante cinco años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA donde CO no debe superar los 10000 µg/m³ para que no afecte a la salud [9]. También se aprecia una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Asimismo, al iniciar el estado de emergencia la concentración promedio diaria del CO se redujo lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, no se ha tenido picos de elevación e incremento antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que el resultado se encuentra de forma inferior a lo establecido lo cual es favorable

para el entorno.

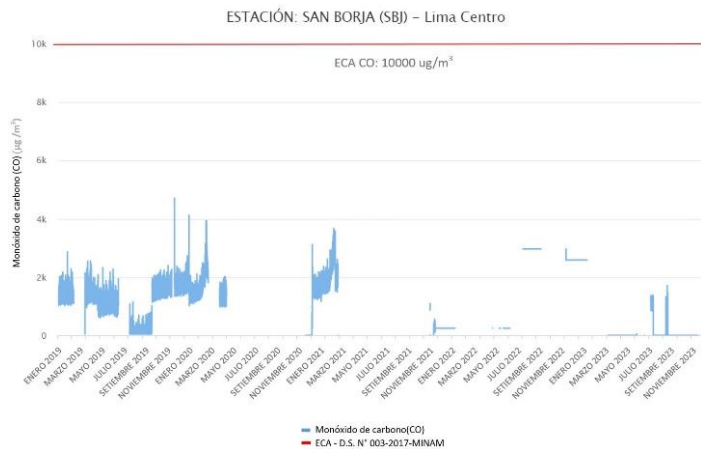


Fig. 9 Concentración de CO- distrito de San Borja

H. Resultados O₃

En la figura 10 se muestra la variación mensual de la concentración del Ozono Troposférico durante 5 años; se ha colocado información con datos previos a la pandemia (2019); durante la pandemia 2020, 2021 y 2022 para el periodo de monitoreo de la calidad del aire post pandemia de enero a diciembre del 2023 en el distrito de San Borja el cual es materia de estudio, también para poder contrastar la calidad del aire año a año y mostrar en qué estado se encuentra en el 2023 realizando su comparativo con el ECA O₃ en el Perú, el cual no debe superar los 100 µg/m³ para que no afecte a la salud [9]. En el gráfico se puede apreciar una disminución significativa en lo que fue el periodo de aislamiento social entre el 16 de marzo de 2020 y el 1 de julio de 2020. Asimismo, al iniciar el estado de emergencia la concentración promedio diaria del O₃ se redujo lo cual es favorable para los habitantes; sin embargo, ha tenido picos de elevación que están fuera de lo permitido, antes de pandemia, durante la adecuación en pandemia y en el año 2023 se puede apreciar que se ha venido superando el estándar establecido, pero no muy recurrente lo cual no es muy alarmante.

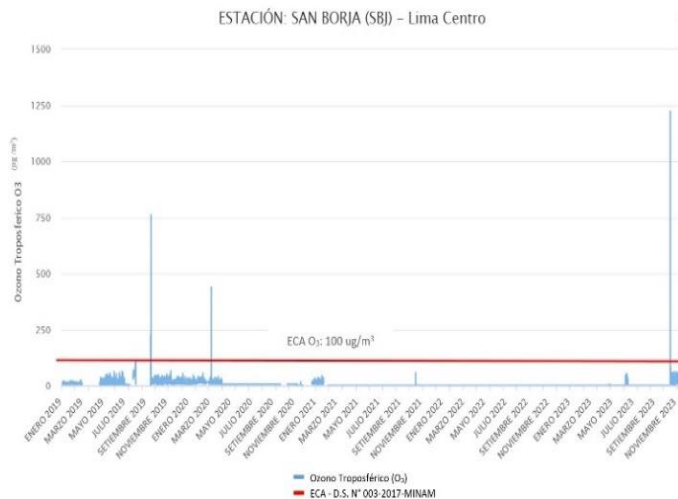


Fig. 10 Concentración de O₃

Con respecto a la concentración de PM-10, evaluado en el año 2023 supera el valor de 100µg/m³ con lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. Por otro lado, la concentración de Material Particulado (PM-2.5), evaluado en el año 2023 supera el valor de 50µg/m³ con lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire [9], lo cual estos dos parámetros sobrepasan muy recurrente mes a mes el ECA establecido.

La concentración Dióxido de Azufre (SO₂), evaluado en el año 2023 supera frecuentemente el valor de 250 µg/m³ con lo establecido en el ECA para Aire. Además, La concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂), evaluado en el año 2023 supera ligeramente en algunos meses el valor de 200µg/m³ el cual está establecido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire [9].

La concentración de Monóxido de Carbono (CO), evaluado en el año 2023 no supera el valor de 10,000µg/m³ el cual está establecido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. Finalmente, la concentración de Ozono Troposférico (O₃), evaluado en el año 2023 supera el valor de 100 µg/m³ en el mes de noviembre, el cual está establecido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire [9].

De los seis parámetros evaluados con su respectivo comparativo ECA aire fueron: PM-2.5 con 50 µg/m³, PM-10 con 100 µg/m³, SO₂ con 250 µg/m³, NO₂ con 200 µg/m³, CO con 10,000 µg/m³ y O₃ con 100 µg/m³, solo están dentro del margen la normativa que establece los Estándares de Calidad Ambiental para el Aire estos gases: NO₂ con 150 µg/m³, CO con 500 µg/m³ solo en el mes de julio y O₃ con 50µg/m³ en los meses julio y la primera semana de agosto los cuales si están dentro de lo permitido e incluso se encuentran en concentraciones bajas y por lo tanto no tendría una repercusión en la salud.

Por el contrario, los parámetros: PM-10 son superados llegando a tener como nivel máximo 220µg/m³ en nivel de concentración pero según el ECA aire deben estar por lo bajo de los 100µg/m³; PM-2.5 en el lapso de los meses analizados cumple con lo establecido pero en el mes de julio supero la concentración con 260µg/m³ cuando según el ECA aire establece que no debe superar los 50µg/m³, estos resultados elevados se debe al crecimiento de viviendas multifamiliares que están ejecución los cuales generan constantemente generan contaminación producto de la actividad. El Dióxido de Nitrógeno solo a finales del mes de junio en los días 26, 27 y 28 de junio fue superado con 580µg/m³ pero según ECA aire debe estar por debajo de los 200µg/m³ por lo tanto, sobre pasa el límite que establece los Estándares de Calidad Ambiental del Aire. Es más, de los tres el que tiene mayor concentración en lo largo del periodo es el material particulado (PM-10), incluso esa elevada concentración si se sigue manteniendo en el corto plazo va a afectar a la salud.

Así mismo, en la investigación Incidencia de la cuarentena por covid-19, en la calidad del aire (NO₂) de la ciudad de Lima se muestra la variación de la concentración de NO₂ en los meses de marzo, abril y mayo del año 2019 y 2020,

en donde hace la comparación en un año normal antes de pandemia el cual supera las concentraciones el dióxido de nitrógeno y en los tres meses marzo, abril y mayo del 2020 [14], en pleno aislamiento social mostrando sus resultado por debajo de lo permitido en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire.

Por otro lado, otro estudio muestra resultados en los promedios diarios de PM-10 que sobrepasan significativamente los Estándares de Calidad Ambiental para aire [9]; así como también los resultados de los promedios anuales de PM-10 y PM-2.5 en la mayoría, de las diez estaciones. La variación multianual del PM-10 y PM-2.5 muestran una tendencia descendente moderada para el PM-10 y alta para el PM-2.5; viendo desde los resultados obtenidos por ambas partes en diferentes momentos se puede apreciar que se vienen superando lo establecido razón por la cual se tiene que mitigar con acciones más certeras y drásticas a la vez para los generadores o potenciales puedan seguir incrementando en la medida y esto contraiga enfermedades respiratoria y potenciales que a la larga deteriora nuestra salud. Desde el punto del modelamiento y el pronóstico de datos que aplico sirve como referente para ver y actuar en base a la información los posibles generadores y potenciales que se encuentre dentro del área de influencia [15].

Por otro lado, el país necesita fortalecer la política ambiental y de salud para que todos tengan un ambiente saludable y calidad de vida, porque esta política fue aprobada por la constitución política de 1993, en la cual el artículo 2 inciso 22 dice: “Toda persona tiene derecho a: la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida” [16].

Ante la contaminación del aire que se muestra en el análisis realizado en San Borja el parámetro material particulado PM-10 es el que tiene mayor significancia, por esta razón se debe realizar la aplicación correcta de políticas públicas en base a la carta magna junto con la ley N° 28611, ya que estas normativas buscan la protección ambiental y de la salud humana [17].

Visto los resultados de los estudios de otros autores que se aproximan a mi investigación, mencionan que PM-10, PM-2.5 y NO₂ sobrepasan los niveles de concentración en determinados periodos que muestrearon con respecto a lo contempla el ECA aire al igual que en esta investigación los tres parámetros que superaron el ECA y que hago mención a continuación: PM-2.5, PM-10, y NO₂, finalmente del estudio de calidad de aire se puede manifestar que no tiene una adecuada calidad para sus habitantes, para futuras investigaciones sugiero que los resultados mostrados sean un punto de partida para que se pueda seguir con el control de la calidad del aire ya que sería un indicador de ver en cuanto se viene incrementando o disminuyendo para hacer llegar a las autoridades lo que está ocurriendo y de que no estamos gozando de una adecuada calidad ambiental en el entorno y sería conveniente en la población incrementar la cultura ambiental mediante la educación ambiental.

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, se evaluó la calidad del aire post pandemia entre los meses enero a diciembre del 2023,

obteniendo los siguientes resultados en PM-10 es superado en casi todo los meses llegando a tener como nivel máximo 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de mayo en nivel de concentración pero según el ECA aire deben estar por lo bajo de los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en PM-2.5 en el lapso de los meses analizados cumple con lo establecido pero en el mes de julio supero la concentración con 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando según el ECA aire no debe superar los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Dióxido de nitrógeno solo a finales del mes de junio en los días 26, 27 y 28 de junio supero lo establecido con 580 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pero según ECA aire debe estar por debajo de los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por lo tanto sobrepasa el límite que establece los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. Solo cumple los Estándares de Calidad Ambiental para el Aire estos gases: SO₂ con valores menores a los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; CO con valores menores a los 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y O₃ con valores menores de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales si están dentro de lo permitido e incluso se encuentran en concentraciones bajas.

En base a lo suscitado se recomienda que la autoridad local en compañía de sus respectivos especialistas en la materia, deban establece protocolos de respuesta rápida ante eventos de alta contaminación del aire, como restricciones temporales de tráfico, cierre de fuentes contaminantes y alertas a la población para eliminar el tema perturbador de la deficiente calidad del aire, al encontrarse deteriorada como consecuencia de la contaminación producto de la actividad industrial y del parque automotor. Esta sugerencia con la finalidad de mantener el aire en un estado óptimo, en la información mostrada también se aprecia el momento que se dio la inmovilización social obligatoria adoptadas por el gobierno para evitar la trasmisión del coronavirus, como consecuencia de ello el nivel de concentración de material particulado y de los gases disminuyeron; esto se muestra, en el registro de monitoreo donde se aprecia una disminución de los niveles de concentración de los parámetros contribuyentes a la calidad de aire, mostrando una mejora significativo del mismo.

Finalmente, se proponen diferentes alternativas para mejorar la calidad del aire, identificando los principales actores, tales como: las tecnologías de vehículos más eficientes, mejoras en la calidad de los combustibles, teletrabajo, primas a la chatarra, sistemas de certificación de vehículos, incentivos a los vehículos híbridos, promoción de vías ciclistas como transporte sostenible de pasajeros. transporte. sistema, la introducción de estufas ecológicas, muros residenciales y techos verdes, planes de proximidad a los lugares de trabajo y aumento de los impuestos sobre vehículos y combustibles. Es importante resaltar que las medidas propuestas deben ser implementadas de manera unificada, coordinada y clara entre todos los niveles del estado para lograr una ciudad con mejor calidad del aire y una ciudad más sustentable.

REFERENCIAS

- [1] Silva, WHO (Organización Mundial de la Salud). 2016. *WHO Global Urban Ambient Air Pollution*

- Database* (update 2016). Disponible en: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/
- [2] EC (European Commission). Council Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels: Off J Eur Communities L Legis. 2008; 152: 1-44.
- [3] Guerrero, (2020). *Alternativas para la reducción de contaminantes atmosféricos emitidos por el sistema vehicular en Bogotá D.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCATOLICA.
- [4] Barrett, (2020). *Contaminación del aire y enfermedades respiratorias, un estudio en la localidad de Kennedy* [Tesis de maestría, Universidad Externado de Colombia]. Repositorio Institucional UEXTERNADO. <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/3530>.
- [5] Silva, J; Rojas, J; Norabuena, M; Molina, C; Toro, R; Leiva, M. 2017. *Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. Environmental Monitoring and Assessment* 189 (12): 635.
- [6] Díaz, (2020). La contaminación atmosférica y su impacto en la salud de la población: establecimiento de límites de antigüedad vehicular para el servicio de transporte público en la ciudad de Chiclayo [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú]. Repositorio Institucional USAT. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2511>
- [7] Sánchez, O; Ordóñez, C. (2016). *Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2015*. Lima: SENAMHI
- [8] Madonsela, Benett Siyabonga, Maphanga, Thabang, Chidi, Boredi Silas, Shale, Karabo y Zungu, Vincent, *Assessment of air pollution in the informal settlements of the Western Cape, South Africa. Journal of Air Pollution and Health*, 2022. vol. 7, no. 1, pp. 1-14. ISSN 24763071. DOI 10.18502/japhv7i1.8916.
- [9] MINAM [Ministerio del Ambiente], 2017. Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen disposiciones complementarias. Lima, Perú.
- [10] World Health Organization (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005* (No. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02). Organization Mundial de la Salud.
- [11] Álvarez Risco, Aldo, *La Motivación Docente Y Su Repercusión En La Calidad Educativa: Estudio De Caso*. *Revista de pedagogía* [en línea], 2018. vol. 39, no. 105, pp. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/322967825.pdf>
- [12] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2012). *Metodología de la investigación*. (5 ed.). México: McGraw-Hill.
- [13] SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), 2022. *Manual Técnico de Control de Calidad Automático de Datos de estaciones de monitoreo automático de la calidad del aire*.
- [14] Chávez Flores, E. (2020). Incidencia de la cuarentena por covid-19, en la calidad del aire (NO2) de la ciudad de Lima. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 23(46), 65–71. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i46.18183>
- [15] Espinoza G. (2018). Evaluación Espacial y Temporal del Material Particulado PM10 y PM2.5 en Lima Metropolitana para el periodo 2015-2017. (Tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima
- [16] Constitución Política del Perú (1993). Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/presidencia/informes-publicaciones/196158-constitucion-politica-del-peru>
- [17] Ley N°28611 (2005). Ley General del Ambiente. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC114936>