

Mayo 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) – MAYO 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 mayo 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, el mes de abril y mayo 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), 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), el 09 de mayo se decretó la cuarta prórroga al estado de emergencia (a partir del 11 de mayo hasta el 24 de mayo del 2020) (DS N°083-2020-PCM) y el 23 de mayo se decretó la quinta prórroga al estado de emergencia (a partir del 25 de mayo hasta el 30 de junio del 2020) y se dispuso un recorte al horario de inmovilización social obligatoria (desde las 21:00 horas hasta las 04:00 horas del día siguiente) (DS N°094-2020-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.

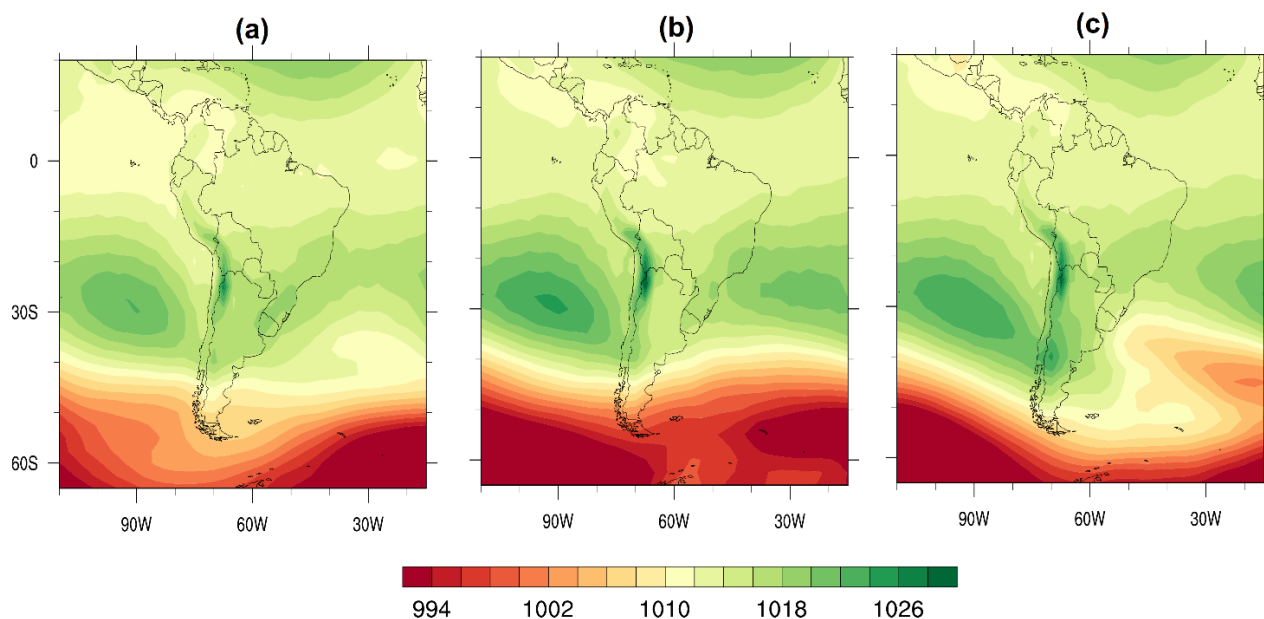
1. VIGILANCIA DE LAS CONDICIONES SINÓPTICAS Y METEOROLÓGICAS LOCALES EN EL AMLC - MAYO

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 de mayo, obteniéndose tres periodos de análisis. Estos son la decadiaria 1 (del día 1 al 10 de mayo), decadiaria 2 (del día 11 al 20 de mayo) y decadiaria 3 (del día 21 al 31 de mayo).

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 dentro de su normal³ y se posicionó en los 30°S. Asimismo, en la segunda decadiaria (figura N°01b) el APS aumentó sus valores de presión atmosférica por encima de su normal y se acercó ligeramente al continente. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°01c), el APS mantuvo sus valores de presión atmosférica por encima de su normal, sin embargo se alejó ligeramente del continente.

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



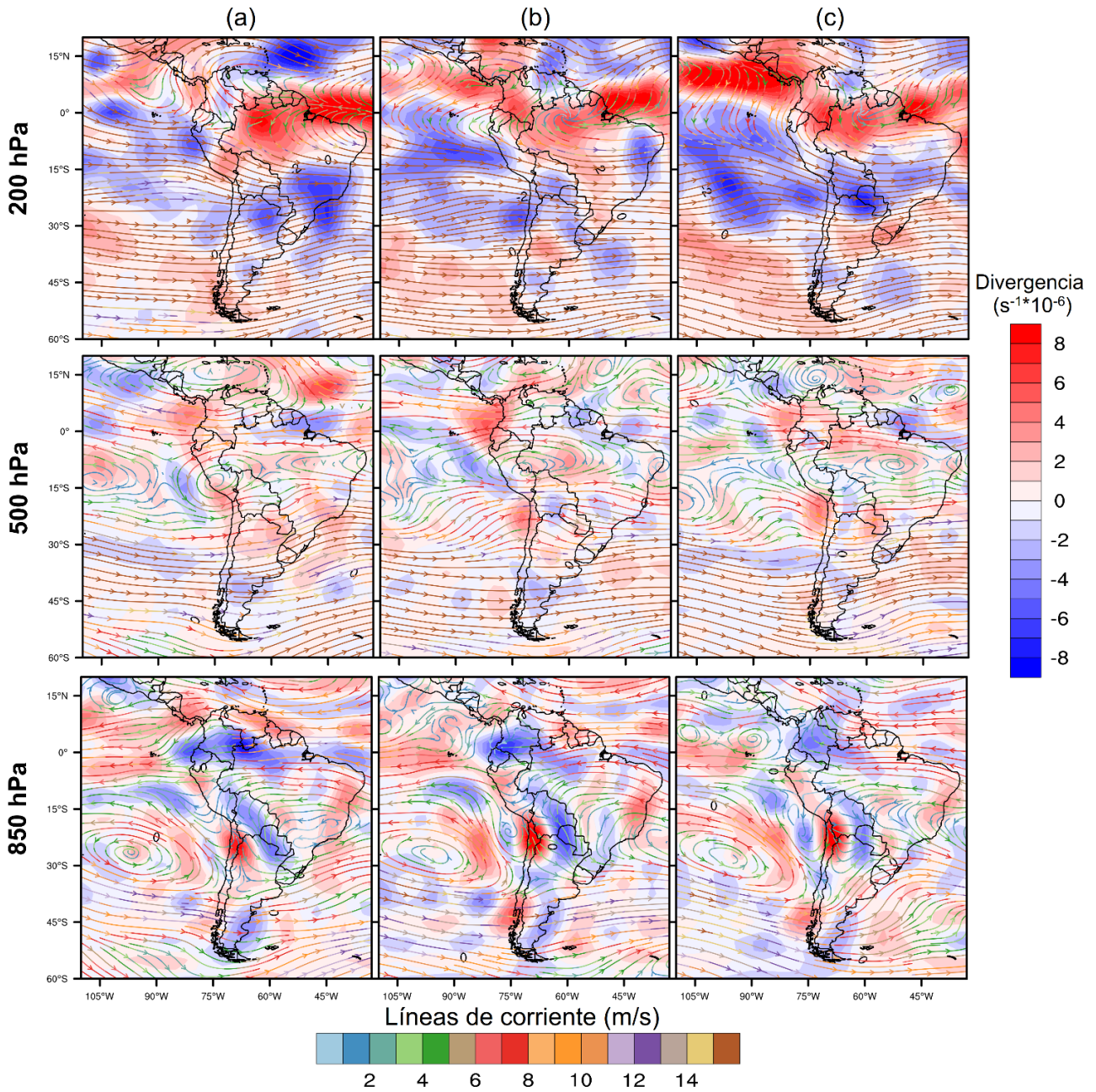
1.2. LÍNEAS DE CORRIENTE A DIFERENTES NIVELES DE PRESIÓN

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 habría generado vientos descendentes desde niveles altos, favoreciendo a la estabilidad atmosférica sobre esta región. En la segunda decadiaria (figura N°02b), se tuvo una divergencia negativa en niveles altos (200 hPa) y medios (500 hPa) sobre la costa central, mientras que vientos costeros provenientes del sur se intensificaron en niveles bajos (850 hPa) debido al acercamiento del APS al continente (mencionado en la sección 1.1), estas condiciones habrían generado un incremento en la velocidad del viento. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°02c) se observó condiciones débiles de divergencia negativa en niveles altos (200 hPa) y

3. Normal, se refiere al promedio histórico de 30 años de información (1981-2010)

medios (500 hPa) y condiciones de divergencia positiva en niveles bajos (850 hPa), lo cual pudo haber favorecido a flujos descendentes desde niveles altos.

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).

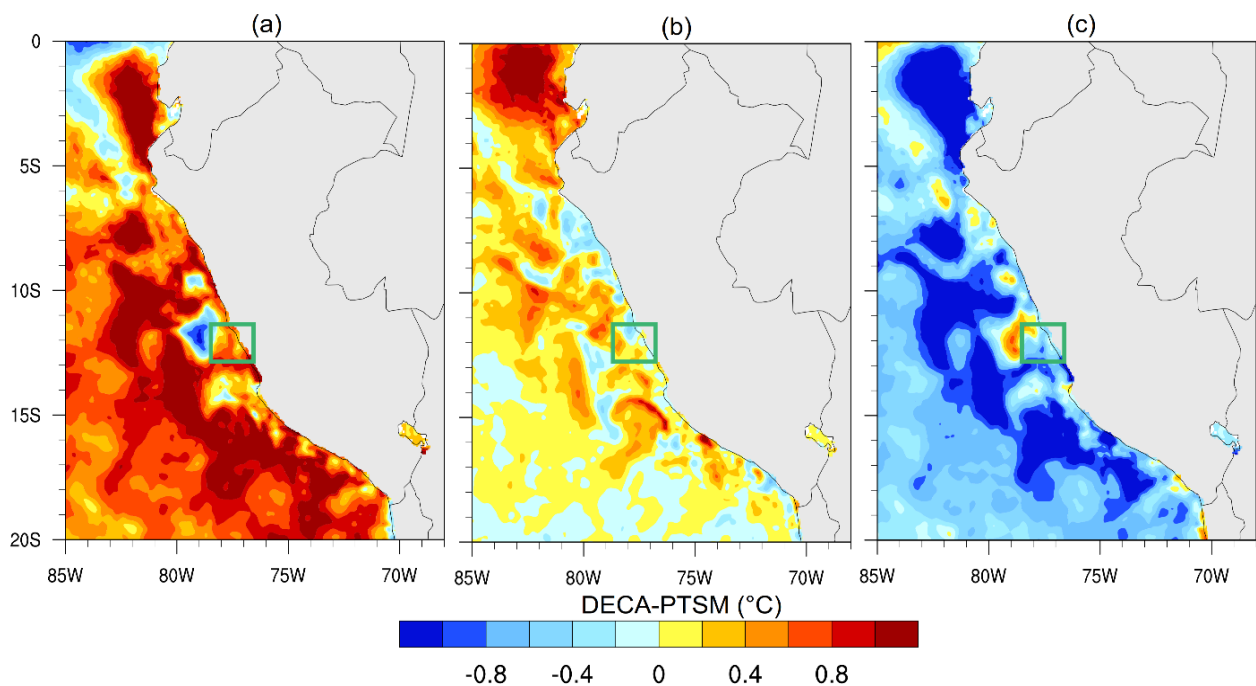


1.3. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)

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 mayo 2020 (DECA) con respecto a su promedio mensual para mayo 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 la costa central. 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 la costa central. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°03c) 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 mayo las variaciones de la temperatura superficial del mar a nivel nacional no fueron determinantes para el desarrollo de un evento El Niño o La Niña⁴.

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

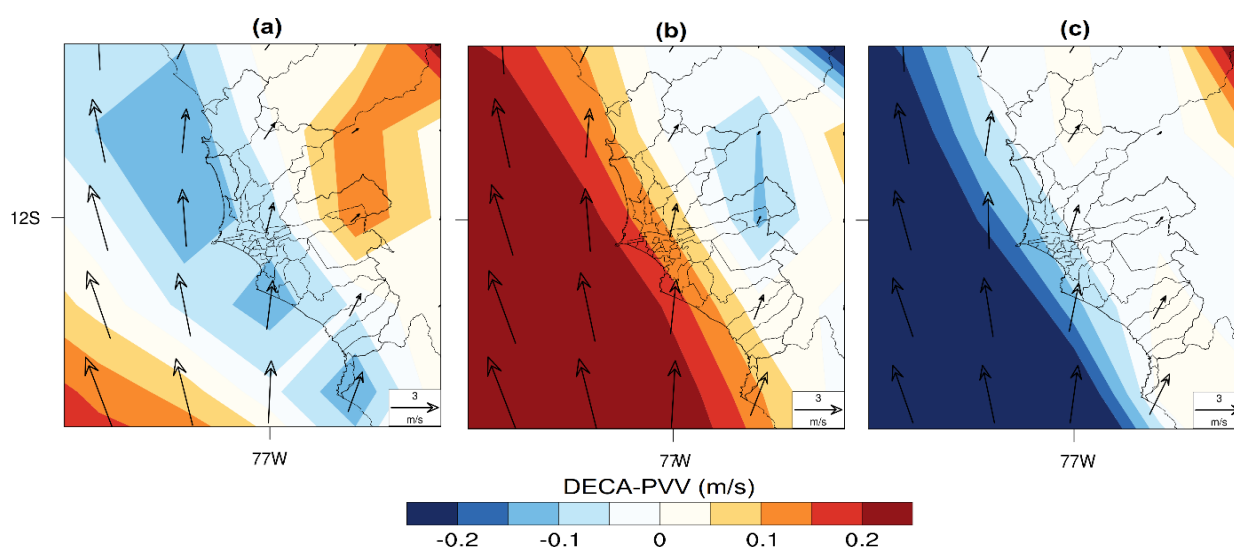


4. Documento: Comunicado Oficial del ENFEN N°07 de 2020.

1.4. 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 (DECA) del mes de mayo 2020 con respecto al promedio de la velocidad del viento (PVV) mensual para mayo 2020. Es así que, en la primera decadiaria (figura N°04a) se observó una ligera 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 al continente (mencionado en la sección 1.1), lo cual habría favorecido a días con cielo despejado y al aumento de temperatura. Finalmente, en la tercera decadiaria (figura N°04c) se observó una disminución 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)



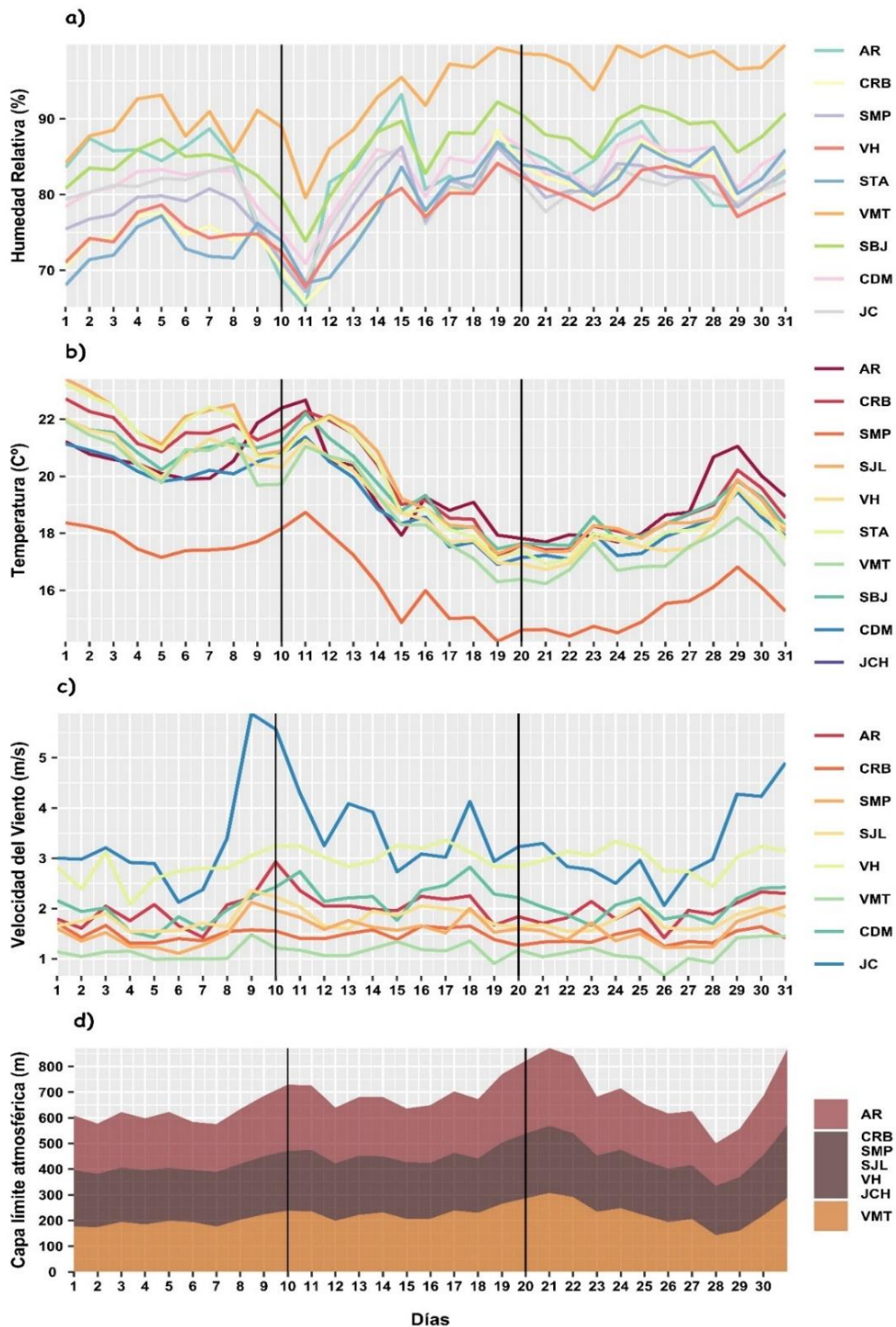
Con los datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria de la humedad relativa (a 2 metros de la superficie - mds), temperatura (a 2 mds) y la velocidad del viento (a 10 mds). Los datos provinieron de las estaciones: Antonio Raimondi (AR), Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (S JL), Alexander Von Humboldt (VH), Santa Anita (STA), Villa María del Triunfo (VMT), San Borja (SBJ), Campo de Marte (CDM) y Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH). Adicionalmente se representó la variabilidad diaria de la altura de la capa límite atmosférica (ACLA)⁵ 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, 11, 16, 23 y 29, mientras que los días 05, 15, 19, 24, 28 y 31 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 02, 04, 12, 15, 19, 26 y 28, mientras que los días 03, 09, 16, 18, 25, 27 y 30 mostraron un incremento (figura N°05c). Asimismo, la ACLA presentó mayores valores en la estación AR y menores valores en la estación VMT. De esta manera, se observó incrementos de ACLA los días 03, 05, 10, 14, 17, 21, 24 y 30 y disminución los días 02, 04, 07, 12, 15, 18, 23, 26 y 28 (figura N°05d).

5. ACLA: parte de la tropósfera influenciada directamente por la superficie terrestre, donde se concentra la mayor cantidad de sustancias contaminantes.

En promedio los valores de la humedad relativa presentaron una tendencia a aumentar mientras que la temperatura tuvo una tendencia a disminuir durante el mes, lo que estuvo asociado al comportamiento de la TSM (mencionado en la sección 1.3). Dentro de la segunda decadiaria, se observó una disminución progresiva de la temperatura y un aumento de la humedad relativa, asociado a la intensificación del viento costero en niveles bajos (mencionado en la sección 1.2). En el caso de la velocidad del viento, este estuvo asociado a factores sinópticos y en menor porcentaje a factores locales, dado a que, los días de mayor o menor intensidad del viento no guardaron una relación directa o indirecta con el comportamiento de la humedad relativa y 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 durante la primera decadiaria, las nubes bajas (base de la nube menor a 2000 m) fueron poco frecuentes, mientras que las nubes medias (base de la nube mayor a 2000 m y menor a 6000 m) tuvieron una mayor presencia. En la segunda decadiaria, hubo poca presencia de nubes bajas y medias en los primeros días; sin embargo, se registró un incremento de nubes bajas al final del periodo. Finalmente, en la tercera decadiaria, la presencia de nubes bajas fue continuo. Asimismo, la nubosidad alta (base de la nube mayor a 6000 m) fue nula en el presente mes como consecuencia de una reducción de los procesos de trasvase o flujos de vientos del este.

La presencia de nubes medias y bajas en la primera decadiaria, estaría asociado al aumento de la TSM (mencionado en la sección 1.3), 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 en los primeros días de la segunda decadiaria estaría relacionado a vientos descendentes y al aumento de la intensidad del viento costero (mencionado en la sección 1.2).

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

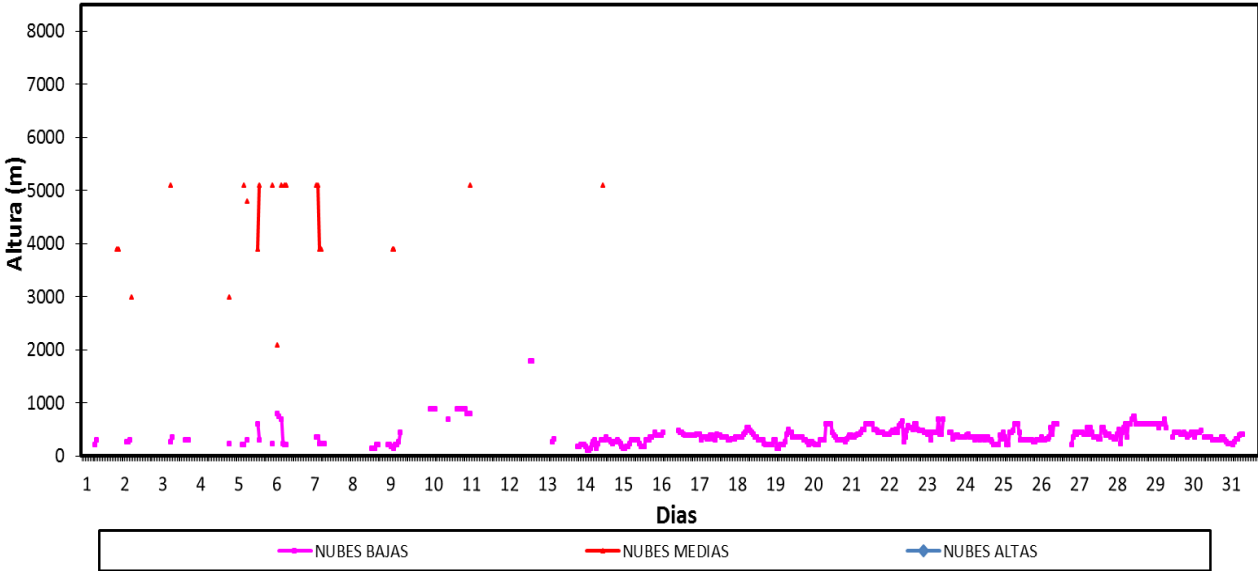


Figura N° 07. Rosas de viento para el horario diurno en el AMLC.

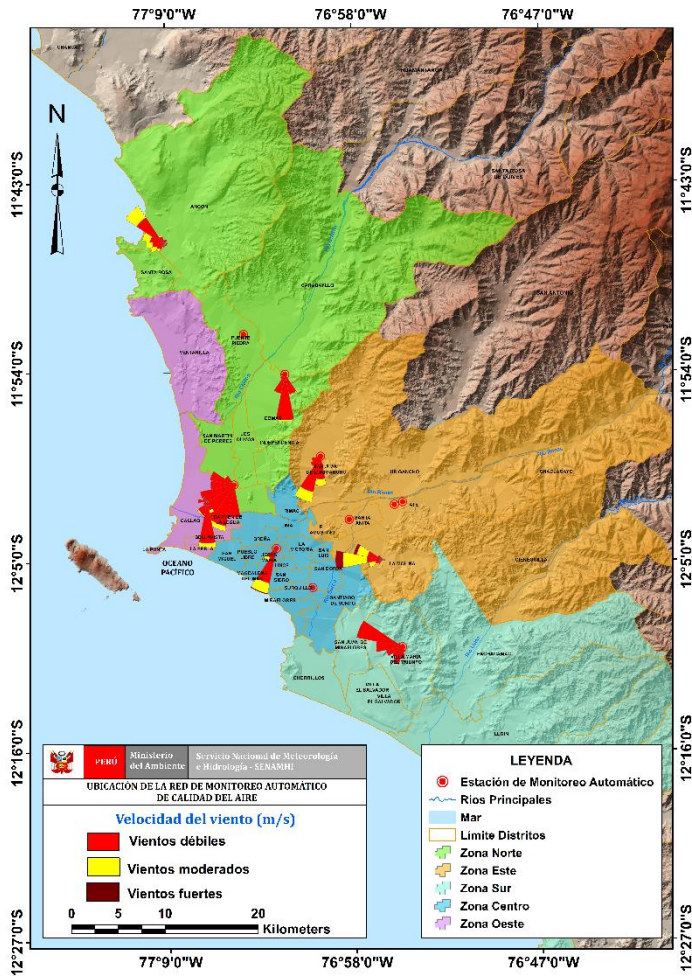


Figura N° 08. Rosas de viento para el horario vespertino en el AMLC.

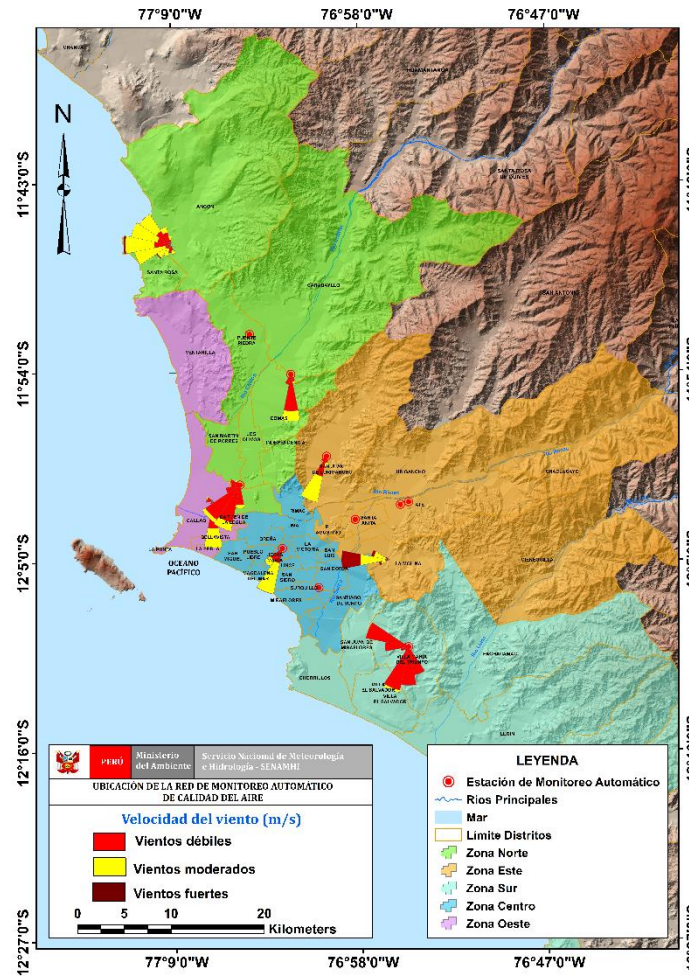
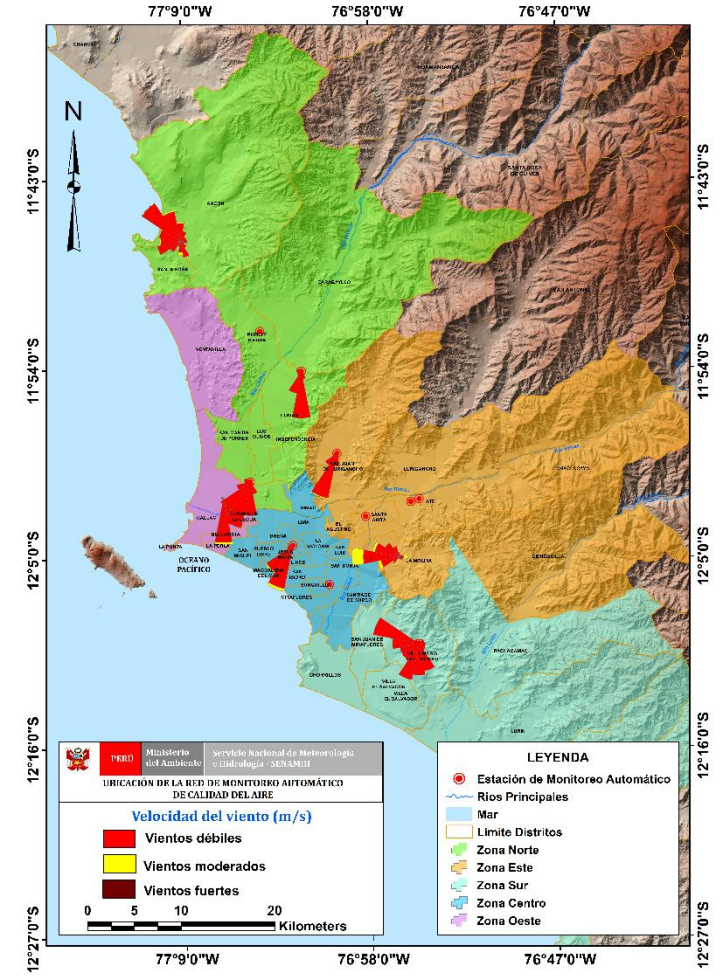


Figura N°09. Rosas de viento para el horario nocturno en el AMLC.



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)

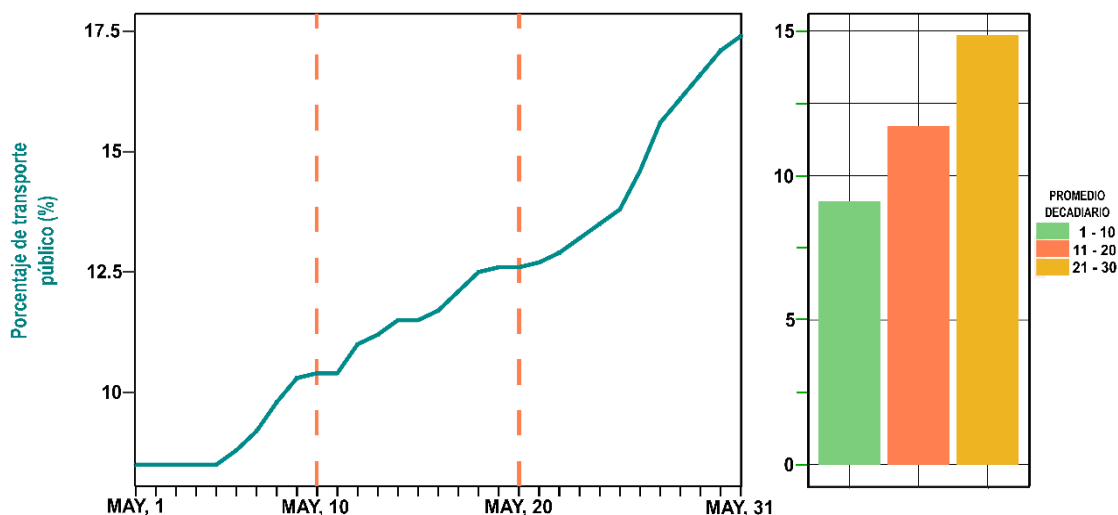
La Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente define al estándar de calidad ambiental (ECA) como **"la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua y suelo en su condición de cuerpo receptor, que 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 MAYO

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 menor porcentaje de actividad vehicular (alcanzando sus valores mínimos durante los primeros 5 días), pero fue incrementando en los últimos días. En la segunda decadiaria se presentó un incremento del porcentaje de actividad vehicular; mientras que en la tercera decadiaria se observó los mayores porcentajes de actividad vehicular durante el mes. 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 – MAYO

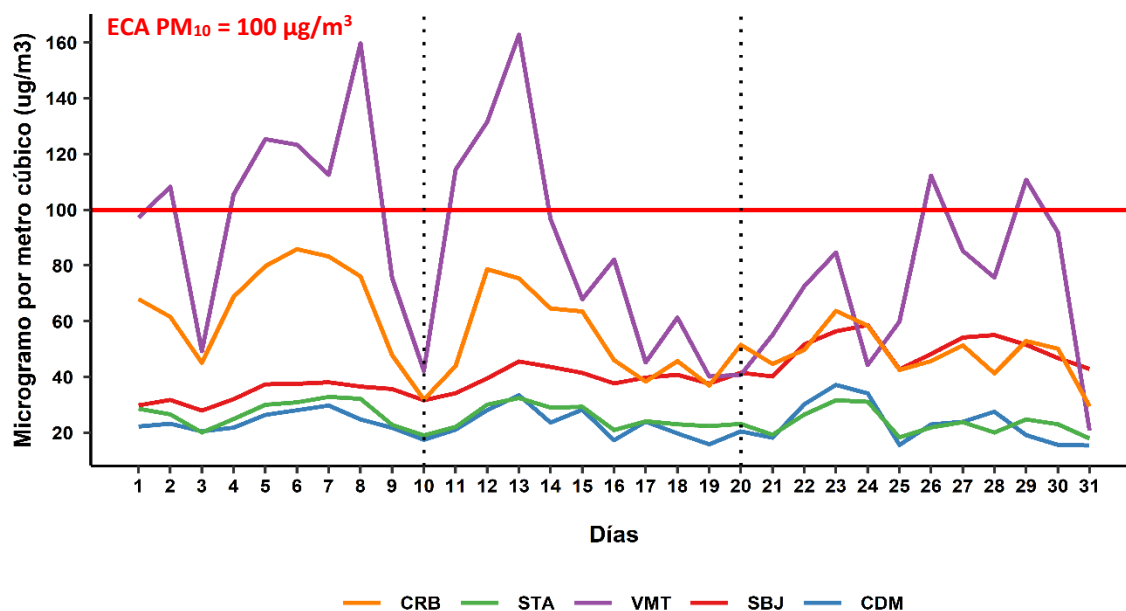
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria y/o horaria de las concentraciones del PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃ y CO. Los datos provinieron de las estaciones: Carabayllo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (S JL), 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 85.85 µg/m³ (miércoles 06) y la mínima fue de 29.45 µg/m³ (domingo 31).
- **Zona este:** En la estación Santa Anita (STA) la concentración máxima fue 32.82 µg/m³ (jueves 07) y la mínima fue de 17.91 µg/m³ (domingo 31).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo (VMT) la concentración máxima fue 162.79 µg/m³ (miércoles 13) y la mínima fue de 20.78 µg/m³ (domingo 31).
- **Zona centro:** En la estación Campo de Marte (CDM) la concentración máxima fue 37.18 µg/m³ (sábado 23) y la mínima fue de 15.43 µg/m³ (domingo 31), mientras que en la estación San Borja (SBJ) la concentración máxima fue 58.64 µg/m³ (domingo 24) y la mínima fue de 27.96 µg/m³ (domingo 03).

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



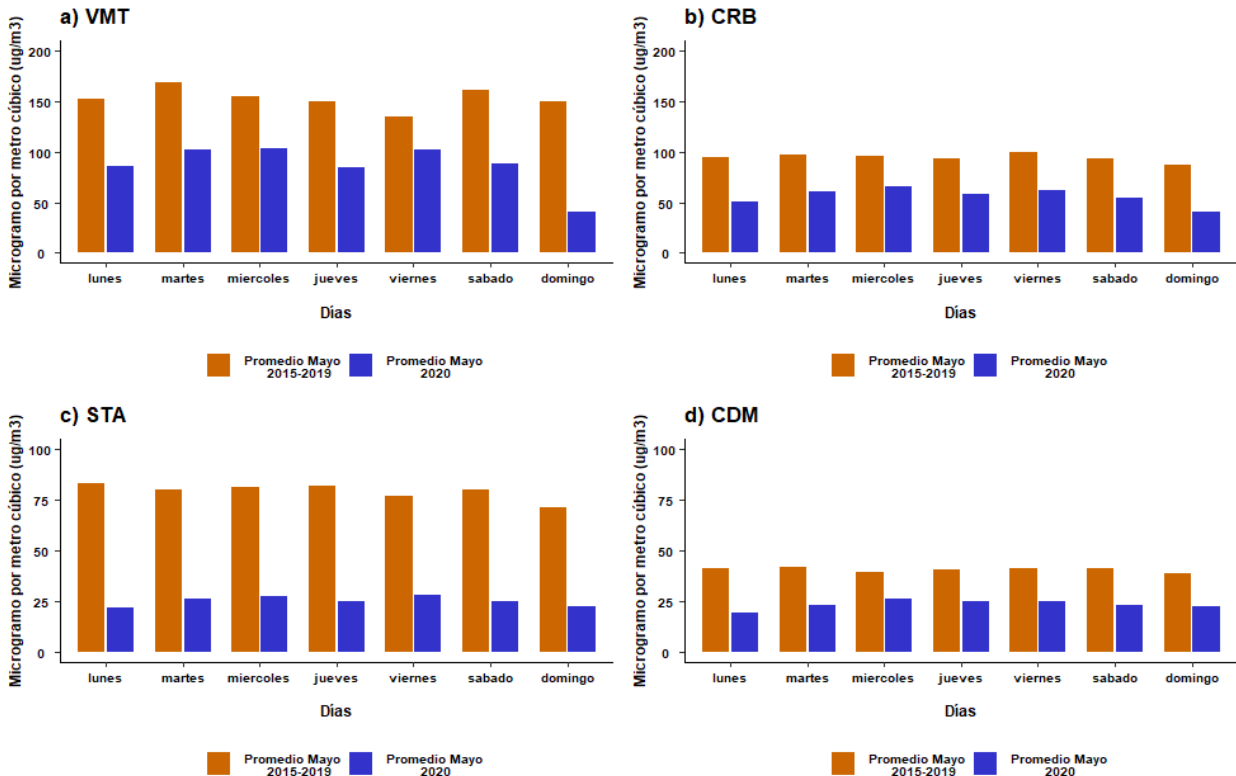
Asimismo, se observó un incremento en las concentraciones de PM₁₀ en la primera decadiaria, esto probablemente pudo estar relacionado a factores meteorológicos como el incremento de temperatura, disminución de la humedad relativa (mencionado en la sección 1.4), que permitieron la resuspensión de partículas gruesas. En la segunda decadiaria durante los primeros

días (11, 12 y 13) se observó un incremento de las concentraciones de PM₁₀, lo cual podría estar relacionado a las condiciones meteorológicas descritas en la primera decadiaria; sin embargo, en los últimos días se observó una disminución de las concentraciones de PM₁₀, lo que estaría asociado a las condiciones de otoño (bajas temperaturas del aire y una mayor humedad relativa; mencionado en la sección 1.4). Asimismo, en la tercera decadiaria se presentó en promedio una disminución de las concentraciones de PM₁₀, esto pudo estar relacionado a las condiciones de otoño, mencionada en la segunda decadiaria; sin embargo, la estación VMT presentó concentraciones altas los días 26, 27, 29 y 30, lo cual pudo estar influenciado por la disminución de la altura de la capa límite atmosférica e incremento de la velocidad del viento y de la temperatura del aire (mencionado en la sección 1.4), favoreciendo la resuspensión de partículas gruesas.

Las concentraciones más bajas fueron alcanzadas los días 03 (domingo), 10 (domingo), 16 (martes), 21 (jueves) y 31 (domingo), los cuales podría atribuirse a que los días domingos fueron de inmovilización social obligatoria durante todo el día, mientras que los días 16 y 21, estuvieron influenciados por un aumento de la altura de la capa límite atmosférica, lo que favoreció a una mayor dispersión de PM₁₀.

En la figura N° 13 se presenta la variación diaria en la semana de las concentraciones del PM₁₀ históricas (periodo 2015 - 2019) para mayo y el periodo de estado de emergencia (mayo 2020), donde se han observado disminuciones en promedio de entre 68% a 41%. La estación Villa María del Triunfo (VMT) (figura N° 13a) mostró una disminución general de 43%, la estación Carabayllo (CRB) (figura N° 13b) una disminución de 41%, la estación Santa Anita (STA) (figura N° 13c) una disminución de 68% y la estación Campo de Marte (CDM) (figura N° 13d) una disminución de 42%. En promedio se registró una reducción de 49% para las 4 estaciones.

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

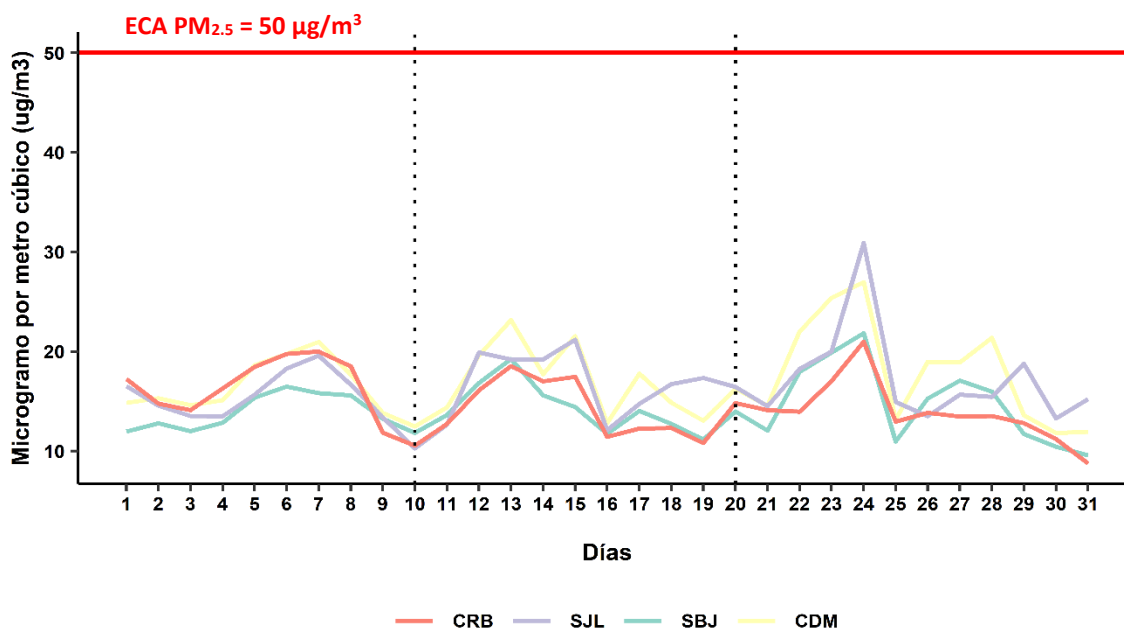


4.2. CONCENTRACIONES DIARIAS DEL PM_{2.5}

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 20.98 µg/m³ (domingo 24) y la mínima fue de 8.76 µg/m³ (domingo 31).
- **Zona este:** En la estación San Juan de Lurigancho (SJL) la concentración máxima fue 30.89 µg/m³ (domingo 24) y la mínima fue de 10.26 µg/m³ (domingo 10).
- **Zona centro:** En la estación Campo de Marte (CDM) la concentración máxima fue de 26.96 µg/m³ (domingo 24) y la mínima fue de 11.81 µg/m³ (sábado 30), mientras que en la estación San Borja (SBJ) la concentración máxima fue 21.85 µg/m³ (domingo 24) y la mínima fue de 9.56 µg/m³ (domingo 31).

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



En la primera decadiaria se observó una menor concentración del PM_{2.5} (principalmente los primeros días), lo cual pudo estar relacionado a la presencia de poca actividad vehicular (mencionado en la sección 3) y a las condiciones meteorológicas como baja humedad relativa (mencionado en la sección 1.4). En la segunda decadiaria, existió en promedio un ligero incremento de las concentraciones de PM_{2.5}, lo que pudo estar asociado a un aumento de la actividad vehicular (mencionado en la sección 3). Mientras que, en la tercera decadiaria se volvió a observar el incremento de las concentraciones de PM_{2.5}, debido al incremento de la actividad vehicular (mencionado en la sección 3), sin embargo, a partir del día 28 se registró un descenso del PM_{2.5}, lo que podría estar asociado a un incremento de la altura de la capa límite atmosférica y un incremento de la velocidad del viento (mencionado en la sección 1.4), favoreciendo a la dispersión de este contaminante.

Además de lo ya explicado, el día 24 (domingo) se registró un incremento anómalo de las concentraciones del PM_{2.5}, lo que podría haber sido influenciado por dos factores: 1) Condiciones meteorológicas: Se observó un aumento de la humedad relativa y disminución de la temperatura del aire (mencionado en la sección 1.4); lo que generó condiciones favorables para la formación de partículas finas (PM_{2.5}) mediante los procesos de conversión gas-partícula⁶ y 2) Fuentes

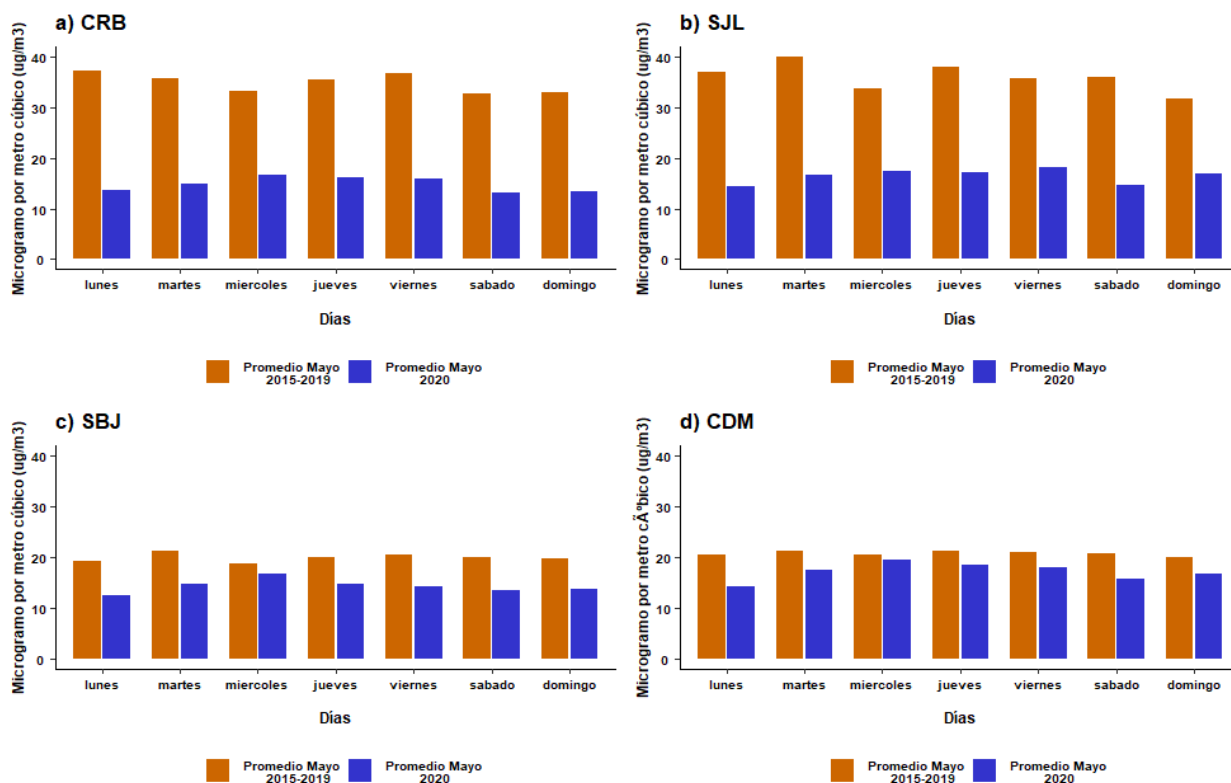
6. Artículo científico: Particulate matter levels in a south American megacity: The Metropolitan area of Lima-Callao, Peru. 2017.

naturales de $PM_{2.5}$: Se observó que a partir del día 22 (viernes) al día 24 (domingo) hubo un incremento de vientos costeros sobre Lima, lo que habría generado una inclusión de partículas (menor a 2.5 micras) de sales marinas sobre Lima Metropolitana, favoreciendo a un incremento de las concentraciones del contaminante $PM_{2.5}$.

Algo muy importante a resaltar es que en las estaciones CRB y SBJ, las concentraciones del $PM_{2.5}$ durante el mes de mayo estuvieron por debajo de los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud; sin embargo, la estación SJL superó un día (24 de mayo) y la estación CDM superó en dos días (23 y 24 de mayo).

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 mayo y el periodo de estado de emergencia (mayo 2020), donde se han observado disminuciones en promedio de entre 57% a 17%. La estación Carabayllo (CRB) (figura N° 15a) mostró una disminución general de 57%, la estación San Juan de Lurigancho (SJL) (figura N° 15b) una disminución de 54%, la estación San Borja (SBJ) (figura N° 15c) una disminución de 28% y la estación Campo de Marte (CDM) (figura N° 15d) una disminución de 17%. En promedio se registró una reducción de 39% para las 4 estaciones.

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

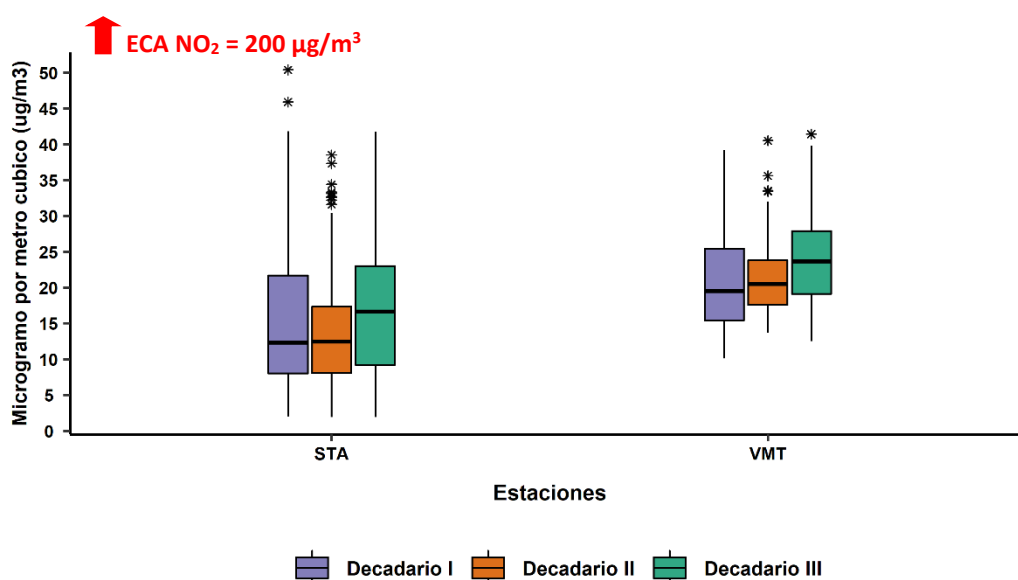


4.3. CONCENTRACIONES HORARIAS DEL NO₂

En la figura N° 16 se observa que las concentraciones horarias registradas en las estaciones 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 este:** En la estación Santa Anita (STA) la concentración máxima fue 50.4 µg/m³ (jueves 07 a las 10:00 horas), mientras que la mínima fue de 1.9 µg/m³ (viernes 01 a las 00:00 horas).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo (VMT) la concentración máxima fue 41.4 µg/m³ (martes 26 a las 16:00 horas), mientras que la mínima fue de 10.1 µg/m³ (domingo 03 a las 18:00 horas).

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



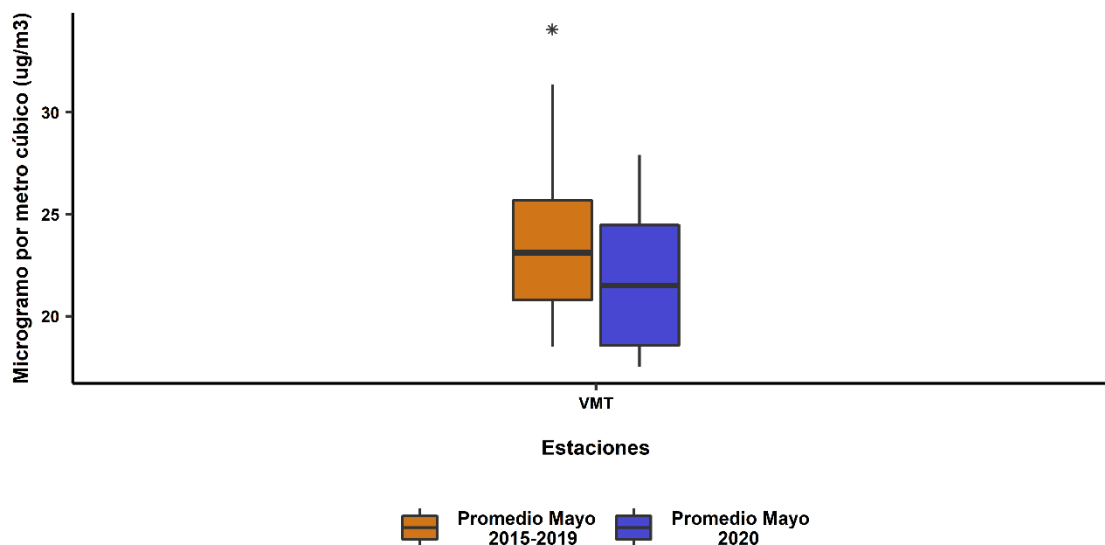
Durante el mes de mayo, las mayores concentraciones del NO₂ se registraron en los horarios de mayor actividad vehicular (horas pico), las cuales están comprendidas en las primeras horas del día (7:00 horas hasta las 12:00 horas) y entre las últimas horas de la tarde y primeras horas de la noche (desde las 16:00 y 19:00 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 segunda y tercera decadiaria del mes de mayo, estarían asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (89% de las emisiones de NO_x provienen de vehículos a diésel⁷; mencionado en la sección 3).

En la figura N° 17 se presentan las variaciones horarias de las concentraciones del NO₂ históricas (periodo 2015 al 2019) para mayo y el periodo de estado de emergencia (mayo 2020), donde se observó una disminución del 7% en la estación Villa María del Triunfo (VMT).

7. 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

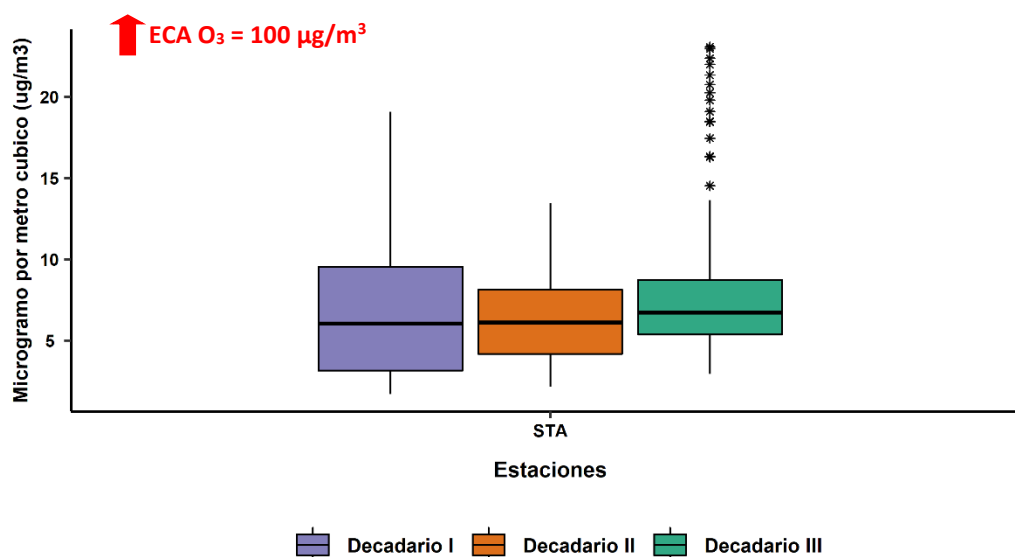


4.4. CONCENTRACIONES HORARIAS (PROMEDIO MÓVIL DE 8 HORAS) DEL O₃

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 23.06 µg/m³ (domingo 24 a las 18:00 horas) y la mínima fue 1.69 µg/m³ (jueves 07 a las 07:00 horas).

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



Durante el mes de mayo, las mayores concentraciones del O₃ en el AMLC se registraron en los horarios posteriores al periodo de máxima radiación solar⁸ (comprendido entre las 10:00 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 tercera decadiaria son ligeramente mayores a comparación de la primera y segunda decadiaria.

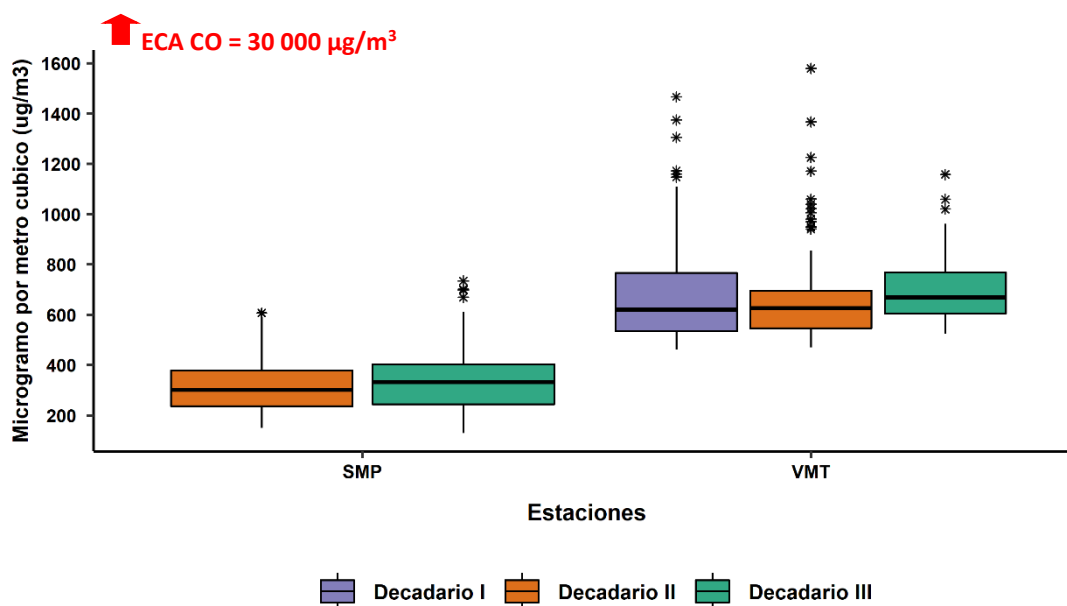
La formación de ozono en la tercera decadiaria se vio condicionada al incremento de la actividad vehicular (mencionado en la sección 3), lo que generó un aumento de las concentraciones de NO₂ (mencionado en la sección 4.3) y a un incremento de la temperatura (mencionado en la sección 1.4)

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 733.7 µg/m³ (jueves 28 a las 08:00 horas) y la mínima fue 128.9 µg/m³ (jueves 21 a las 04:00 horas).
- **Zona sur:** En la estación Villa María del Triunfo la concentración máxima horaria fue 1580.3 µg/m³ (miércoles 13 a las 06:00 horas) y la mínima fue 460.8 µg/m³ (domingo 10 a las 23:00 horas).

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



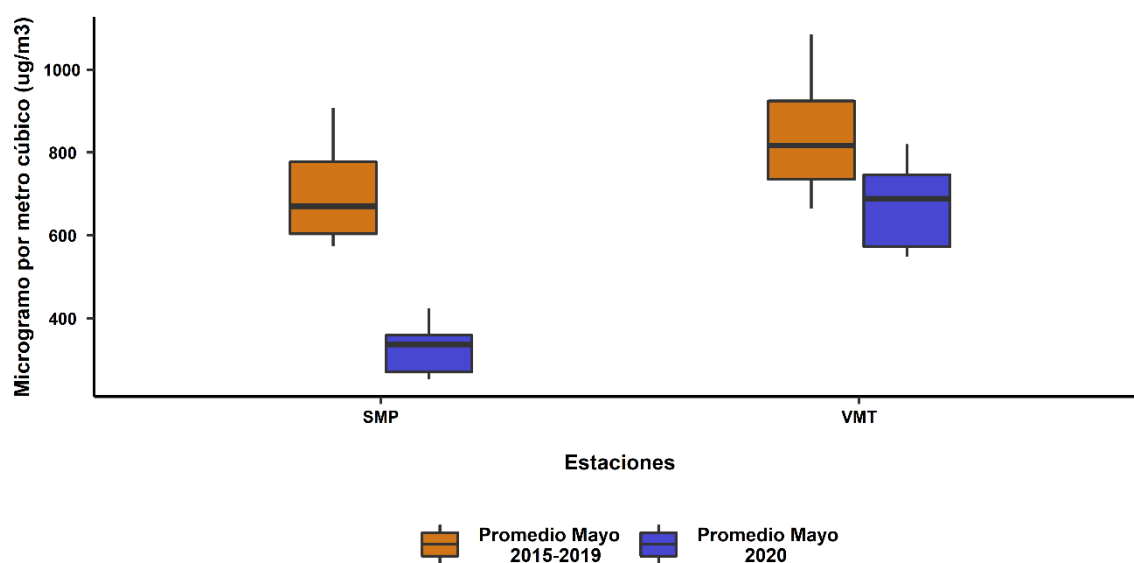
Durante el mes de mayo, las mayores concentraciones del CO se registraron en la primera hora pico del AMLC (06:00 horas hasta las 10:00 horas). Asimismo, las concentraciones horarias registradas en la primera decadiaria en la estación Villa María del Triunfo (VMT) son ligeramente menores en comparación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

8. Documento: Boletín Mensual de la Vigilancia de la Radiación UV en ciudades del Perú – mayo 2020.
9. Artículo científico: Ozone and volatile organic compound in the Metropolitan area of Lima-Callao, Peru. 2018.

El incremento de las concentraciones del CO registradas durante la segunda y tercera decadiaria del mes de mayo, estarían asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (87% de las emisiones de CO provienen de los vehículos a gasolina/gasohol¹⁰; 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 mayo y el periodo de estado de emergencia (mayo 2020), donde se observó que la estación San Martín de Porres (SMP) mostró una disminución de 52% y la estación Villa María del Triunfo (VMT) una disminución de 19%. En promedio se registró una reducción de 36% para las 2 estaciones.

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

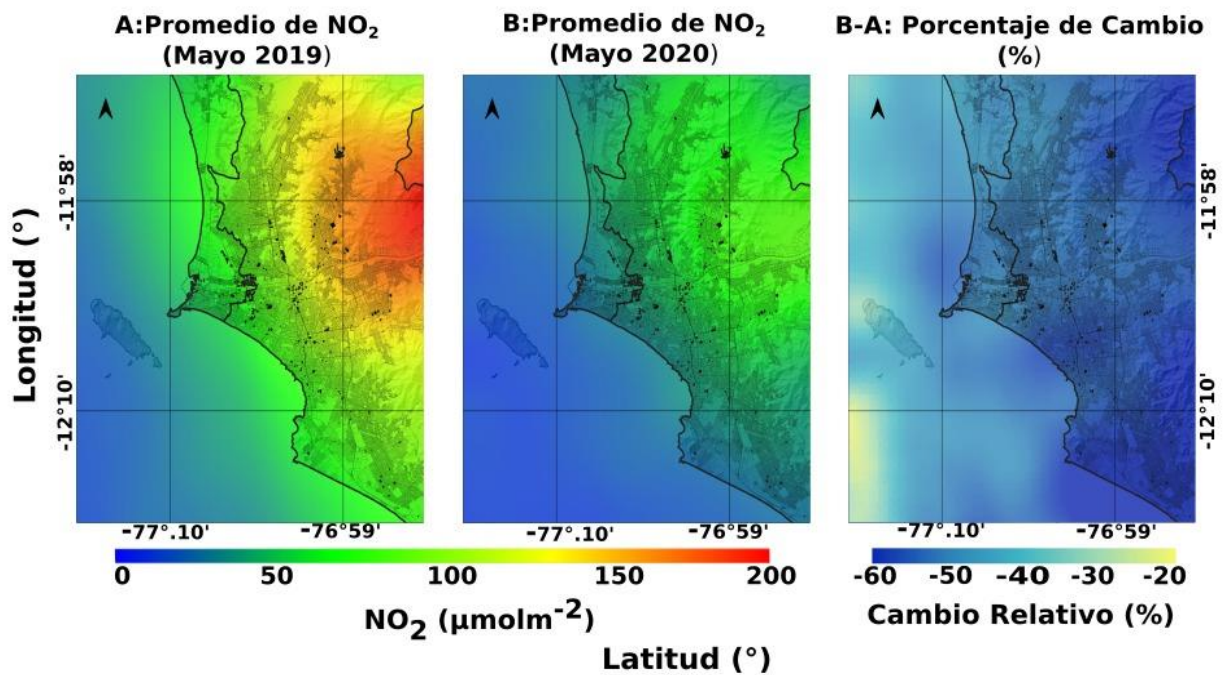


10. Documento: Informe N° 00283-2019-MINAM/VMGA/DGCA/DCAE – “Diagnóstico de la Gestión de la Calidad del Aire de Lima y

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

La figura N° 21, muestra la distribución espacial de la columna del NO₂ (μmol/cm²) en la tropósfera, obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 7 km × 3.5 km. Es así que, la figura N°21a, muestra la distribución promedio de NO₂ para el mes de mayo del año 2019, la figura N°21b, muestra la distribución espacial del NO₂ para el mes de mayo del año 2020 (durante el estado de emergencia) y la figura N°21c, muestra el porcentaje de cambio del NO₂ de mayo 2020 con respecto a mayo del 2019.

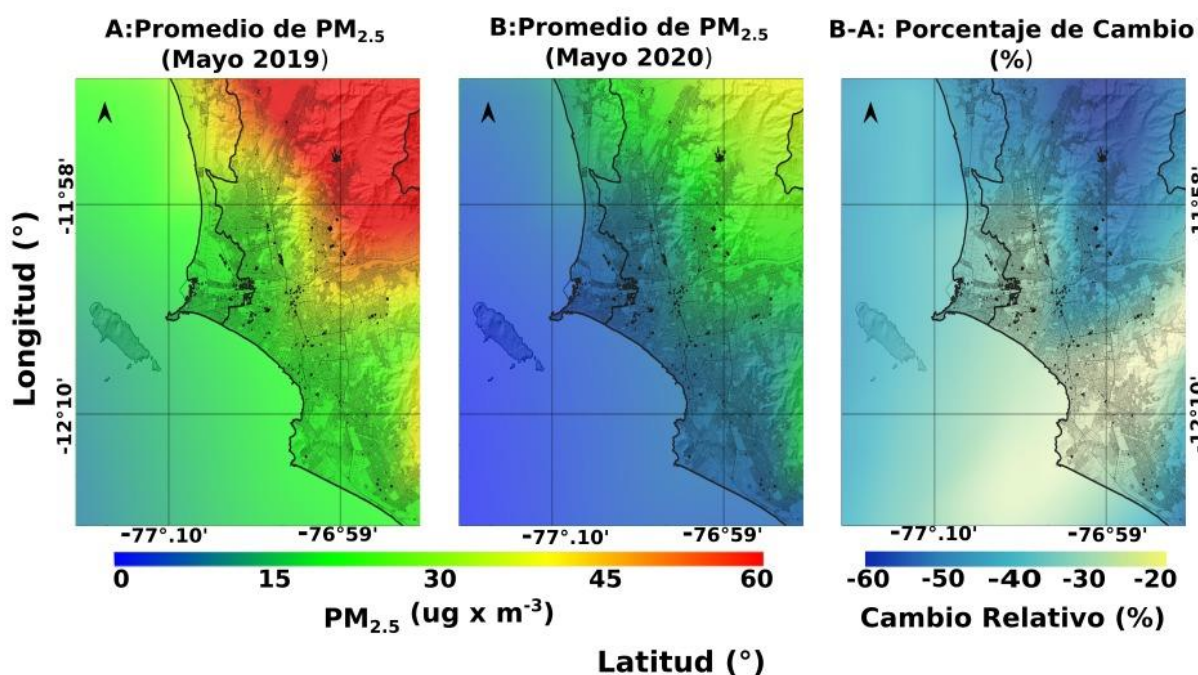
Figura N° 21. Distribución espacial de la columna del NO₂ (μmol/cm²) en la tropósfera sobre el AMLC.



La mayor cantidad de NO₂ en la columna de la tropósfera se registró durante mayo del 2019 (figura N°21a), con una disminución significativa en mayo del 2020 (figura N°21b), alcanzando una reducción de hasta de 60% (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 mayo 2020. Cabe precisar que las mayores cantidades de este contaminante son trasladadas por lo vientos para las zonas norte y este del AMLC.

La figura 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 mayo del año 2019, la figura N°22b, muestra la distribución espacial del $PM_{2.5}$ para el mes de mayo del año 2020 (durante el estado de emergencia) y la figura N°22c, muestra el porcentaje de cambio del $PM_{2.5}$ de mayo 2020 con respecto a mayo 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 mayo del 2019 (figura N°22a), con una disminución significativa en mayo 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 39%.

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

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/airnow_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 Campo de Marte (CDM) y Santa Anita (STA) se encontraron dentro del estado de la calidad del aire “bueno” durante todo el mes de mayo. Asimismo, la estación Villa María del Triunfo (VMT) mostró 7 días con estado “bueno”, 22 días con estado “moderado” y 2 días con estado “insalubre para grupos sensibles”, la estación Carabayllo (CRB) mostró 18 días con estado “bueno” y 13 días con estado “moderado”, mientras que la estación San Borja (SBJ) mostró 27 días con estado “bueno” y 4 días con estado “moderado”.

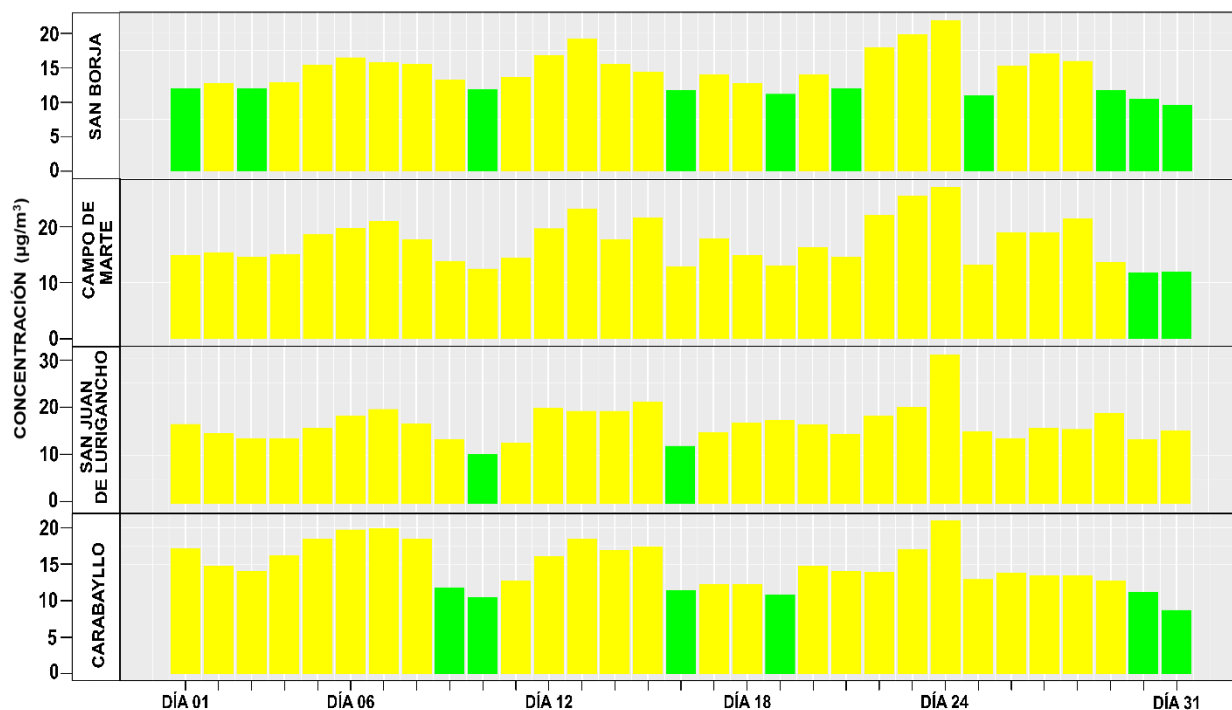
Figura N° 23. Estados de la Calidad del Aire para PM₁₀ – MAYO



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 6 días con estado de la calidad del aire “bueno” y 25 días con “moderado”, San Juan de Lurigancho (SJL) 2 días “bueno” y 29 días “moderado”, Campo de Marte (CDM) 2 días “bueno” y 29 días “moderado”, mientras que la estación San Borja (SBJ) mostró 10 días con estado “bueno” y 21 días con estado “moderado”.

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



Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)		Estado	Índice de Calidad del Aire - EPA	
0	12	Buena	0	50
12.1	35.4	Moderada	51	100
35.5	55.4	Insalubre para grupos sensibles	101	150
55.5	150.4	Insalubre	151	200

7. CONCLUSIONES

- Las condiciones meteorológicas influyeron en el comportamiento diario y horario de los contaminantes del aire en el AMLC durante el mes de mayo. La baja humedad relativa y las altas temperaturas en la primera decadiaria, favorecieron al incremento de PM_{10} y a la disminución de $PM_{2.5}$. En la segunda y tercera decadiaria un descenso de la temperatura y un incremento de la humedad relativa generaron las condiciones para una disminución de PM_{10} .
- Las concentraciones diarias del PM_{10} mostraron una disminución gradual desde la primera decadiaria en las estaciones de CRB, STA, VMT y CDM, 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 tercera decadiaria; sin embargo no superaron sus respectivos ECA-aire.
- Las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones CRB y SBJ 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 CDM las concentraciones superaron estos lineamientos los días 23 y 24 y en la estación SJL solo superó el día 24 del mes de mayo.
- 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 mayo 2020, posiblemente relacionado al estado de emergencia.
- El O_3 no superó su respectivo ECA-aire. Asimismo, las concentraciones más altas se registraron en la tercera decadiaria.
- Las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registradas durante el estado de emergencia disminuyeron en un 49% y 39% respectivamente, con respecto a sus concentraciones históricas (del 2015 al 2019) para el mes de mayo. Una comparación para estos mismos periodos de las concentraciones de NO_2 y CO mostraron una disminución del 7% y 36% respectivamente.
- Los datos mostrados por el Satélite SENTINEL-5P y el modelo (CAM5), indicaron disminuciones en la columna de dióxido de nitrógeno (NO_2) entre un 30% y 60% y del material particulado menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) entre un 20% y 60% respectivamente sobre el AMLC, en comparación al mes de mayo 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 CDM y STA durante todos los días del mes de mayo, mientras que las estaciones VMT, SBJ y CRB presentó algunos días con estado "moderado". Asimismo, el contaminante $PM_{2.5}$ presentó mayores días con estado de calidad del aire "moderado" en todas las estaciones.

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

De acuerdo al pronóstico climático¹¹, 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 junio.

11. 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

Apoyo

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