

Abril 2020

INFORME
**Vigilancia de la
calidad del aire**
Área Metropolitana de
Lima y Callao



industrias

parque
automotor



VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – ABRIL 2020

PRESENTACIÓN

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) presenta el informe mensual sobre la vigilancia de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC), en el cual los tomadores de decisión y público en general podrán encontrar información sobre los principales contaminantes atmosféricos al que se encuentran expuestos.

Para un mejor entendimiento de las variaciones espaciales y temporales de los contaminantes atmosféricos, se ha utilizado información meteorológica de superficie (datos de las estaciones meteorológicas automáticas del SENAMHI) e información de reanálisis¹ del Centro Nacional de Predicción Ambiental – NCEP por sus siglas en inglés - y datos del Centro Nacional de Investigación Atmosférica – NCAR por sus siglas en inglés y del producto ERA5 del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés). Asimismo, se utilizó datos de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del Servicio Meteorológico del Reino Unido (conocido como Met Office, por sus siglas en inglés), que corresponden al sistema de Análisis Operativo de la Temperatura Superficial del Mar y del Hielo Marino (OSTIA, por sus siglas en inglés). Para determinar el porcentaje de actividad vehicular durante el mes de abril en el AMLC, se utilizó información de la aplicación Moovit². Con respecto a la información de contaminantes del aire, se usaron los datos de la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) de SENAMHI, imágenes satelitales del Sentinel 5P y predicciones de calidad del aire del Servicio de Monitoreo de la Atmósfera “Copérnico” (CAM5 por sus siglas en inglés).

Es importante resaltar qué, a partir del 16 de marzo y todo el mes de abril el gobierno peruano estableció medidas para frenar el avance y propagación del coronavirus causante del COVID-19. Las medidas tomadas fueron las siguientes: Mediante Decreto Supremo (DS) N°044-2020-PCM, el día 16 de marzo se declaró el estado de emergencia nacional por un plazo de quince (15) días calendarios y se dispuso del aislamiento social obligatorio (cuarentena), el día 18 de marzo se dispuso la inmovilización social obligatoria desde las 20:00 horas hasta las 05:00 horas del día siguiente, asimismo, se estableció la prohibición del uso de vehículos particulares (DS N°046-2020-PCM), el 31 de marzo se decretó la primera prórroga al estado de emergencia (hasta el 12 de abril del 2020)) (DS N°051-2020-PCM) y se estableció un nuevo horario de inmovilización social obligatoria (desde las 18:00 horas hasta las 05:00 horas del día siguiente) (DS N°053-2020-PCM), el 06 de abril se decretó que los días 9 y 10 de abril, jueves y viernes santo respectivamente, inmovilización social obligatoria en todo el territorio nacional durante todo el día (DS N°061-2020-PCM), el 09 de abril se decretó la segunda prórroga al estado de emergencia (a partir del 13 hasta el 26 de abril del 2020) y se dispuso un recorte al horario de inmovilización social obligatoria (desde las 18:00 horas hasta las 04:00 horas del día siguiente) (DS N°064-2020-PCM) y el 23 de abril se decretó la tercera prórroga al estado de emergencia (a partir del 27 de abril hasta el 10 de mayo del 2020) (DS N°075-2020-PCM).

Toda persona tiene derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Constitución Política del Perú. Artículo 2, inciso 22.

1. Conjunto de datos de la atmósfera actualizados “permanentemente” y generados a partir de observaciones en superficie y resultados de modelos meteorológicos.
2. Moovit Insights (2020). Datos y estadísticas de uso del transporte público en Lima, Perú. Recuperado de: https://moovitapp.com/insights/es/Moovit_Insights_%C3%8Dndice_de_Transporte_P%C3%BAblico-countries.

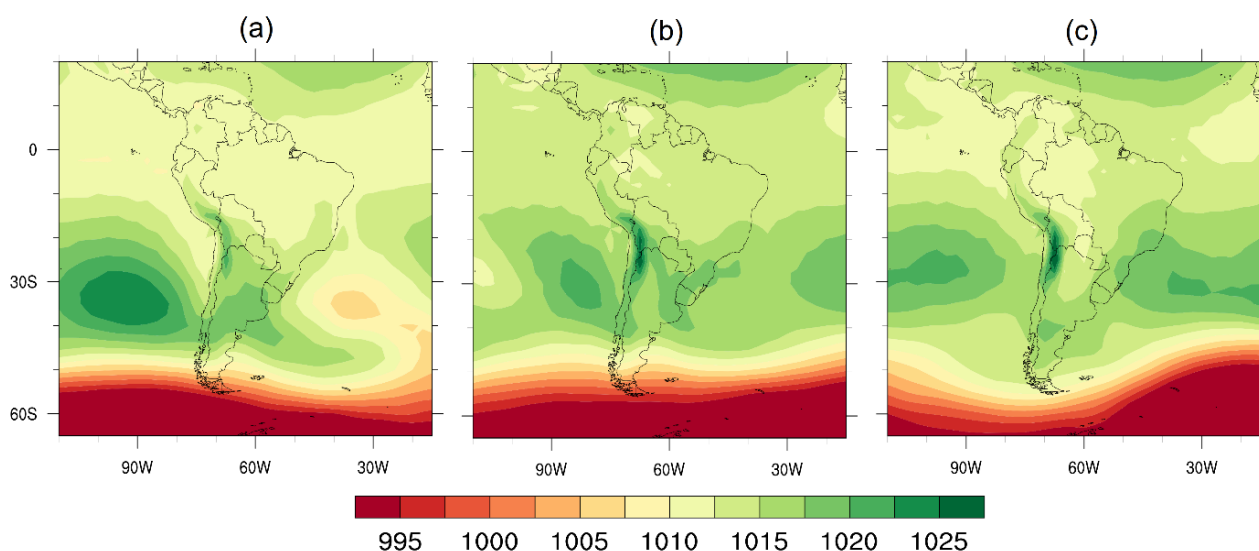
1. VIGILANCIA DE LAS CONDICIONES SINÓPTICAS Y METEOROLÓGICAS LOCALES EN EL AMLC - ABRIL

Para un mejor entendimiento de las condiciones sinópticas y meteorológicas locales en el AMLC, se realizó un análisis por decadiarias, es decir por cada diez días durante el mes, obteniéndose tres periodos de análisis. Estos son la decadiaria 1 (del día 1 al 10 de abril), decadiaria 2 (del día 11 al 20 de abril) y decadiaria 3 (del día 21 al 30 de abril).

1.1. COMPORTAMIENTO DEL ANTICICLÓN DEL PACÍFICO SUR (APS)

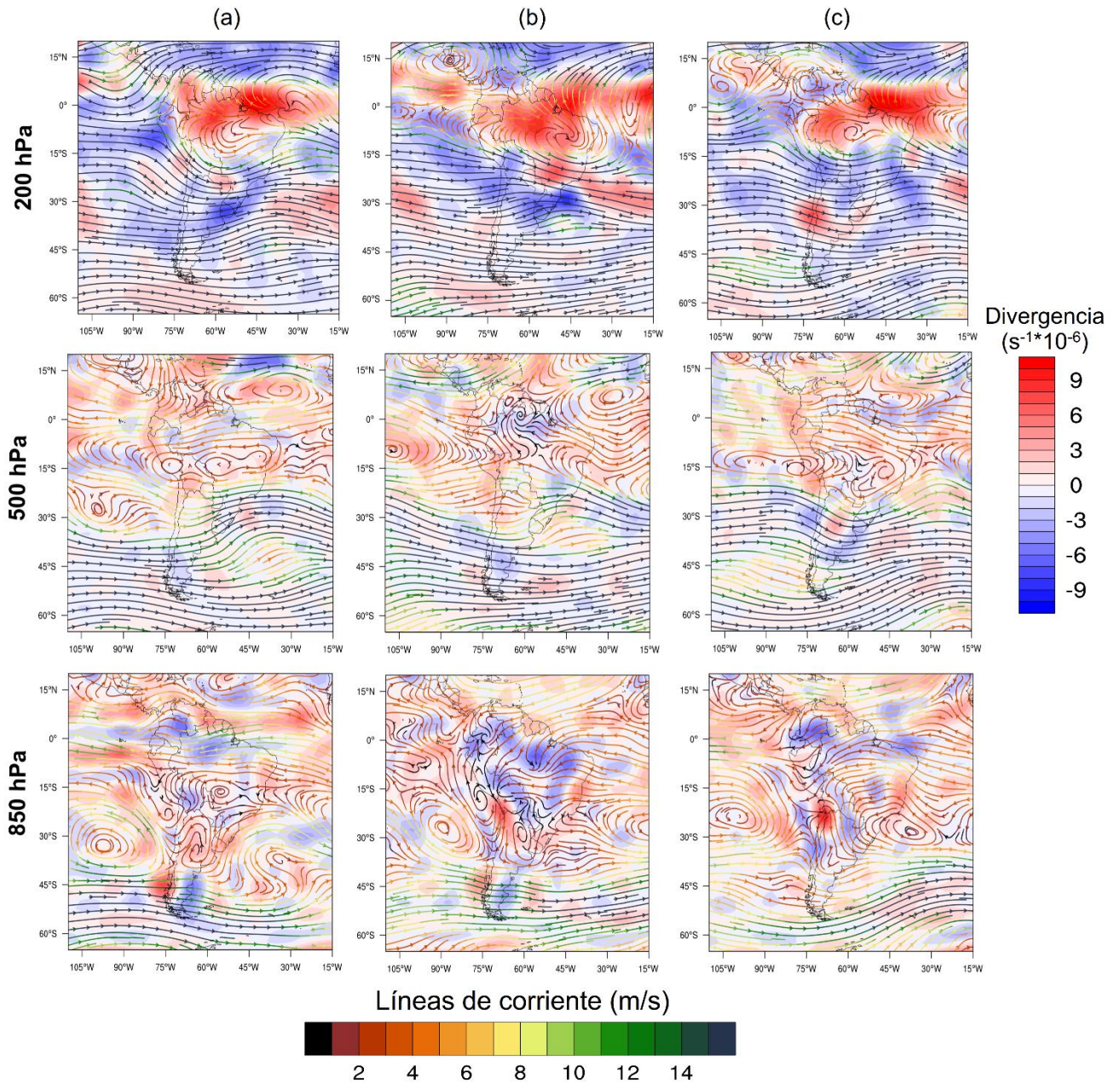
En la primera decadiaria (figura N°01a), se observó que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó valores de presión atmosférica por encima de lo normal y se posicionó en los 31°S, alejado del continente. Asimismo, en la segunda decadiaria (figura N°01b) los valores de presión atmosférica estuvieron dentro de lo normal, aunque en una posición más cercana al continente. Finalmente en la tercera decadiaria (figura N°01c), los valores de presión atmosférica estuvieron por encima de lo normal y la APS volvió a alejarse del continente.

Figura N° 01. Promedio decadiario de la presión atmosférica (hPa) a nivel del mar.



Con respecto a las líneas de corriente (flujos de vientos en metros por segundo – m/s) y divergencia (separación de una corriente de aire por su dirección y/o velocidad). Se observó que durante la primera decadiaria (figura N°02a) se tuvo una divergencia negativa en niveles altos (200 hPa) y divergencia positiva en niveles medios (500 hPa) y bajos (850 hPa) sobre la costa central, lo cual generó vientos descendentes y favoreció a la estabilidad atmosférica sobre esta región. En la segunda decadiaria (figura N°02b), se tuvo un ingreso de vientos del oeste hacia la costa central en niveles medios (500 hPa) y vientos costeros provenientes del sur en niveles bajos (850 hPa) debido al acercamiento del APS al continente, lo que estaría asociado a un incremento de temperatura y menor humedad relativa en el AMLC. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°02c) se pudo apreciar condiciones atmosféricas muy parecidas a la primera decadiaria.

Figura N° 02. Promedio decadiario de las líneas de corriente (m/s) y divergencia ($s^{-1} \cdot 10^{-6}$) para los niveles bajos (850 hPa), medios (500 hPa) y altos (200 hPa).

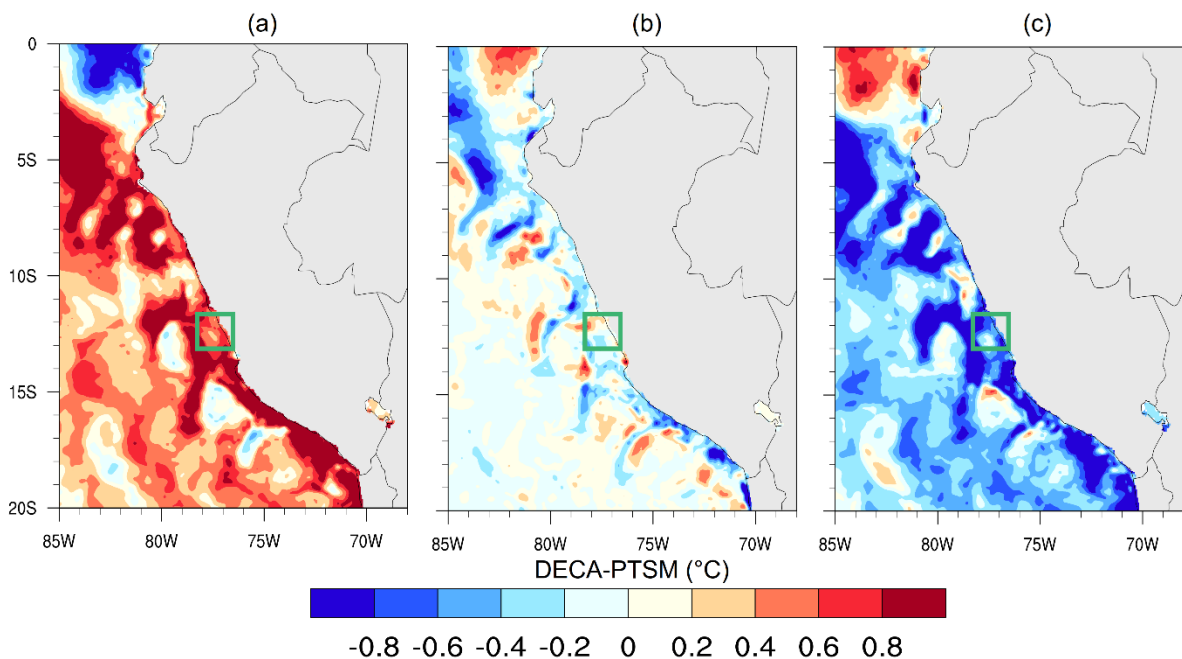


1.2. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)

La figura N°03, muestra información del sistema de Análisis Operativo de la Temperatura Superficial del Mar y del Hielo Marino (OSTIA, por sus siglas en inglés) con énfasis en la costa central de Perú – Área Metropolitana de Lima y Callao (cuadrado verde) de los valores obtenidos de la diferencia entre la temperatura superficial del mar (TSM) en cada decadiaria del mes de abril 2020 (DECA) con respecto a su promedio mensual para abril 2020 (PTSM). Es así que, para la primera decadiaria (figura N°03a) se observó incrementos en la temperatura de entre +0.4°C y +0.8°C, lo que pudo contribuir a un mayor aporte de humedad atmosférica y un incremento de las temperaturas sobre el continente. En la segunda decadiaria (figura N°03b) las temperaturas disminuyeron a valores de entre -0.2°C y +0.2°C lo que pudo haber influido a un descenso de la temperatura y humedad atmosférica en continente. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°03b) la temperatura disminuyó a sus valores mínimos durante el mes registrándose valores de entre -0.4°C y -0.8°C lo cual podría estar asociado a las condiciones de otoño (bajas temperaturas del aire y una mayor humedad relativa en el AMLC).

Durante el mes de abril las variaciones de la temperatura superficial del mar a nivel nacional no fueron determinantes para el desarrollo de un evento El Niño³.

Figura N° 03. Diferencias entre las decadiarias (DECA) y el promedio de la TSM (PTSM).

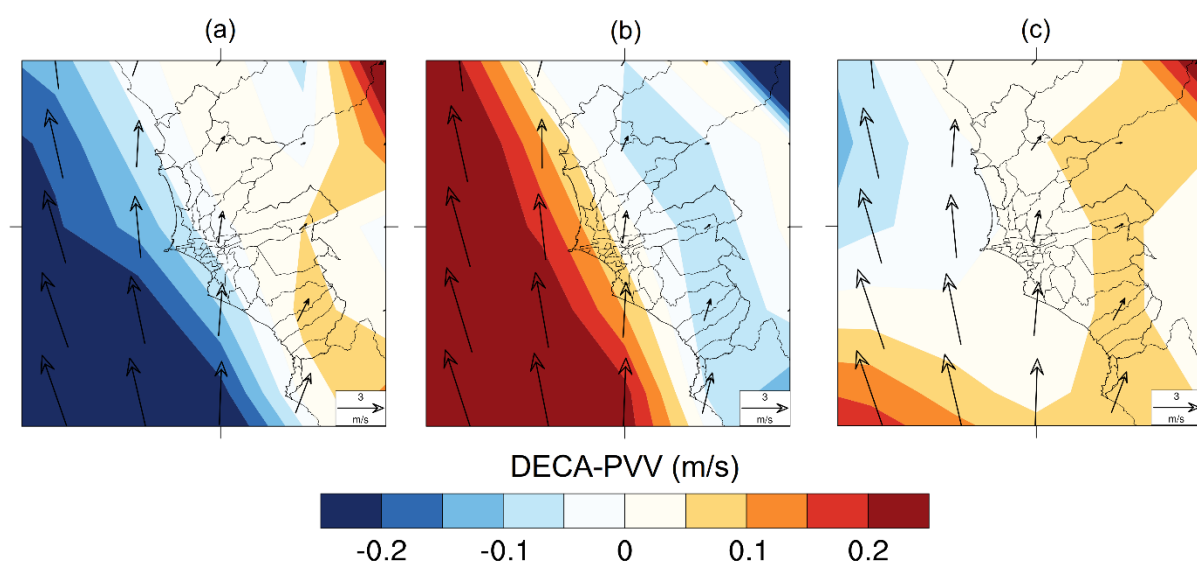


3. Documento: Comunicado Oficial del ENFEN N°06 de 2020.

1.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS LOCALES EN EL AMLC

Utilizando datos de reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés) con énfasis en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC) se evaluó la diferencia entre la velocidad del viento (a 10 metros de la superficie - mds) en cada decadiaria del mes de abril 2020 (DECA) con respecto a su promedio mensual para abril 2020 (PVV). Es así que, en la primera decadiaria (figura N°04a) se observó una disminución del viento costero; mientras que en la segunda decadiaria (figura N°04b) el viento costero se intensificó. Este incremento de la velocidad del viento estaría asociado al acercamiento del APS (mencionado en la sección 1.1), lo cual favorecería a días con cielo despejado y al aumento de temperatura. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°04c) no se observó una variación significativa del viento costero.

Figura N° 04. Promedio decadiario de la velocidad del viento a 10 mds (m/s) en el AMLC indicado en flechas. Los colores indican la diferencia entre las decadiarias (DECA) y el promedio de la velocidad del viento (PVV).



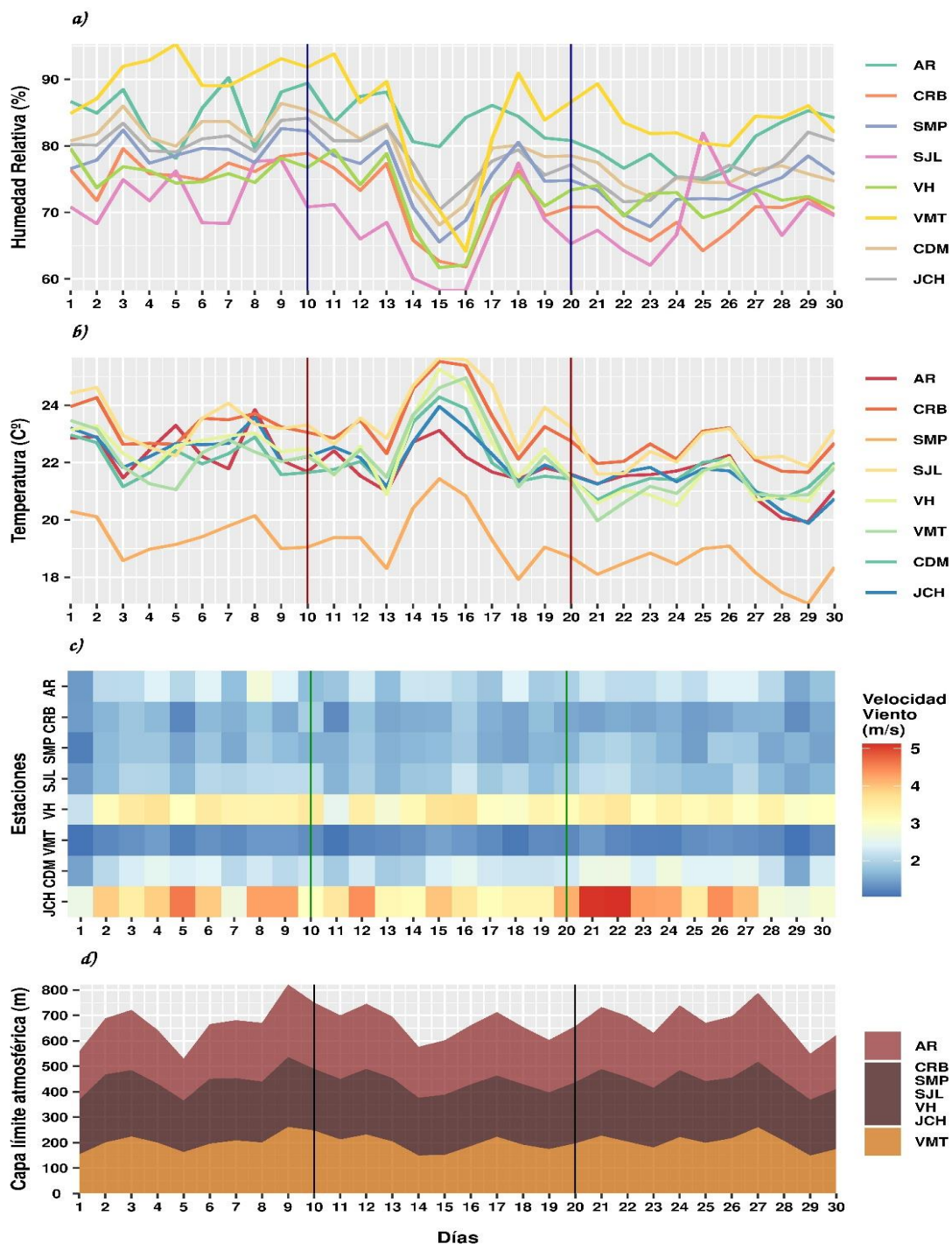
Con los datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria de la humedad relativa (a 2 metros de la superficie - mds), temperatura (a 2 mds) y la velocidad del viento (a 10 mds). Los datos provinieron de las estaciones: Antonio Raimondi (AR), Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (S JL), Alexander Von Humboldt (VH), Villa María del Triunfo (VMT), Campo de Marte (CDM) y Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH). Adicionalmente se representó la variabilidad diaria de la capa límite atmosférica (ACLA) (parte de la tropósfera influenciada directamente por la superficie terrestre, donde se concentra la mayor cantidad de sustancias contaminantes) para lo cual se usó datos de reanálisis ERA5.

Con respecto a la humedad relativa (figura N°05a), se observó una disminución más pronunciada los días 06, 08, 12, 15, 19, 23, 26 y 30, mientras que los días 03, 07, 09, 13, 18, 21, 24 y 29 mostraron un incremento. Asimismo, la temperatura mostró un comportamiento opuesto a la humedad relativa, presentando tendencias de incremento los días de menor humedad y tendencias de disminución los días de mayor humedad (figura N°05b). Por otro lado, la velocidad del viento presentó disminuciones los días 05, 07, 11, 13, 17, 25 y 29, mientras que los días 04, 06, 08, 12, 16, 22, 24 y 27 mostraron un incremento (figura N°05c). Asimismo, la ACLA presentó mayores alturas en la estación AR y menores alturas en la estación VMT. De esta manera, se observó incrementos de

ACLA los días 03, 09, 12, 17, 21, 24, 27 y 30 y disminución los días 05, 08, 11, 14, 19, 23, 25 y 29 (figura N°05d).

En promedio los valores de la humedad relativa y de la temperatura presentaron una tendencia a la disminución durante el mes (de mayor a menor), asociado al comportamiento de la TSM (mencionado en la sección 1.2). Sin embargo, dentro de la segunda decadiaria del mes, se observó un aumento brusco de la temperatura y disminución de humedad relativa, lo que estaría asociado a flujos de vientos del oeste en niveles medios y la intensificación de vientos costeros en niveles bajos (mencionado en la sección 1.1). En el caso de la velocidad del viento, este estaría asociado a factores locales, guardando una ligera relación con el comportamiento de la temperatura.

Figura N° 05. Variación diaria de las variables meteorológicas en el ALMC.



Con respecto al comportamiento horario de la base de la nube (m) registrada en la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (figura N°06), se observó que las nubes bajas (base de la nube menor a 2000 m) tuvieron una mayor presencia en la primera decadiaria, de manera bastante consecutiva entre los días. Asimismo, la presencia de nubes medias (base de la nube mayor a 2000 m y menor a 6000 m) fue mayor en el mes de abril. Finalmente, la nubosidad alta (base de la nube mayor a 6000 m) fue casi nula en el presente mes como consecuencia de una reducción de los procesos de trasvase o flujos de vientos del este (colocar un motivo).

La presencia de nubes bajas en la primera decadiaria, estaría asociado al aumento de la TSM en este periodo (mencionado en la sección 1.2), lo cual favorecería a un incremento de la humedad para la formación de nubosidad en la región costera. Por otro lado, la ausencia de nubosidad a partir de la segunda decadiaria estaría relacionado al aumento de la intensidad del viento costero (mencionado en la sección 1.1).

Figura N° 06. Altura de la base de nube (m) registrada en la estación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH).

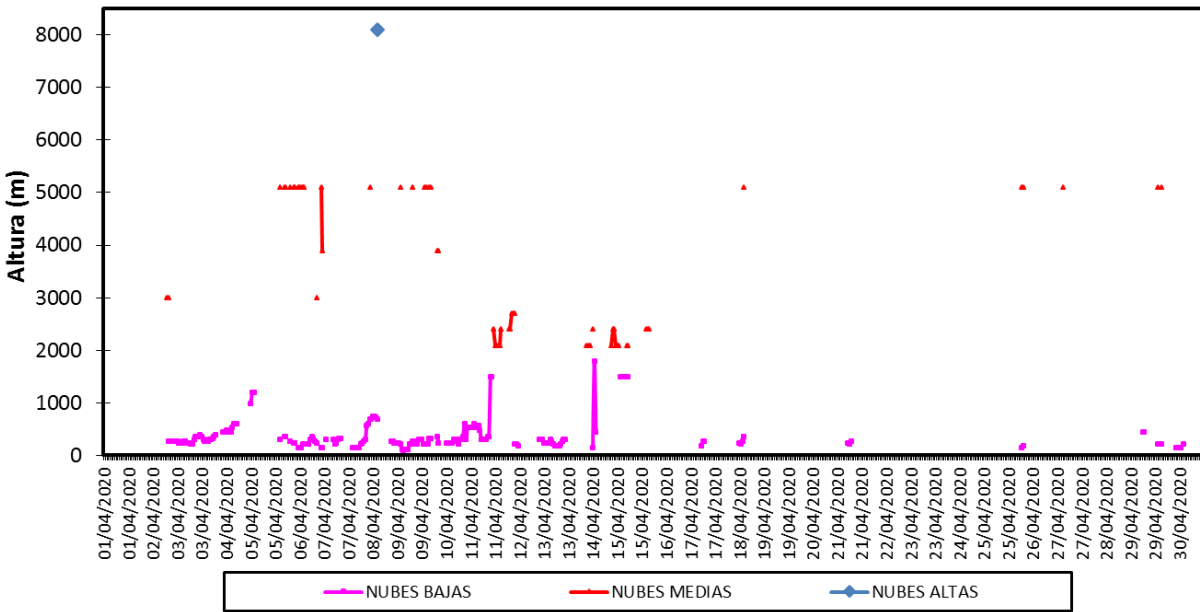


Figura N° 07. Rosas de viento para el horario diurno en el AMLC.

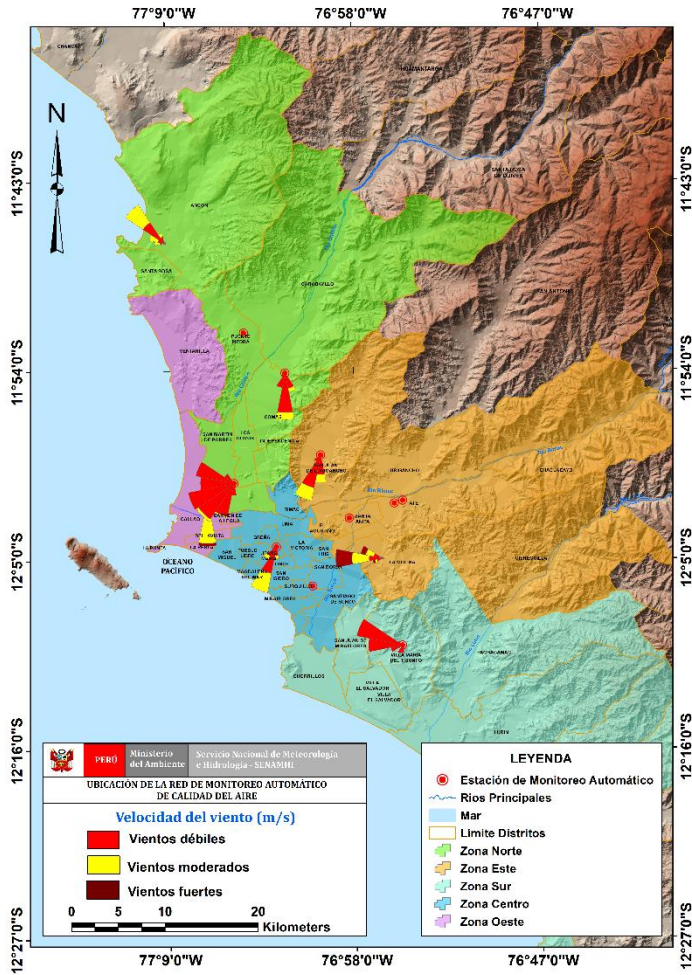


Figura N° 08. Rosas de viento para el horario vespertino en el AMLC.

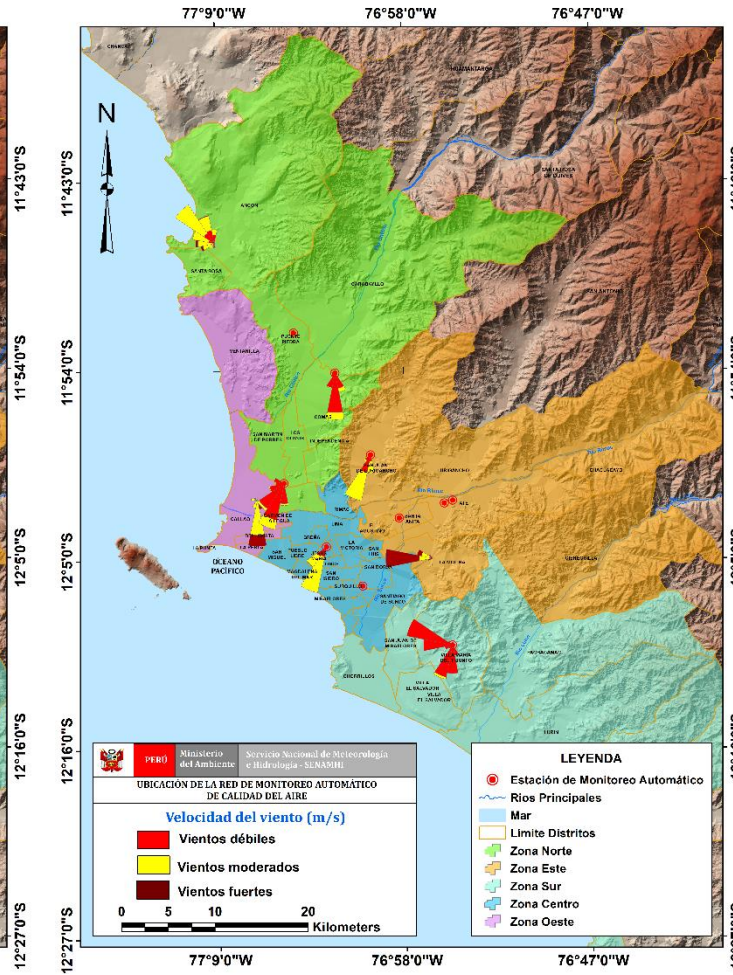
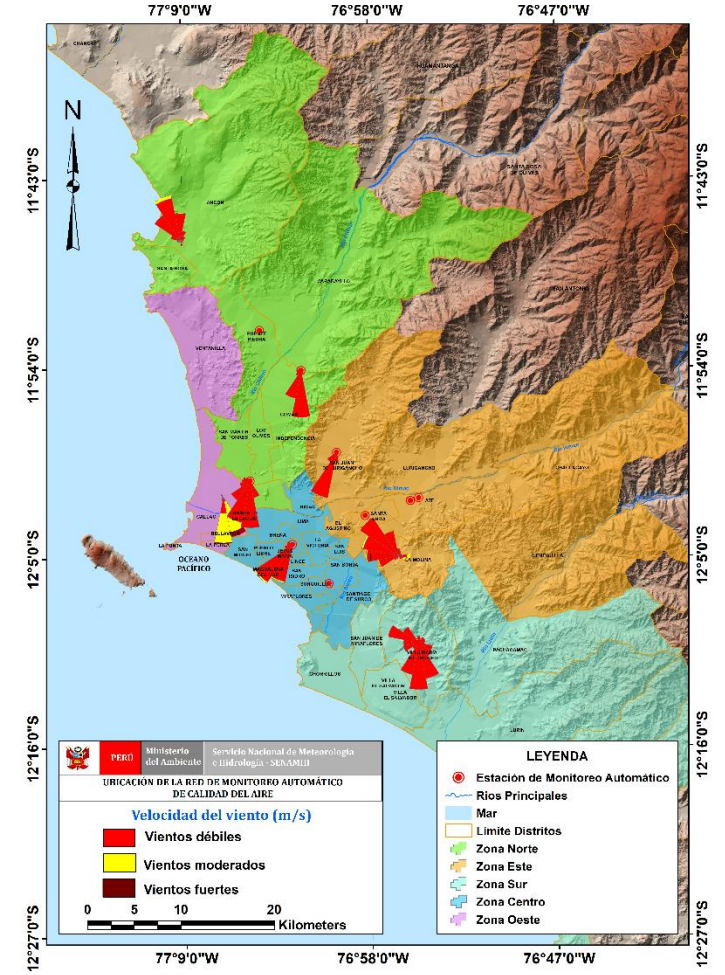


Figura N°09. Rosas de viento para el horario nocturno en el AMLC.



Las figuras N° 07, 08 y 09, muestran el comportamiento de la dirección y velocidad del viento en cada una de las estaciones meteorológicas automáticas para los horarios diurnos (07:00 - 11:59 horas), vespertinos (12:00 -18:59 horas) y nocturnos (19:00 - 06:59 horas).

2. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

El SENAMHI realiza la vigilancia a través de una Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA), la cual mide las concentraciones horarias de los contaminantes PM₁₀ (material particulado menor a 10 micras), PM_{2.5} (material particulado menor a 2.5 micras), NO₂ (dióxido de nitrógeno), O₃ (ozono troposférico) y CO (monóxido de carbono).

Cuadro N° 01. Zonas, nombres y ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.

ZONA	NOMBRE/UBICACIÓN
Norte	Estación Puente Piedra (PPD) Complejo Municipal "El gallo de oro" del distrito de Puente Piedra
	Estación Carabayllo (CRB) Piscina Municipal del distrito de Carabayllo
	Estación San Martín de Porres (SMP) Parque Ecológico del distrito de San Martín de Porres
Este	Estación San Juan Lurigancho (SJL) Universidad César Vallejo en el distrito de San Juan de Lurigancho
	Estación Ate (ATE) Plaza de Armas del distrito de Ate
	Estación Ceres (ATE2) Plaza Cívica de Ceres del distrito de Ate
	Estación Santa Anita (STA) Palacio Municipal del distrito de Santa Anita
Sur	Estación Villa María del Triunfo (VMT) Parque Nueva Esperanza en el distrito de Villa María del Triunfo
Centro	Estación San Borja (SBJ) Polideportivo Limatambo del distrito de San Borja
	Estación Campo de Marte (CDM) Parque Campo de Marte en el distrito de Jesús María.

Figura N° 10. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el AMLC.



Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

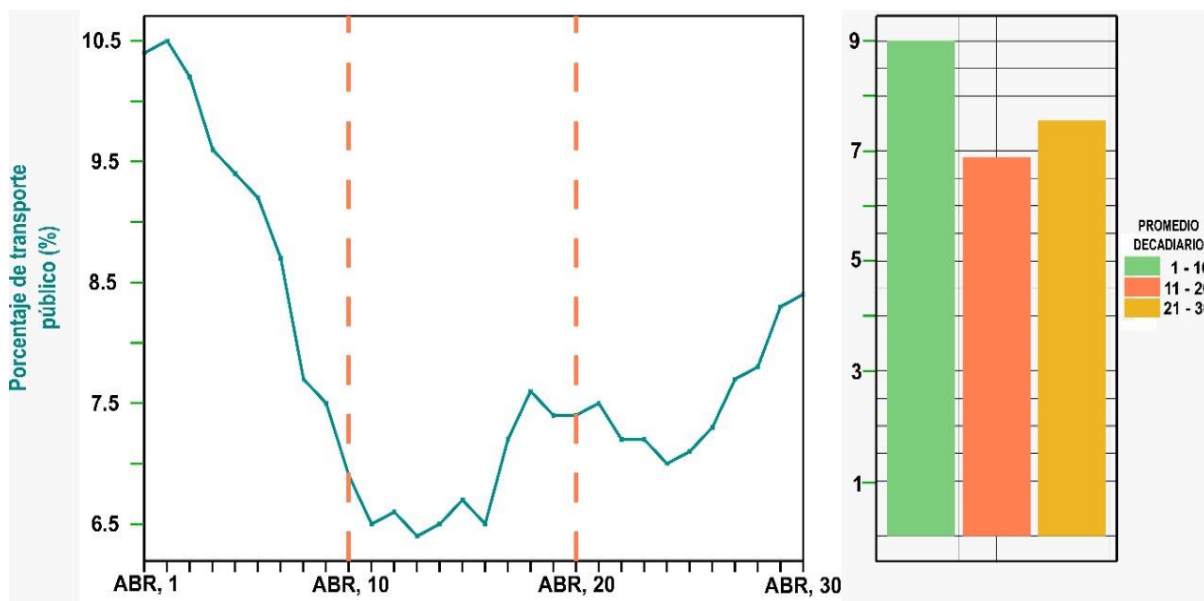
La Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente define al estándar de calidad ambiental (ECA) como **"la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua y suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente"**. Por lo tanto, para el caso de los contaminantes del aire, las concentraciones de cada uno de estos no deben superar su respectivo Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-aire) a fin de evitar problemas en la salud de las personas y el ambiente. Asimismo, los valores de los ECA-aire son establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y estipulados en el D.S. N° 003-2017-MINAM.

3. ACTIVIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO DURANTE DEL MES DE ABRIL

Moovit es una aplicación que muestra cómo se desplazan las personas cada día en transporte público en Lima Metropolitana, en comparación con otras ciudades del mundo. Esta aplicación determina el promedio de tiempo de viaje y de espera de los usuarios, así como también la distancia que el usuario viaja para llegar a trabajar en transporte público. Moovit utiliza algoritmos avanzados de Big Data para realizar cálculos estadísticos con la información obtenida de OpenStreetMap (también conocido como OSM), el cual genera mapas editables y libres con información geográfica capturada con dispositivos GPS móviles y ortofotografías.

En la figura N°11 se observa que en la primera decadiaria hubo mayor porcentaje de actividad vehicular, pero fue disminuyendo en los últimos días (alcanzando sus valores mínimos durante la semana santa). En la segunda decadiaria se presentó el menor porcentaje de actividad vehicular del mes, mientras que en la tercera decadiaria se observó un incremento a partir del día 25. Cabe mencionar que, un alto porcentaje de actividad vehicular está estrechamente relacionado con el aumento de emisiones de contaminantes del aire, mientras que un bajo porcentaje de éstas, se relaciona a una disminución de emisiones.

Figura N° 11. Actividad transporte público en el AMLC.



4. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE ESTACIONES DE MONITOREO EN EL AMLC – ABRIL

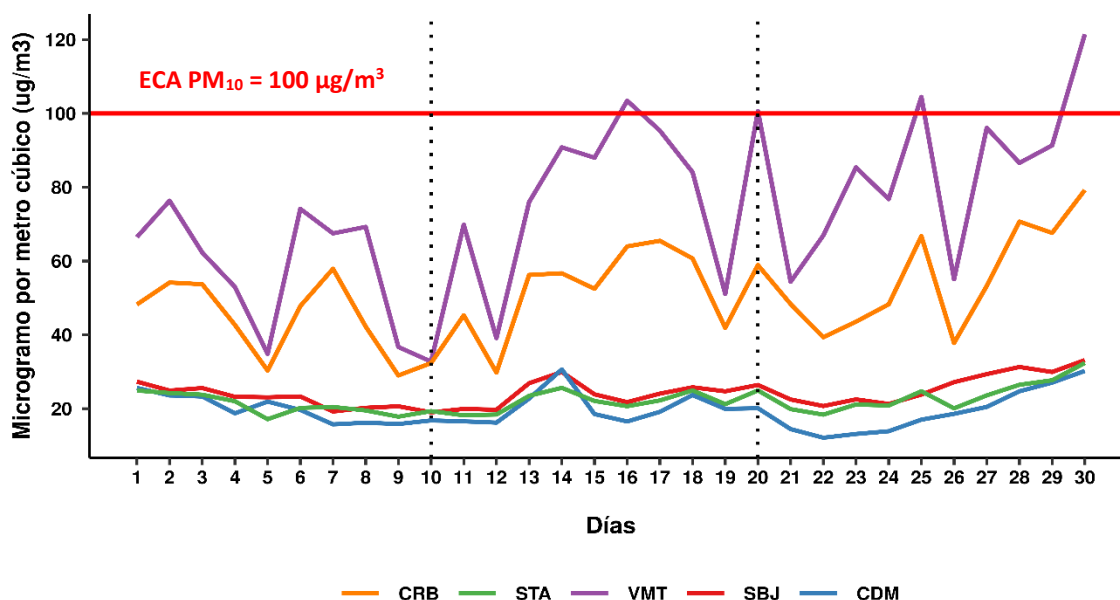
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria y/o horaria de las concentraciones del PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃ y CO. Los datos provinieron de las estaciones: Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (SJM), Santa Anita (STA), Villa María del Triunfo (VMT), San Borja (SBJ) y Campo de Marte (CDM).

4.1. CONCENTRACIONES DIARIAS DEL PM₁₀

En la figura N° 12 se observa que las concentraciones diarias registradas en la estación VMT superaron algunos días el ECA-aire para PM₁₀ (100 µg/m³ como promedio diario) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar lo siguiente:

- **Zona norte:** En la estación Carabayllo (CRB) la concentración máxima fue 79.23 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 28.99 µg/m³ (jueves 09).
- **Zona este:** En la estación Santa Anita (STA) la concentración máxima fue 32.36 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 17.13 µg/m³ (domingo 05).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo (VMT) la concentración máxima fue 121.47 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 32.75 µg/m³ (viernes 10).
- **Zona centro:** En la estación Campo de Marte (CDM) la concentración máxima fue 30.62 µg/m³ (martes 14) y la mínima fue de 12.11 µg/m³ (miércoles 22), mientras que en la estación San Borja (SBJ) la concentración máxima fue 33.14 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 18.99 µg/m³ (viernes 10).

Figura N° 12. Variación diaria del PM₁₀ (µg/m³) en el AMLC.



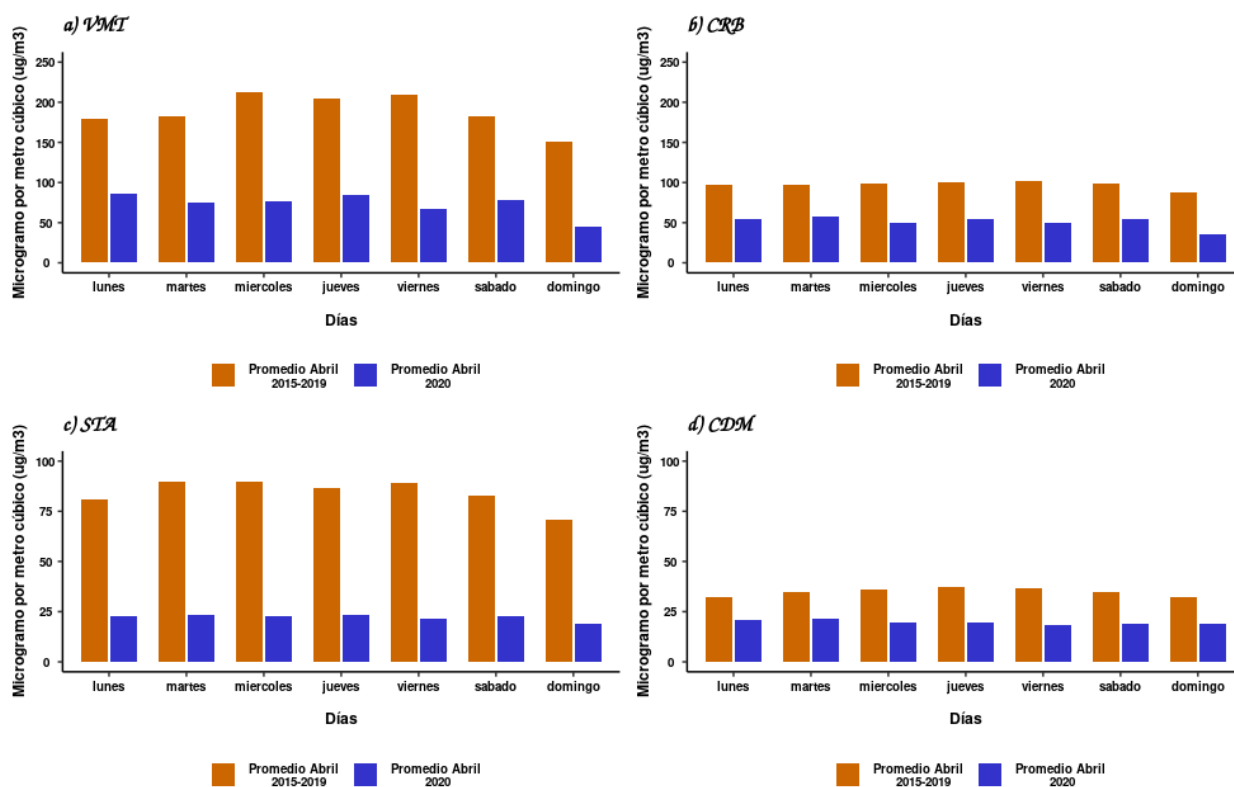
Asimismo, se observó una disminución en las concentraciones de PM₁₀ en la primera decadiaria, esto probablemente pudo estar relacionado a factores meteorológicos como el incremento de humedad relativa (mencionado en la sección 1.3). En la segunda decadiaria se presentó un incremento de las concentraciones de PM₁₀ los días 13, 14 y 15, lo cual estaría asociada a menores

porcentajes de humedad relativa en el ambiente y mayores temperaturas (mencionado en la sección 1.3), que permitieron la resuspensión de partículas gruesas (polvo). Asimismo, en la tercera decadiaria se presentó un incremento de las concentraciones de PM₁₀ los días 27, 28, 29 y 30, los cuales estarían asociados a un aumento de la actividad vehicular y movilización de personas (mencionado en la sección 3), así como un ligero aumento de la temperatura principalmente para el día 30.

Las concentraciones más bajas fueron alcanzadas los días 05 (domingo), 09 (jueves), 10 (viernes), 12 (domingo), 19 (domingo) y 26 (domingo), los cuales podría atribuirse a que dichos días fueron de inmovilización social obligatoria durante todo el día (domingos y feriados por semana santa).

En la figura N° 13 se presenta la variación diaria en la semana de las concentraciones del PM₁₀ históricas (periodo 2015 - 2019) para abril y el periodo de estado de emergencia (abril 2020), donde se han observado disminuciones en promedio de entre 74% a 43%. La estación Villa María del Triunfo (VMT) (figura N° 13a) mostró una disminución general de 61%, la estación Carabayllo (CRB) (figura N° 13b) una disminución de 48%, la estación Santa Anita (STA) (figura N° 13c) una disminución de 74% y la estación Campo de Marte (CDM) (figura N° 13d) una disminución de 43%. En promedio se registró una reducción de 57% para las 4 estaciones.

Figura N° 13. Comparativo de las concentraciones históricas y las registradas durante el estado de emergencia para el PM₁₀.

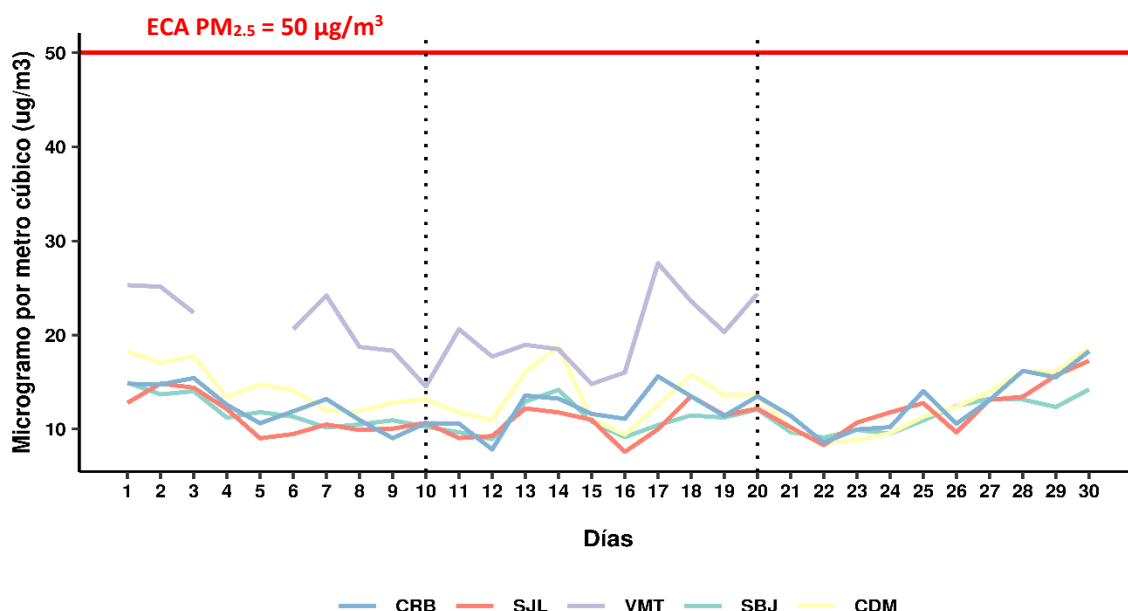


4.2. CONCENTRACIONES DIARIAS DEL PM_{2.5}

En la figura N° 14 se observa que las concentraciones diarias registradas en las estaciones no superaron el ECA-aire para PM_{2.5} (50 µg/m³ como promedio diario) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar lo siguiente:

- **Zona norte:** En la estación Carabayllo (CRB) la concentración máxima fue 18.28 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 7.84 µg/m³ (domingo 12).
- **Zona este:** En la estación San Juan de Lurigancho (SJL) la concentración máxima fue 17.26 µg/m³ (jueves 30) y la mínima fue de 7.58 µg/m³ (jueves 16).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo (VMT) la concentración máxima fue de 27.63 µg/m³ (viernes 17) y la mínima fue de 14.54 µg/m³ (viernes 10).
- **Zona centro:** En la estación Campo de Marte (CDM) la concentración máxima fue de 18.75 µg/m³ (martes 14) y la mínima fue de 8.51 µg/m³ (miércoles 22), mientras que en la estación San Borja (SBJ) la concentración máxima fue 14.94 µg/m³ (miércoles 01) y la mínima fue de 8.94 µg/m³ (domingo 12).

Figura N° 14. Variación diaria del PM_{2.5} (µg/m³) en el AMLC.

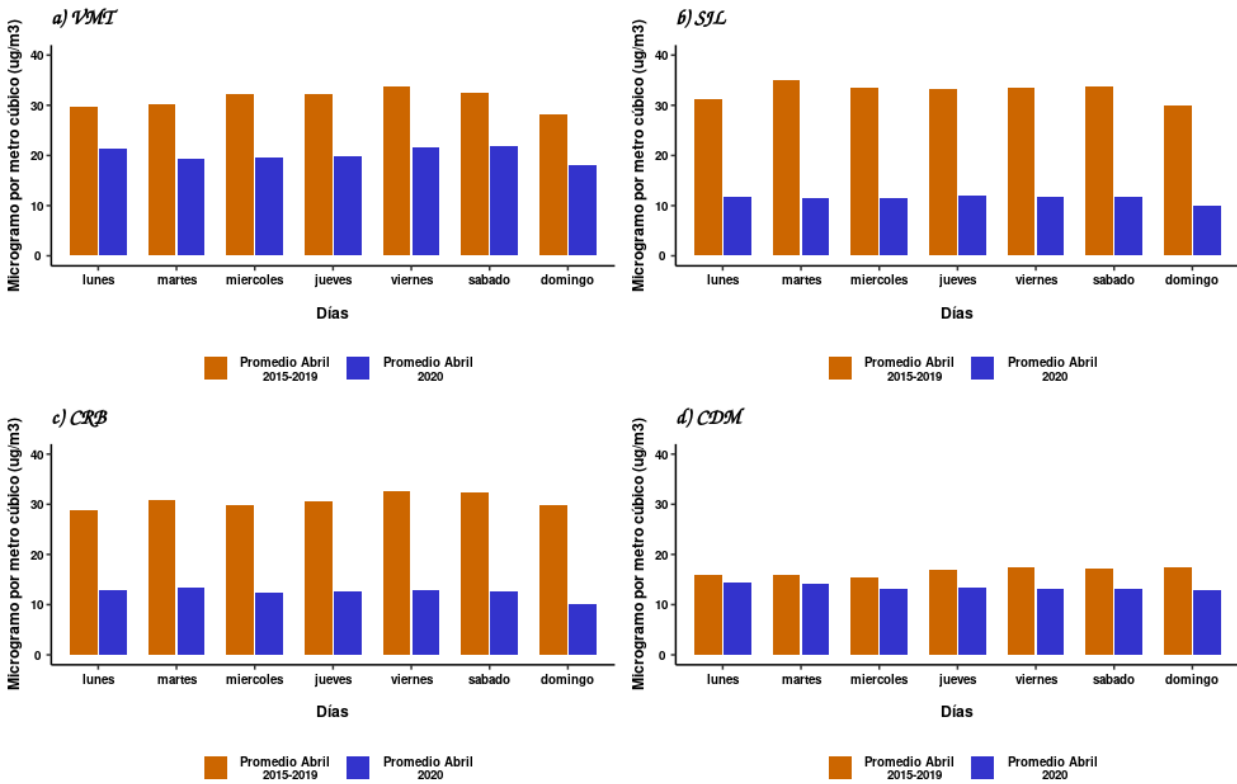


En la primera decadiaria se observó una mayor concentración del PM_{2.5} (principalmente los primeros días), lo cual pudo estar relacionado a la presencia de mayor actividad vehicular (mencionado en la sección 3) y a condiciones meteorológicas como el incremento de humedad relativa (mencionado en la sección 1.3); debido a que la humedad relativa contribuye a la formación de partículas finas (PM_{2.5}) mediante los procesos de conversión gas-partícula⁴. En la segunda decadiaria existió en promedio una ligera disminución de las concentraciones de PM_{2.5}, lo que pudo estar asociado a una reducción de la actividad vehicular (mencionado en la sección 3). Mientras que, en la tercera decadiaria se volvió a observar un ligero incremento de las concentraciones de PM_{2.5}, debido a un aumento de la actividad vehicular a partir del día 25 (mencionado en la sección 3). Algo muy importante a resaltar es que en las estaciones CRB, SJL, SBJ y CDM, las concentraciones del PM_{2.5} durante el mes de abril, estuvieron por debajo de los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud; sin embargo, en la estación VMT se superó en algunos días (01, 02 y 17 de abril).

4. Artículo científico: Particulate matter levels in a south American megacity: The Metropolitan area of Lima-Callao, Peru. 2017.

En la figura N° 15 se presenta la variación diaria en la semana de las concentraciones del PM_{2.5} históricas (periodo 2015 - 2019) para abril y el periodo de estado de emergencia (abril 2020), donde se han observado disminuciones en promedio de entre 65% a 19%. La estación Villa María del Triunfo (VMT) (figura N° 14a) muestra una disminución general de 35%, la estación San Juan de Lurigancho (SJL) (figura N° 14b) una disminución de 65%, la estación Carabayllo (CRB) (figura N° 14c) una disminución de 59% y la estación Campo de Marte (CDM) (figura N° 14d) una disminución de 19%. En promedio se registró una reducción de 45% para las 4 estaciones.

Figura N° 15. Comparativo de las concentraciones históricas y las registradas durante el estado de emergencia para el PM_{2.5}.

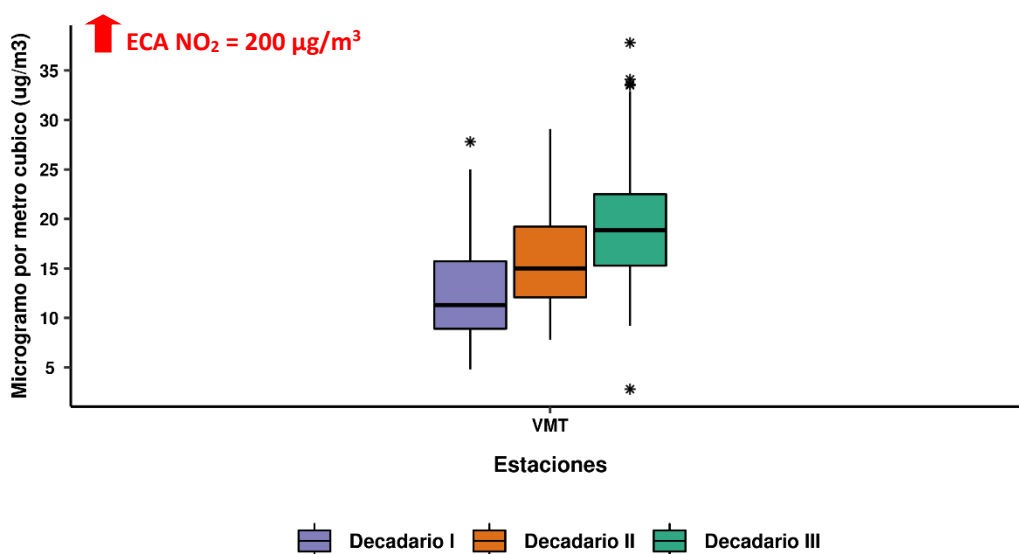


4.3. CONCENTRACIONES HORARIAS DEL NO₂

En la figura N° 16 se observa que las concentraciones horarias registradas en la estación VMT no superaron el ECA-aire para NO₂ (200 µg/m³ como promedio de una (01) hora) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar lo siguiente:

- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo (VMT) la concentración máxima fue 37.8 µg/m³ (jueves 30 a las 09:00 horas), mientras que la mínima fue de 2.8 µg/m³ (martes 21 a las 10:00 horas).

Figura N° 16. Variación horaria del NO₂ (µg/m³) en el AMLC.



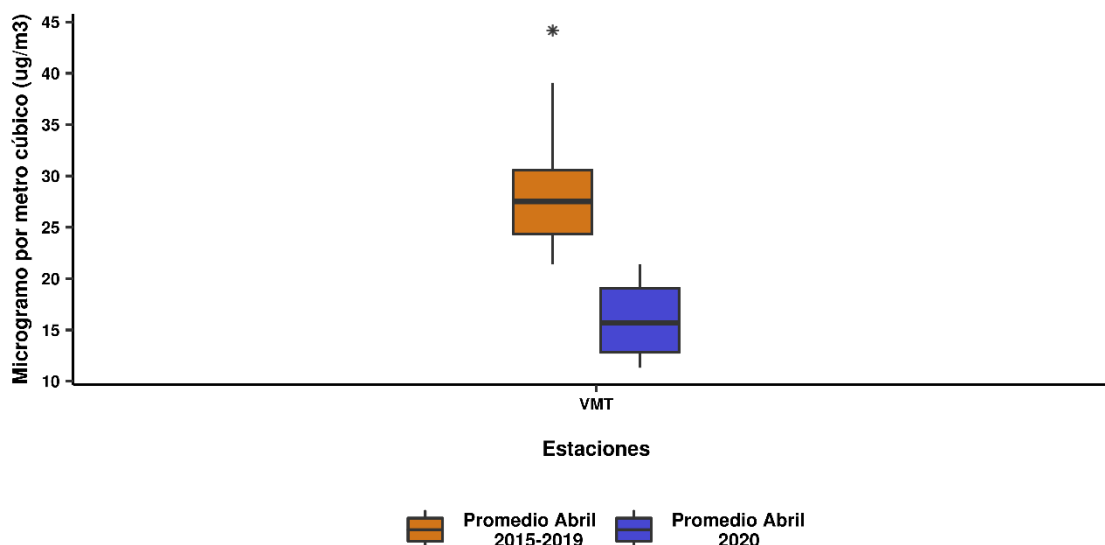
Durante el mes de abril, las mayores concentraciones del NO₂ se registraron en los horarios de mayor actividad vehicular (horas pico), las cuales están comprendidas en las primeras horas del día (7:00 horas hasta las 12:00 horas) y entre las últimas horas de la tarde y primeras horas de la noche (desde las 18:00 y 20:00 horas). Asimismo, las concentraciones horarias registradas en la primera decadiaria son menores a comparación de la segunda y tercera decadiaria.

El incremento de las concentraciones del NO₂ registradas durante la tercera decadiaria del mes, estarían asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (89% de las emisiones de NO_x provienen de vehículos a diésel⁵) a partir del día 25 (mencionado en la sección 3).

En la figura N° 17 se presenta las variaciones horarias de las concentraciones del NO₂ históricas (periodo 2015 al 2019) para abril y el periodo de estado de emergencia (abril 2020), donde se observó una disminución de 42% en la estación Villa María del Triunfo (VMT).

5. Documento: Informe N° 00283-2019-MINAM/VMGA/DGCA/DCAE – “Diagnóstico de la Gestión de la Calidad del Aire de Lima y Callao”.

Figura N° 17. Comparativo entre las concentraciones históricas y las registradas durante el estado de emergencia para el NO₂

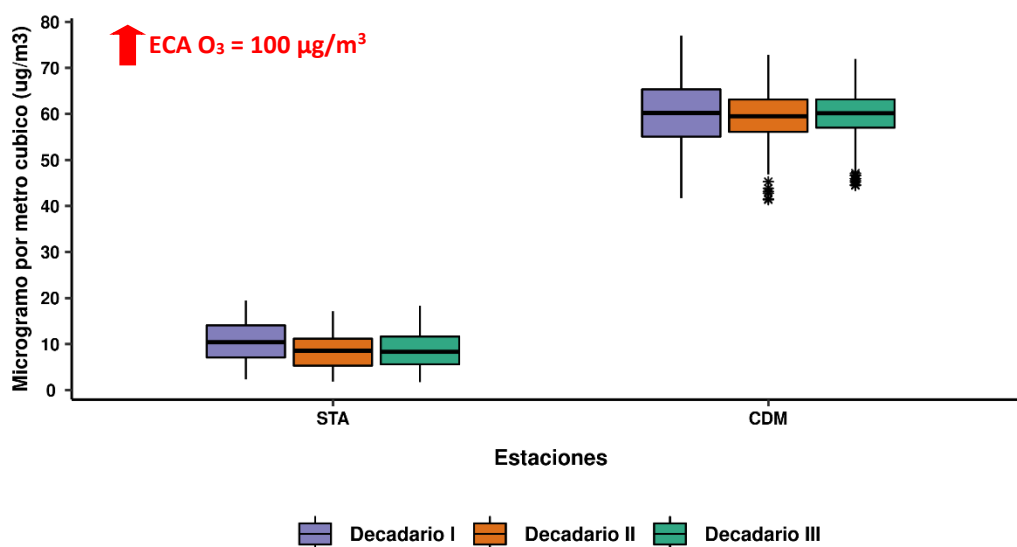


4.4. CONCENTRACIONES HORARIAS (PROMEDIO MÓVIL DE 8 HORAS) DEL O₃

En la figura N° 18 se observa que las concentraciones horarias (promedio móvil de 8 horas) registradas en las estaciones no superaron el ECA-aire para O₃ (100 µg/m³) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar lo siguiente:

- **Zona Este:** En la estación Santa Anita (STA) la concentración máxima fue 19.45 µg/m³ (martes 07 a las 17:00 horas) y la mínima fue 1.73 µg/m³ (jueves 30 a las 07:00 horas).
- **Zona Centro:** En la estación Campo de Marte (CDM) la concentración máxima fue 76.98 µg/m³ (miércoles 01 a las 18:00 horas) y la mínima fue 41.36 µg/m³ (martes 14 a las 09:00 horas).

Figura N° 18. Variación horaria (promedio móvil de 8 horas) del O₃ (µg/m³) en el AMLC.



Durante el mes de abril, las mayores concentraciones del O₃ en el AMLC se registraron en los horarios posteriores al período de máxima radiación solar ⁶ (comprendido entre las 11:00 horas y 15:00 horas) y primera hora punta de la actividad vehicular (desde las 7:00 hasta las 12:00 horas). Asimismo, las concentraciones horarias registradas en la primera decadiaria son ligeramente mayores a comparación de la segunda y tercera decadiaria.

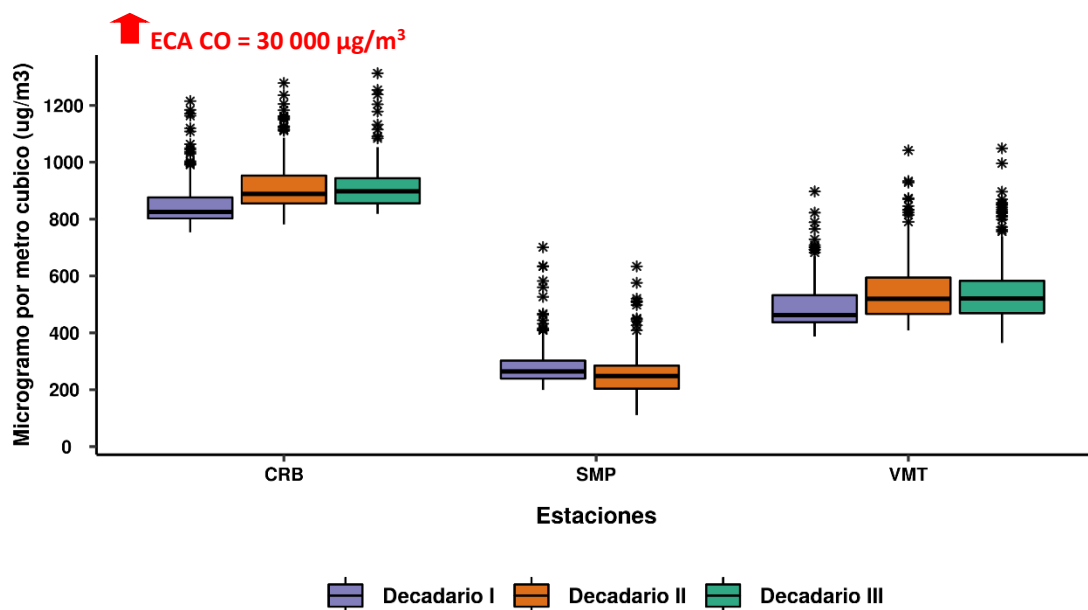
El AMLC tiene un régimen de formación de ozono limitado por Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)⁷, lo cual explicaría que una disminución de las concentraciones de NO_x reduce el consumo de los radicales OH, permitiendo que el OH (en mayor cantidad) reaccione con los COV facilitando la formación del O₃. En la primera decadiaria se observó una mayor formación de O₃ porque existió una menor concentración de NO₂ (mencionado en la sección 4.3), mientras que en la segunda y tercera decadiaria existió una ligera disminución, que podría estar asociada a un incremento de las concentraciones de NO₂ (mencionado en la sección 4.3).

4.5. CONCENTRACIONES HORARIAS DEL CO

En la figura N° 19 se observa que las concentraciones horarias registradas en las estaciones no superaron el ECA-aire para el CO (30 000 µg/m³) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar lo siguiente:

- **Zona norte:** En la estación San Martín de Porres (SMP) la concentración máxima fue 698.9 µg/m³ (miércoles 01 a las 08:00 horas) y la mínima fue 35.7 µg/m³ (miércoles 29 a las 03:00 horas), mientras que en la estación Carabayllo (CRB) la concentración máxima fue 1313.3 µg/m³ (sábado 25 a las 08:00 horas) y la mínima fue 754.4 µg/m³ (lunes 06 a las 00:00 horas).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo la concentración máxima horaria fue 1049.6 µg/m³ (sábado 25 a las 06:00 horas) y la mínima fue 364.4 µg/m³ (martes 21 a las 21:00 horas).

Figura N° 19. Variación horaria del CO (µg/m³) en el AMLC.



6. Documento: Boletín Mensual de la Vigilancia de la Radiación UV en ciudades del Perú – abril 2020.

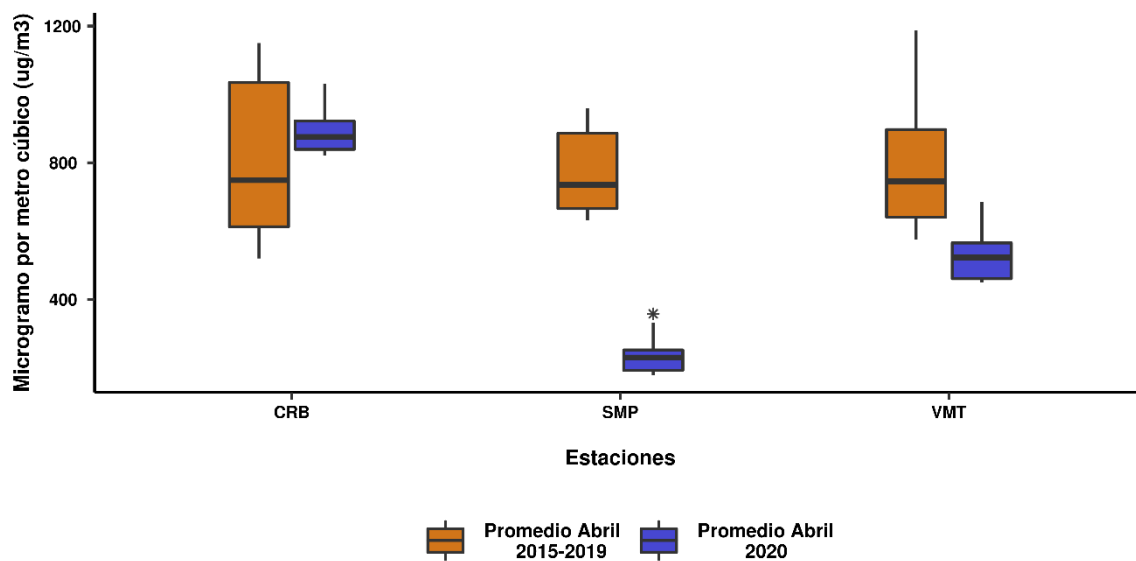
7. Artículo científico: Ozone and volatile organic compound in the Metropolitan area of Lima-Callao, Peru. 2018.

Durante el mes de abril, las mayores concentraciones del CO se registraron en la primera hora pico del AMLC (06:00 horas hasta las 10:00 horas). Asimismo, las concentraciones horarias registradas en la primera decadiaria en la estación Carabayllo (CRB) y Villa María del Triunfo (VMT) son ligeramente menores a comparación a la segunda y tercera decadiaria, mientras que en la estación San Martín de Porres (SMP) estas concentraciones son ligeramente mayores.

El incremento de las concentraciones del CO registradas durante la tercera decadiaria del mes en las estaciones de CRB y VMT, estarían asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (87% de las emisiones de CO provienen de los vehículos a gasolina/gasohol⁸) a partir del día 25 (mencionado en la sección 3).

En la Figura N° 20 se presenta la variación horaria de las concentraciones del CO históricas (periodo 2015 al 2019) para abril y el periodo de estado de emergencia (abril 2020), donde se observó que la estación Carabayllo (CRB) muestra un incremento de 12%, mostró que la estación San Martín de Porres (SMP) mostró una disminución de 69% y la estación Villa María del Triunfo (VMT) una disminución de 32%. En promedio se registró una reducción de 30% para las 3 estaciones.

Figura N° 20. Comparativo entre las concentraciones históricas y las registradas durante el estado de emergencia para el CO

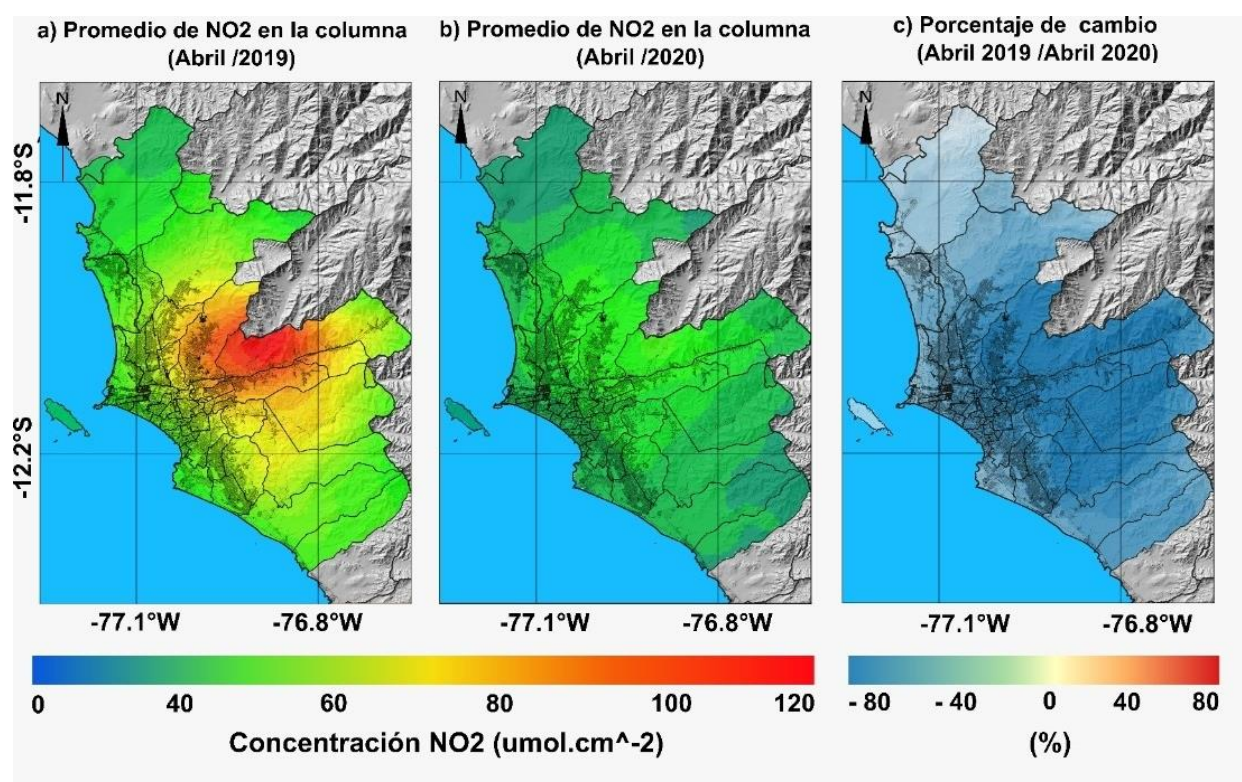


8. Documento: Informe N° 00283-2019-MINAM/VMGA/DGCA/DCAE – “Diagnóstico de la Gestión de la Calidad del Aire de Lima y Callao”.

5. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES Y MODELOS NUMÉRICOS PARA EL AMLC- ABRIL

La figura N° 21, muestra la distribución espacial de la columna del NO₂ ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2$) en la tropósfera, obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de $5 \text{ km} \times 3.5 \text{ km}$. Es así que, la figura N°21a, muestra la distribución promedio de NO₂ para el mes de abril del año 2019, la figura N°21b, muestra la distribución espacial del NO₂ para el mes de abril del año 2020 (durante el estado de emergencia) y la figura N°21c, muestra el porcentaje de cambio del NO₂ de abril 2020 con respecto a abril del 2019.

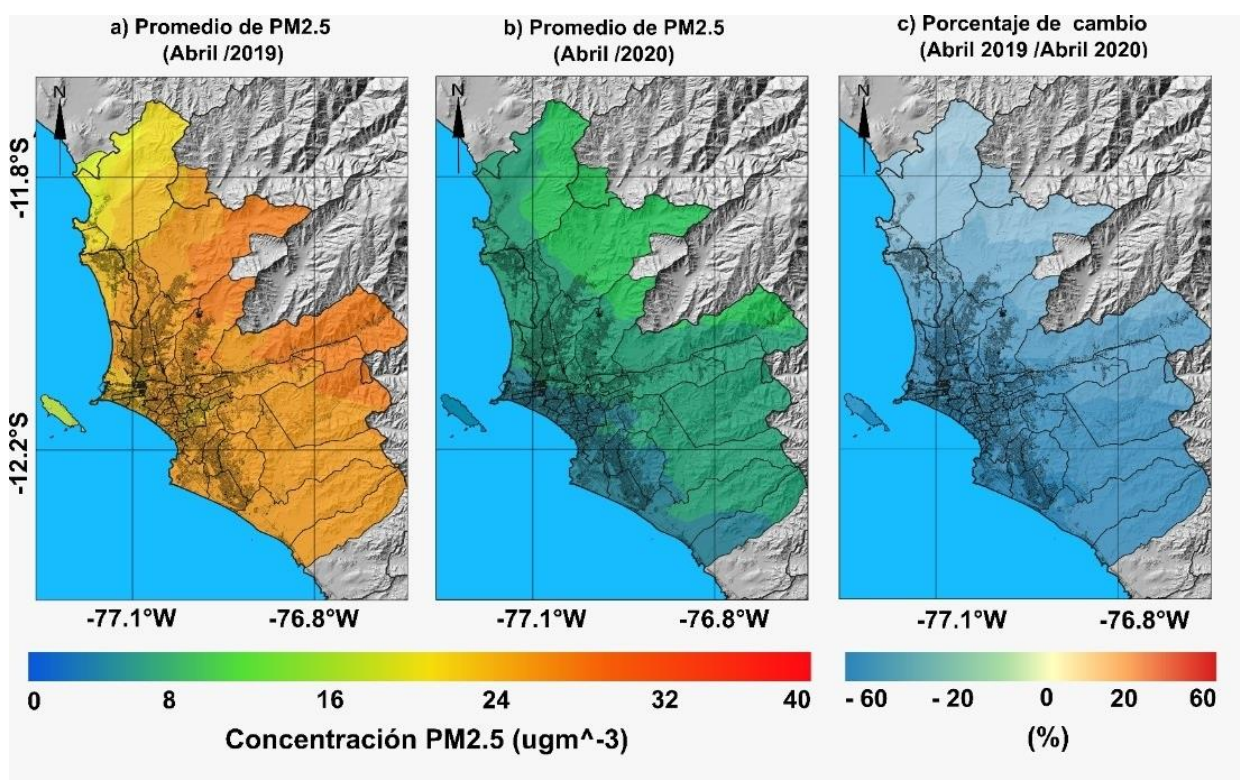
Figura N° 21. Distribución espacial de la columna del NO₂ ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2$) en la tropósfera sobre el AMLC.



La mayor cantidad de NO₂ en la columna de la tropósfera se registró durante abril del 2019 (figura N°21a), con una disminución significativa en abril del 2020 (figura N°21b), alcanzando una reducción de hasta de 80% (figura N°21c). Asimismo, si bien las mayores concentraciones se obtienen en las primeras horas punta del AMLC (desde las 7:00 horas hasta las 12:00 horas), es evidente que incluso durante estas horas hay una reducción del NO₂ durante abril 2020. Cabe precisar que las mayores cantidades de este contaminante son trasladadas por lo vientos para las zonas norte y este del AMLC.

Las figuras N° 22, muestra la distribución espacial de las concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ en superficie para el ALMC, elaboradas con los datos del modelo numérico de calidad del aire del Servicio del Monitoreo Atmosférico Copernicus (CAMS, por sus siglas en inglés), que fue implementado por el Centro Europeo de Pronóstico del Tiempo de Rango Medio (ECMWF por sus siglas en inglés). Es así que, la figura N°22a, muestra la distribución promedio de $PM_{2.5}$ para el mes de abril del año 2019, la figura N°22b, muestra la distribución espacial del $PM_{2.5}$ para el mes de abril del año 2020 (durante el estado de emergencia) y la figura N°22c, muestra el porcentaje de cambio del $PM_{2.5}$ de abril 2020 con respecto a abril del 2019.

Figura N° 22. distribución espacial de las concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ en superficie para el ALMC



La mayor cantidad de $PM_{2.5}$ se registró durante abril del 2019 (figura N°22a), con una disminución significativa en abril del 2020 (figura N°22b), alcanzando una reducción de hasta de 60% (figura N°22c). Asimismo, los datos registrados de $PM_{2.5}$ por la REMCA del SENAMHI presentaron una reducción de 45%.

6. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL AMLC – ABRIL

El índice de calidad del aire (ICA), está basado en valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA por sus siglas en inglés). Los ICAs son valores que permiten informar el estado de la calidad del aire, permitiendo a la población conocer sobre qué tan limpio o saludable está el aire y que efectos podría causar en la salud (Cuadro N°2).

Cuadro N° 02: Estados de la Calidad del Aire y su Implicancia en las personas.

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE	ESTADO	PM ₁₀ (µg/m ³) 24-horas	PM _{2.5} (µg/m ³) 24-horas	¿QUIÉN SE DEBE PREOCUPAR?	MEDIDAS A TOMAR POR LA POBLACIÓN
0 – 50	BUENA	0 - 54	0.0 –12.0	Ninguno, No existe riesgo	La calidad del aire es aceptable se puede realizar actividades al aire libre
51 – 100	MODERADA	55 - 154	12.1 - 35.4	Personas que podrían ser excepcionalmente sensibles a la contaminación por partículas.	Personas excepcionalmente sensibles: Contemplar reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso al aire libre. Prestar atención a la aparición de síntomas como tos o dificultad para respirar. Esto indica que se debe reducir el esfuerzo. Para el resto de las personas: ¡Es un buen día para realizar actividades al aire libre!
101 – 150	INSALUBRE PARA GRUPOS SENSIBLES	155 - 254	35.5 - 55.4	Los grupos sensibles comprenden a personas con cardiopatías o enfermedades pulmonares, adultos mayores, niños y adolescentes.	Grupos sensibles: Reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Está bien realizar actividades al aire libre, pero descanse a menudo y realice actividades menos intensas. Prestar atención a la aparición de síntomas como tos o dificultad para respirar. Las personas asmáticas deben seguir sus planes de acción y tener a mano medicamentos de acción rápida. Si padece de una cardiopatía: Síntomas como palpitaciones, dificultad para respirar o fatiga inusual pueden indicar un problema grave. Si sufre cualquiera de estos síntomas, comuníquese con su proveedor médico.
151 – 200	INSALUBRE	255 - 354	55.5 -150.4	Todos	Grupos sensibles: Evitar actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Tener en cuenta la posibilidad de realizar las actividades al interior de sus casas. Para el resto de las personas: Reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Descansar a menudo durante las actividades al aire libre.

Fuente: https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf

6.1. ESTADOS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM₁₀

La figura N° 23 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM₁₀ asociados a su respectivo estado de la calidad del aire, donde se observó que las estaciones San Borja (SBJ), Campo de Marte (CDM) y Santa Anita (STA) se encontraron dentro del estado de la calidad del aire “bueno” durante todo el mes de abril. Asimismo, la estación Villa María del Triunfo (VMT) mostró 6 días con estado “bueno” y 24 días con estado “moderado”, mientras que la estación Carabayllo (CRB) mostró 18 días con estado “bueno” y 12 días con estado “moderado”.

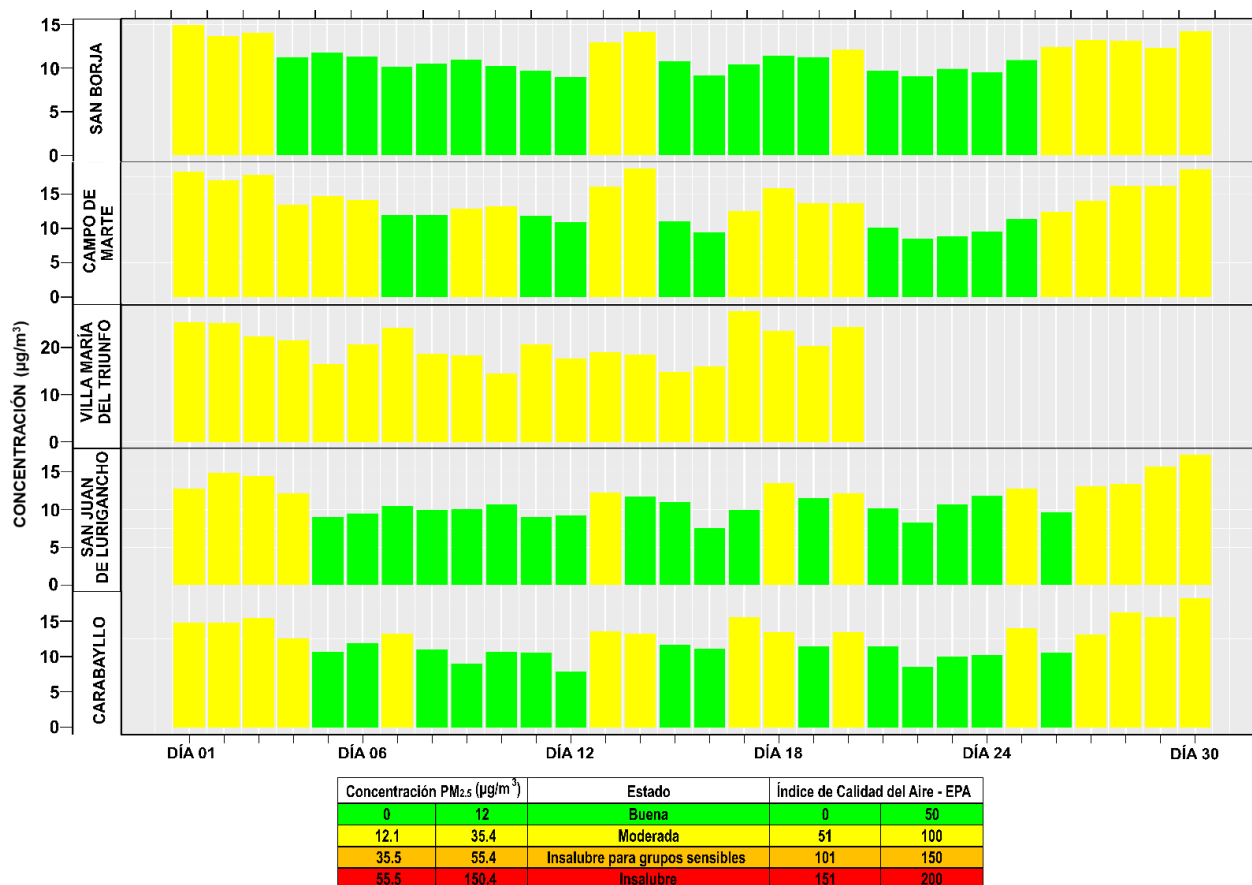
Figura N° 23. Estados de la Calidad del Aire para PM₁₀ – ABRIL



6.2. ESTADOS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM_{2.5}

La figura N° 24 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM_{2.5} asociados a su respectivo estado de la calidad del aire, donde se observó que las estación Carabayllo (CRB) presentó 15 días con estado de la calidad del aire “bueno” y 15 días con “moderado”, San Juan de Lurigancho (S JL) 18 días “bueno” y 12 días “moderado”, Campo de Marte (CDM) 11 días “bueno” y 19 días “moderado” y San Borja (SBJ) 19 días “bueno” y 11 días “moderado”. Asimismo, la estación Villa María del Triunfo (VTM) presentó 20 días estado de la calidad del aire “moderado”.

Figura N° 24. Estados de la Calidad del Aire para PM_{2.5} – ABRIL



7. CONCLUSIONES

- Las condiciones meteorológicas influyeron en el comportamiento diario y horario de los contaminantes del aire en el ALMC durante el mes de abril. El incremento de la humedad relativa en la primera decadiaria favorecieron a la disminución de PM_{10} y al incremento de $PM_{2.5}$. En la segunda decadiaria un incremento de la temperatura y un descenso de la humedad relativa generaron las condiciones para un incremento de PM_{10} .
- Las concentraciones diarias del PM_{10} mostraron un incremento gradual a partir de la segunda decadiaria en todas las estaciones, siendo la estación VMT la única que superó sus respectivos ECA-aire en algunos días. Las concentraciones diarias del $PM_{2.5}$ fueron mayores en la primera decadiaria; sin embargo no superaron sus respectivos ECA-aire.
- Las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones CRB, SJL, SBJ y CDM estuvieron por debajo de los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$); mientras que, en la estación VMT estas concentraciones superaron algunos días (01, 02 y 17) del mes de abril.
- Los contaminantes gaseosos NO_2 y CO no superaron sus respectivos ECA-aire. Asimismo comparandolos con sus datos históricos (2015-2019) se evidenció una disminución significativa de las concentraciones en el mes de abril 2020, posiblemente relacionado al estado de emergencia.
- El O_3 no superó su respectivo ECA-aire. Sin embargo, en la primera decadiaria, mostró un ligero aumento de sus concentraciones.
- Las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registradas durante el estado de emergencia disminuyeron en un 57% y 45% respectivamente con respecto a sus concentraciones históricas (del 2015 al 2019) para el mes de abril. Una comparación para estos mismos periodos de las concentraciones de NO_2 y CO mostraron una disminución de 42% y 30% respectivamente .
- Los datos mostrados por el Satélite SENTINEL-5P y el modelo (CAM5), indicaron disminuciones en la columna de dióxido de nitrógeno (NO_2) de entre hasta un 80% (mejor pongan rango) y concentraciones del $PM_{2.5}$ hasta un 60% respectivamente sobre el ALMC en comparación al mes de abril del 2019.
- Con respecto a los estados de la calidad del aire se pudo apreciar que, el contaminante PM_{10} presentó días con estado "bueno" en las estaciones SBJ, CDM y STA durante todos los días del mes, mientras que las estaciones VMT y CRB presentó días con estado "moderado". Asimismo, el contaminante $PM_{2.5}$ presentó mayores días con estado de calidad del aire "moderado" en las estaciones VMT, CRB y CDM, mientras que en las estaciones SJL y SBJ presentó mayores días con estado "bueno".

8. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MES DE MAYO

De acuerdo al pronóstico climático⁹, se espera que en el AMLC las temperaturas máximas y mínimas alcancen valores por debajo de sus promedio climáticos, lo que favorecería principalmente al incremento gradual de las concentraciones de PM_{2.5} y disminución de las concentraciones de PM₁₀. Sin embargo, dado a que las medidas como el aislamiento social obligatorio continúan (trayendo como consecuencia una disminución de las emisiones vehiculares e industriales) se espera que las concentraciones de ambos contaminantes alcancen valores por debajo de sus concentraciones promedios históricos para el mes de mayo.

9. Documento: Boletín climático nacional - mayo 2020 SENAMHI

Para más información sobre el presente informe, contactar con:

Ing. Jhojan Pool Rojas Quincho
jprojas@senamhi.gob.pe
Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico

Elaboración

Ing. Francesco Renato Urdanivia Lermo (furdanivia@senamhi.gob.pe)
Mg.Sc. Alan Jesús García Rosales
Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio
Ing. Roy Antonio Garay Saravia (rgaray@senamhi.gob.pe)
Bach. Carlos Enciso Ojeda
Tec. Rosalinda Aguirre Almeyda

Para estar informado permanentemente sobre la **EVOLUCIÓN HORARIA DE LOS CONTAMINANTES PRIORITARIOS DEL AIRE** en Lima Metropolitana visita este enlace:
<http://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad-de-aire>

Encuentra los últimos **6 BOLETINES MENSUALES DE LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE** de Lima Metropolitana en el siguiente enlace:
<http://www.senamhi.gob.pe/?p=boletines>

Próxima actualización: 08 de junio de 2020