

BOLETÍN **VIGILANCIA DE** **CALIDAD DEL AIRE**

Área metropolitana de Lima y Callao

Junio 2025



VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – JUNIO 2025

PRESENTACIÓN

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) presenta el boletín mensual sobre la vigilancia de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC), donde los tomadores de decisión y público en general podrán encontrar información sobre los principales contaminantes atmosféricos a los 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). Asimismo, se realizó un análisis sinóptico y oceánico a partir de la documentación técnica del SENAMHI para el mes de junio^{1,2} y las salidas resultantes de la aplicación del modelo Weather Research and Forecasting (WRF)³ para el ámbito del AMLC, el cual tiene una resolución espacial de 1 km y temporal de 1 hora. Por otro lado, se realizó un análisis del comportamiento del tránsito vehicular en el AMLC a partir de la información extraída de Google Traffic⁴. Con respecto a la información de contaminantes atmosféricos, se usaron los datos de la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) de SENAMHI e información del satélite Sentinel 5P⁵.

*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 Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – junio 2025. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-124.pdf>

² Boletín climatológico de Lima – junio 2025. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02232SENA-132.pdf>

³ Sistema de predicción meteorológica a mesoescala de última generación diseñado tanto para la investigación atmosférica como para aplicaciones de predicción operativa (Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory - NCAR, s.f.).

⁴ Visor web de la empresa Google que muestran en tiempo real y a nivel histórico el estado del tránsito vehicular en las calles del AMLC.

⁵ Satélite de la misión Copernicus de la Agencia Espacial Europea que realiza mediciones atmosféricas con alta resolución espacio-temporal (The European Space Agency, s.f.).

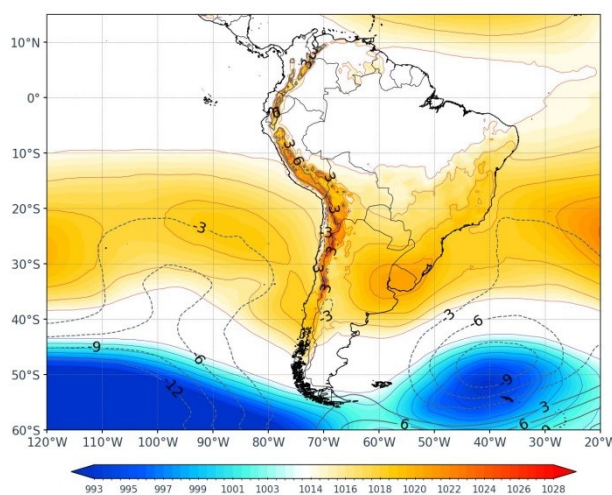
1. ANÁLISIS SINÓPTICO Y OCEÁNICO

Para un mejor entendimiento de las condiciones sinópticas a niveles bajos y oceánicos en el AMLC, se realizó un análisis por decadiarias (cada diez días), obteniéndose tres periodos de análisis. Es así como, para el mes de junio se conformó la decadiaria 1 (del 1 al 10), decadiaria 2 (del 11 al 20) y decadiaria 3 (del 21 al 30).

1.1. PRIMERA DECADIARIA (1 al 10 de junio)

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una configuración zonal con núcleo en los 25°S y 87°W, con valores de presión por encima de los 1020 hPa, más débil respecto a lo climático y desplazado hacia el noroeste.^{6,1} (Figura N°01a). A nivel de superficie, los vientos incidentes sobre la costa del AMLC presentaron una dirección predominante del sur con velocidades entre 0 y 4 m/s. Por otro lado, las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) frente a las costas del AMLC estuvieron cercanas a los 0.5°C, lo cual repercutió en las anomalías de temperaturas máximas y mínimas del aire, encontrándose la máxima en -0.9°C por debajo de lo normal, mientras que la mínima, -0.8°C².

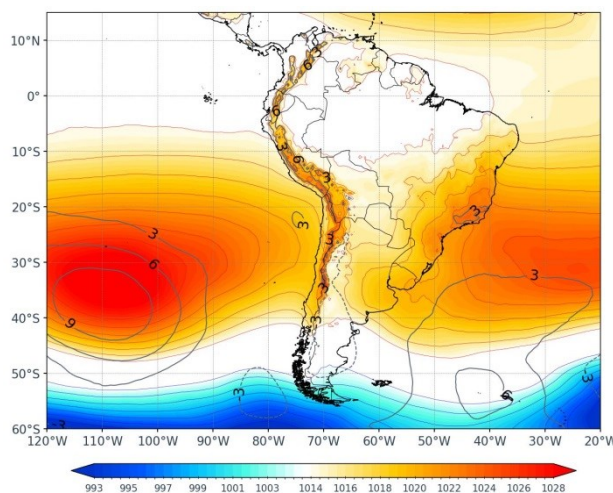
Figura N°01a. Variación del APS en la decadiaria 1.



1.2. SEGUNDA DECADIARIA (11 al 20 de junio)

En superficie, el APS presentó una configuración cuasi meridional con un núcleo en los 35°S y 108°W, con valores de presión cercanos a los 1026 hPa, más intenso respecto al climático y desplazado hacia el suroeste.^{6,1} (Figura N° 01b). A nivel de superficie, los vientos incidentes sobre la costa del AMLC presentaron una dirección predominante del sur y velocidades entre 3 y 6 m/s. Por otro lado, las ATSM⁷ frente a las costas del AMLC se encontraron alrededor de los 1.6°C, con una ligera tendencia a aumentar, lo cual repercutió en las anomalías de temperaturas máximas y mínimas del aire, ubicándolas en 0.4°C y 0.6°C².

Figura N°01b. Variación del APS en la decadiaria 2.



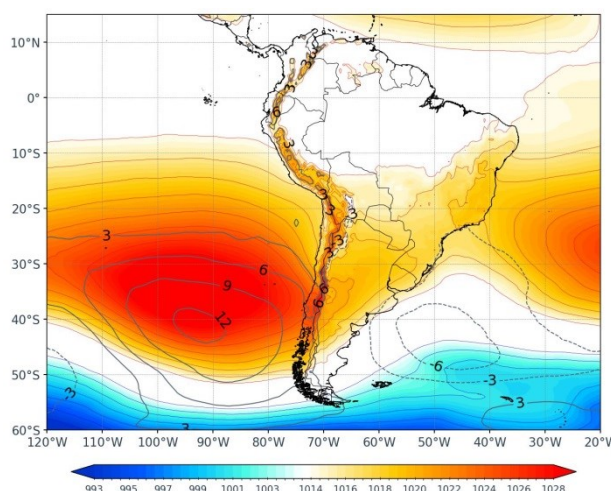
⁶ ¿Cómo responderán los anticiclones subtropicales del hemisferio sur al calentamiento global? Mecanismos y estacionalidad en las proyecciones de los modelos CMIP5 y CMIP6 (Pág. 704). Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05290-7>

⁷ Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas en el litoral peruano. Obtenido de: http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=1017803020000000000000

1.3. TERCERA DECADIARIA (21 al 30 de junio)

En superficie, el APS presentó una configuración mayormente meridional y núcleo en los 35°S y 95°W con valores por encima de los 1026 hPa, más intenso respecto al climático y desplazado hacia el sureste.^{6,1} (Figura N° 01c). Asimismo, se presentaron vientos con una dirección predominante del sur, con velocidades entre 1 y 6 m/s. Por otro lado, las ATSM frente a las costas de AMLC estuvieron cerca de 1.4°C, con una ligera tendencia a disminuir, lo que favoreció el aumento de anomalías de temperaturas máximas del aire a 0.3°C y una disminución en las mínimas de -0.1°C².

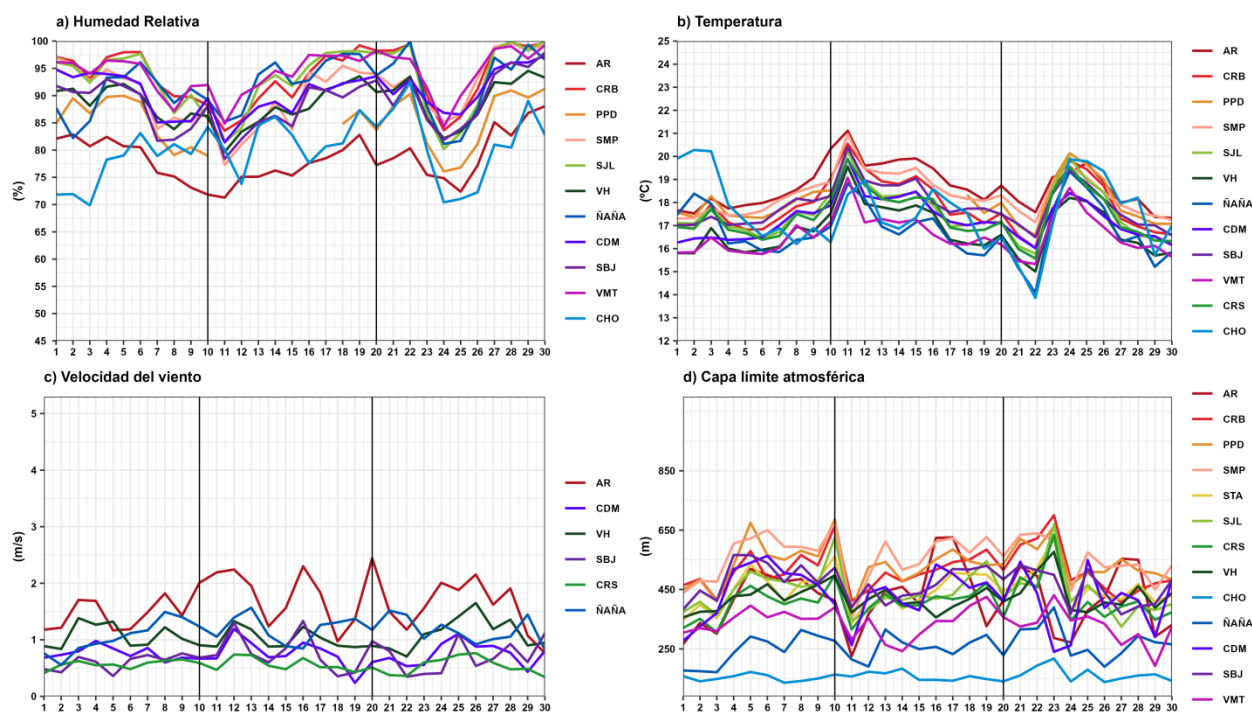
Figura N°01c. Variación del APS en la decadiaria 3.



2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS LOCALES EN EL AMLC

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, la temperatura a 2 metros de la superficie y la velocidad del viento a 10 metros de la superficie. Los datos provinieron de las estaciones: Antonio Raimondi (AR), Carabayllo (CRB), Puente Piedra (PPD), San Martín de Porres (SMP), Santa Anita (STA), San Juan de Lurigancho (SJM), Ceres (CRS), Alexander Von Humboldt (VH), Ñaña (ÑAÑA), Chosica (CHO), Villa María del Triunfo (VMT) y Campo de Marte (CDM). Adicionalmente, se representó la variabilidad diaria de la Capa Límite Atmosférica (CLA)⁸ para lo cual se usó las salidas del modelo operativo WRF con resolución espacial de 1 km y temporal de 1 h.

Figura N°02. Variación diaria de las variables meteorológicas en el AMLC dividido en 3 decadiarias



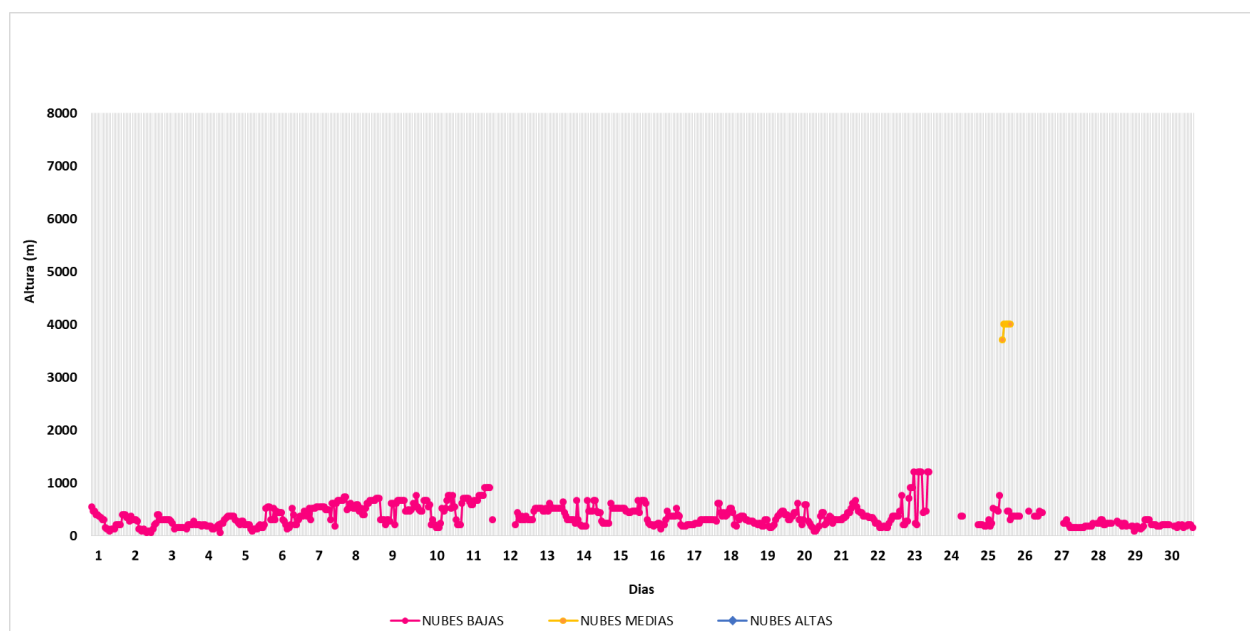
⁸ CLA: parte de la tropósfera influenciada directamente por la superficie terrestre, donde se concentra la mayor cantidad de sustancias contaminantes.

Con respecto a la humedad relativa (Figura N° 02a), durante la primera decadiaria se presentaron valores entre 69.9% a 98.0%, para la segunda decadiaria entre 71.3% a 99.2% y para la tercera decadiaria entre 70.4% a 100%, siendo las estaciones VMT y CRB aquellas que mantuvieron los promedios de humedad más altos, de 94.2% y 93.7%, respectivamente. En relación con la temperatura (Figura N° 02b) durante la primera decadiaria se presentó valores entre 15.8°C a 20.3°C, para la segunda decadiaria entre 15.7°C a 21.1°C, y en la tercera decadiaria entre 13.9°C a 20.1°C, siendo la estación de AR la que alcanzó el valor promedio más alto de temperatura de 18.7 °C. En cuanto a la velocidad del viento (Figura N° 02c), los valores oscilaron entre 0.2 a 2.4 m/s durante todo el mes, siendo la estación AR la que alcanzó el valor promedio más alto, con una media mensual de 1.6 m/s. En el caso de la altura de la CLA (Figura N° 02d), las estaciones SMP, PPD y CRB alcanzaron los valores promedio más altos, con una altura promedio de 556.8, 536.2, 514.2 m, respectivamente, mientras que en las estaciones ÑAÑA y CHO se presentaron los valores promedio más bajos, con 257.6 y 157.9 m, respectivamente.

2.1. ALTURA DE LA BASE DE LA NUBE

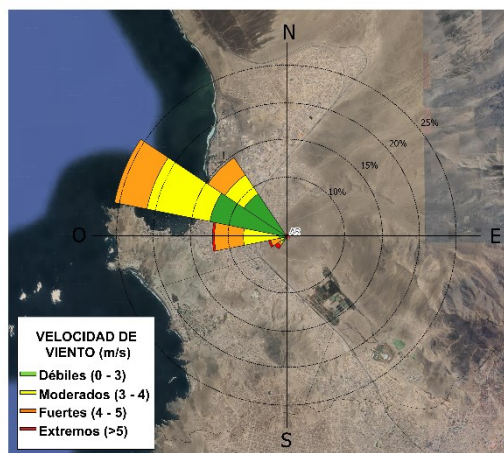
De acuerdo con el registro horario de la Altura de la Base de la Nube (ABN) obtenido por el ceilómetro de la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (Figura N° 03), durante el mes de junio se observó que las nubes bajas (ABN menor a 2000 m) se presentaron en el 89% de las horas. Las nubes medias (ABN entre 2000 m y 6000 m), se registraron en el 0.8% de los casos. En cuanto al cielo despejado, este se presentó en el 10.6% de las mediciones realizadas. En general, durante el mes de junio disminuyeron las condiciones de cielo despejado, situación característica de finales de otoño e inicios de invierno.

Figura N°03. Altura de la base de la nube registrada en la estación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH).



2.2. ANALISIS DEL VIENTO EN SUPERFICIE POR HORARIOS

Figura N°04. Rosa de vientos.



La rosa de vientos está definida como un gráfico circular que tiene marcado alrededor los rumbos de los vientos con las direcciones cardinales. Respecto a los vientos, se grafican las direcciones de donde provienen, así como también la frecuencia y magnitud de la velocidad⁹.

A manera de ejemplo se muestra en la Figura N° 04 una rosa de vientos para la estación Antonio Raimondi, la cual presenta una dirección predominante (con una frecuencia de vientos del 25%) del noroeste (NO) y una intensidad de extrema (>5m/s).

En la Figura N° 05 se muestra el comportamiento de la dirección y velocidad del viento en cada una de las EMA para los horarios diurnos (07:00 - 12:59 horas), vespertinos (13:00 -18:59 horas) y nocturnos (19:00 - 06:59 horas) con sus respectivas categorías de la intensidad del viento; débiles (0 – 3 m/s), moderados (3 – 4 m/s), fuertes (4 – 5 m/s) y extremos (>5m/s).

Cabe resaltar que las rosas de viento de las estaciones CHO, CRB, PPD, SMP, SJL, STA y VMT, fueron construidas a partir de datos del modelo WRF, el cual tiene una resolución espacial de 1 km y temporal de 1 hora.

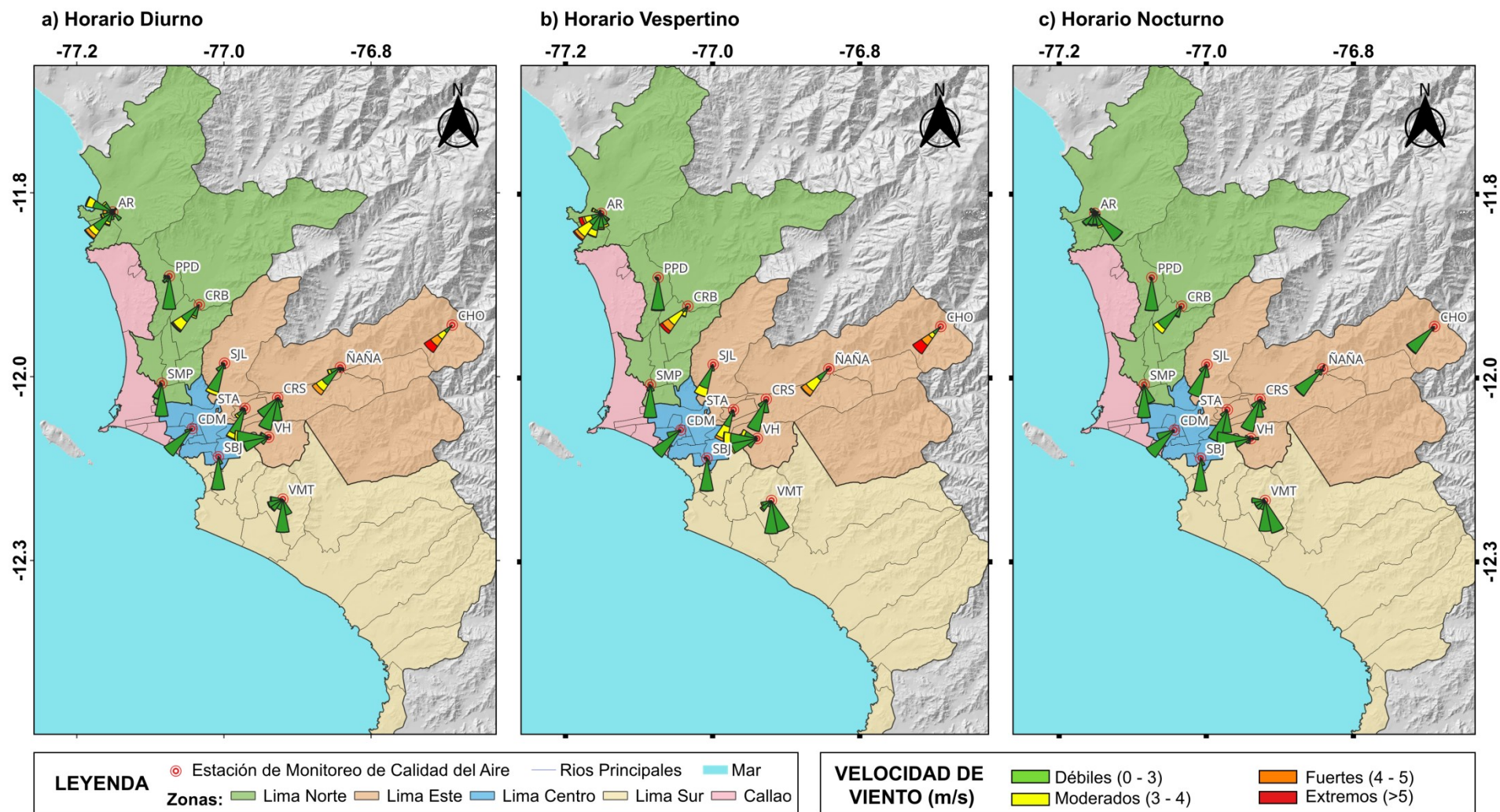
Durante el horario diurno (Figura N° 05a), en las estaciones AR, CHO y CRB registraron vientos de intensidad extrema, mientras que las estaciones ÑAÑA y CDM alcanzaron vientos fuertes y débiles, respectivamente, con dirección predominante del suroeste (SO) para las cinco estaciones. Las estaciones PPD, SMP, SBJ y VMT se registraron vientos débiles con dirección predominante del sur (S). En las estaciones STA y SJL se alcanzaron vientos fuertes, mientras que en la estación CRS, vientos débiles, con dirección predominante del sur suroeste (SSO) para las tres estaciones. En la estación VH se alcanzó vientos moderados con dirección predominante del oeste (O).

Durante el horario vespertino (Figura N°05b), en las estaciones AR, CRB, CHO y ÑAÑA se observaron vientos de intensidad extrema, mientras que en la estación CDM, vientos débiles, siendo la dirección predominante del suroeste (SO) para las cinco estaciones. Las estaciones SJL y STA presentaron vientos de intensidad fuerte, mientras que en CRS se observaron vientos débiles, con dirección predominante del sur suroeste (SSO) para las tres estaciones. En las estaciones PPD y SBJ se presentaron vientos moderados, mientras que SMP y VMT, vientos débiles, con dirección predominante del sur (S) para las cuatro estaciones. En la estación VH se registraron vientos fuertes con dirección predominante del oeste (O).

Durante el horario nocturno (Figura N°05c), en las estaciones CRB, CHO y ÑAÑA se observaron vientos de intensidad moderada, mientras que en la estación CDM, vientos débiles, con dirección predominante del suroeste (SO) para las cuatro estaciones. En las estaciones de SJL y CRS se registraron vientos débiles, mientras que en la estación STA, vientos moderados, con dirección predominante del sur suroeste (SSO). En las estaciones SMP y SBJ, se alcanzaron vientos débiles, mientras que en PPD, vientos moderados, con dirección predominante del sur (S) para las 3 estaciones. La estación AR alcanzó vientos moderados, con dirección predominante del sureste (SE). En las estaciones de VH y VMT se alcanzaron vientos débiles, con dirección predominante del oeste (O) y sur sureste (SSE), respectivamente.

⁹ Como leer una rosa de vientos. Obtenido de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-01/documents/how_to_read_a_wind_rose.pdf

Figura N°05. Rosas de viento para diferentes horarios en el AMLC.



La Figura N° 05 muestra el comportamiento de la dirección y velocidad del viento en cada una de las EMA para los horarios diurnos (07:00 - 12:59 horas), vespertinos (13:00 - 18:59 horas) y nocturnos (19:00 - 06:59 horas).

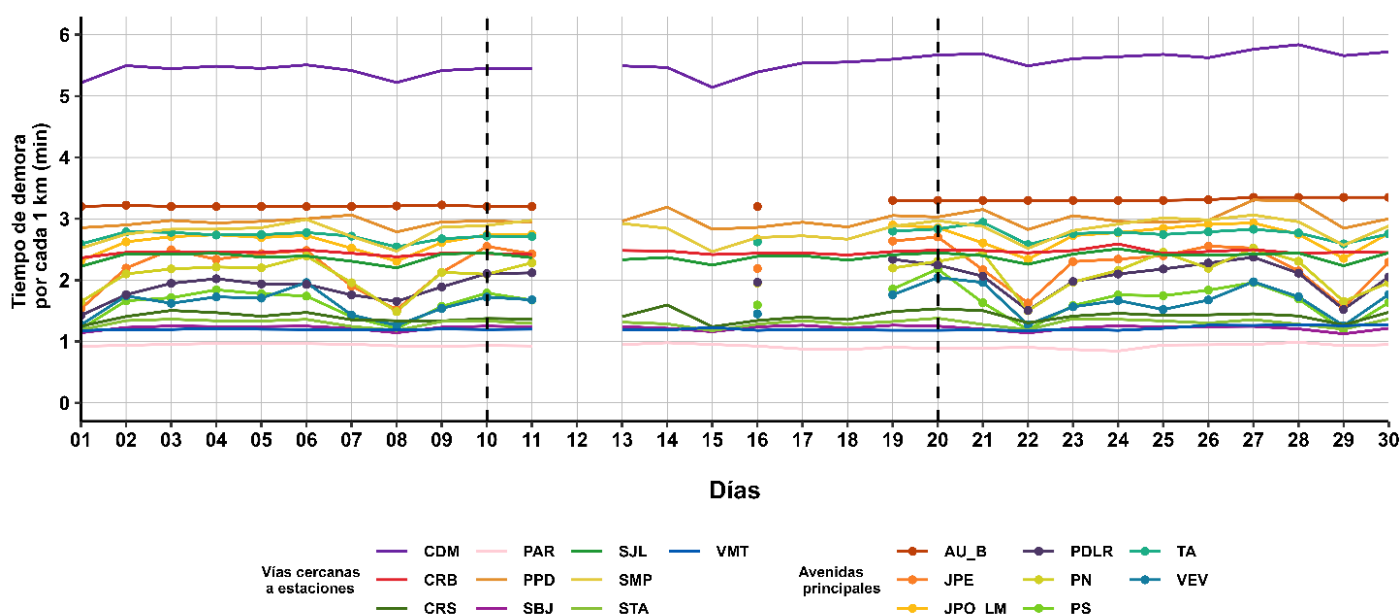
3. ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL AMLC

La actividad vehicular tiene una contribución de más del 50% sobre la contaminación del aire en el AMLC¹⁰, asimismo, según el ranking del año 2024 de la compañía TOMTOM, en el AMLC el tiempo empleado para recorrer un tramo de 10 km es de 28 minutos¹¹. Se ha demostrado a través de investigaciones que, al aumentar el tiempo empleado para recorrer un tramo (mayor congestión vehicular), se espera un incremento en las concentraciones de los contaminantes atmosféricos^{12,13}. En relación con lo indicado, se ha desarrollado un algoritmo en Python que utiliza la técnica de web scraping¹⁴ para extraer datos sobre el tiempo de recorrido en tramos de 10 km de las principales avenidas¹⁵ del AMLC.

En la Figura N°06 se muestran los tiempos de demora por cada 1 km recorrido tanto en las avenidas principales del AMLC como en las vías cercanas a las estaciones de monitoreo. Se aprecia que los mayores tiempos de demora respecto a las avenidas principales, se registraron en la Av. Alfonso Ugarte – Av. Brasil (AU_B), alcanzando un valor promedio diario máximo de 3.4 minutos durante la tercera decadiaria (del viernes 27 al lunes 30 de junio). Mientras que, respecto a las vías cercanas a las estaciones, se presentaron los mayores tiempos de demora en los alrededores de la estación CDM, ubicada en la zona centro, alcanzando un promedio máximo diario de 5.8 minutos.

En la Figura N° 07a y Figura N° 07b se puede apreciar que, durante mes de junio, en los alrededores de las estaciones, y en la Av. Alfonso Ugarte – Av. Brasil, los tiempos de demora se mantuvieron relativamente estables, sin embargo, en el resto de avenidas analizadas, se observó un notable incremento para el día lunes, y una reducción durante el fin de semana, especialmente el domingo, lo que refleja un cambio en la carga vehicular durante los días laborables y los días de descanso. Por otro lado, en su mayoría se presentaron dos picos en los tiempos de demora: entre las 7:00 a 9:00 horas y entre las 17:00 a 19:00 horas.

Figura N°06. Variación diaria del tiempo de demora por cada 1 km recorrido en el ámbito del AMLC



Avenidas principales consideradas: Alfonso Ugarte – Brasil (AU_B), Javier Prado Este (JPE), Javier Prado Oeste – La Marina (JPO-LM), Paseo de la República (PDLR), Panamericana Norte (PN), Panamericana Sur (PS), Tupac Amaru (TA) y Vía de Evitamiento (VEV)

¹⁰ Estudio: Diagnóstico de la Gestión de la Calidad Ambiental del Aire de Lima y Callao (Pág. 56). Obtenido de:

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>

¹¹ Ranking 2024 "TOMTOM TRAFFIC INDEX". Obtenido de: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>

¹² La congestión aumenta significativamente las emisiones en muchas áreas localizadas dentro del dominio de estudio, lo que revela un claro potencial para reducciones significativas de emisiones al dirigir los esfuerzos de mitigación en puntos críticos clave. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243514/>

¹³ Sjödin et al. (1998) mostraron aumentos de hasta 4, 3 y 2 veces en las emisiones de CO, HC y NOx, respectivamente, en condiciones de congestión (velocidad promedio de 13 millas por hora, mph; 1 mph = 1,61 km por hora) en comparación con condiciones no congestionadas. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243514/>

¹⁴ El web scraping es la práctica de recopilar datos de Internet de forma automatizada, mediante la escritura de programas que consultan servidores web y extraen información. Mitchell (2015). *Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web*. O'Reilly.

¹⁵ Estudio: Extracción y Minería de Datos de Tráfico en Google Maps. Obtenido de: https://www.irimets.com/uploadedfiles/paper/volume3/issue_4_april_2021/8350/1628083343.pdf

Figura N°07a. Variación del tiempo de demora por cada 1 km recorrido en vías cercanas a estaciones de monitoreo de la REMCA según horario y día de semana

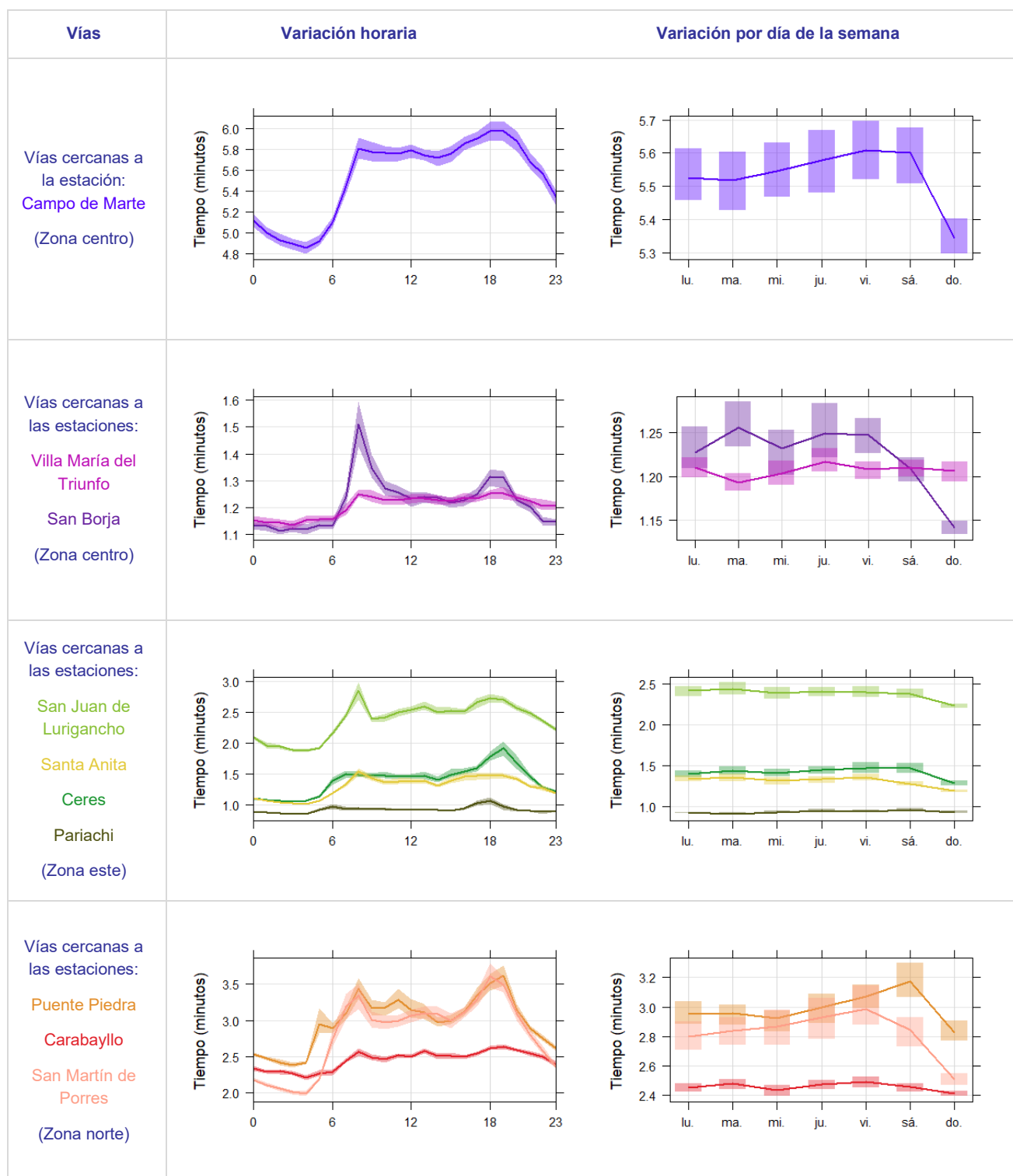
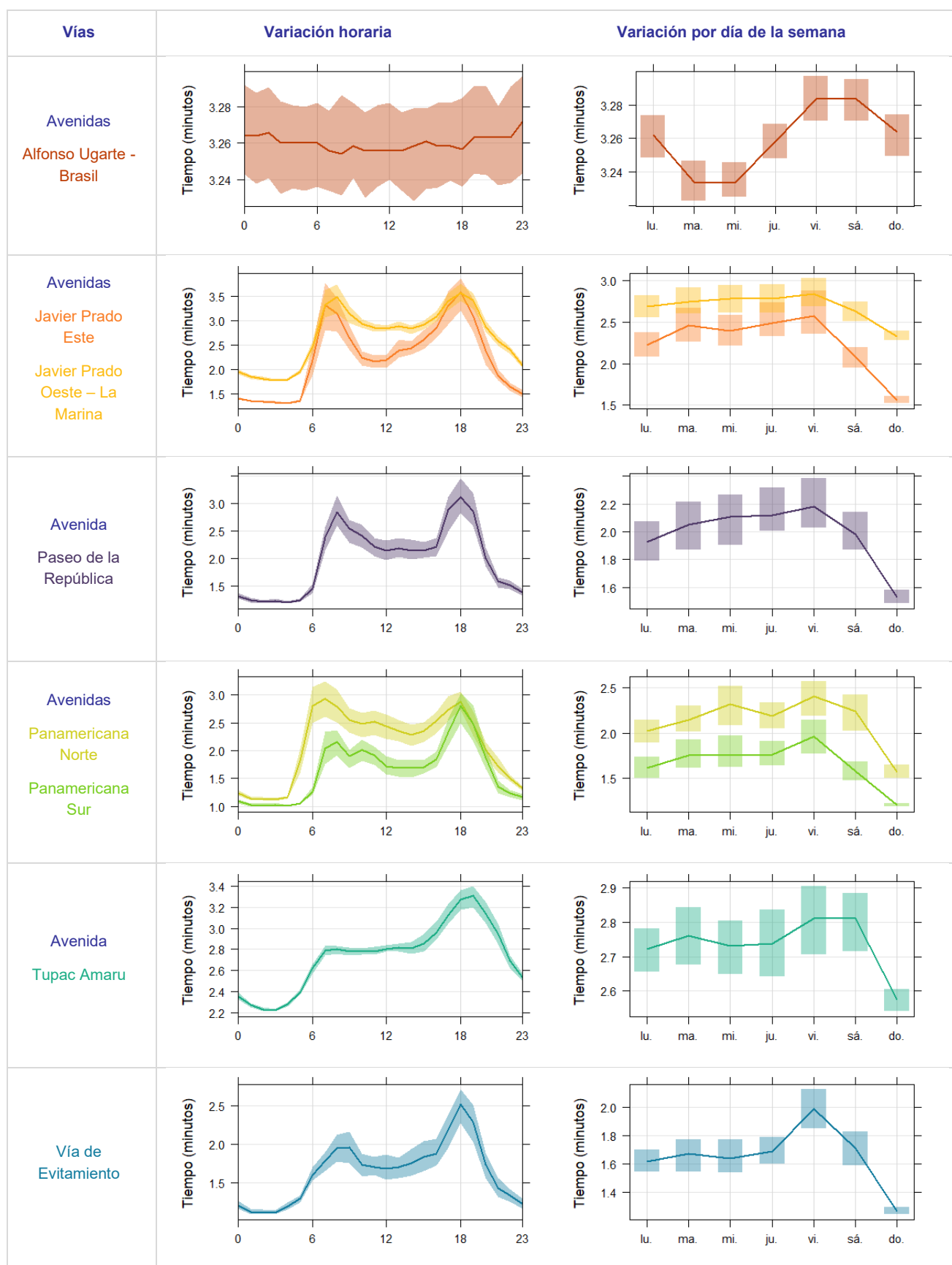


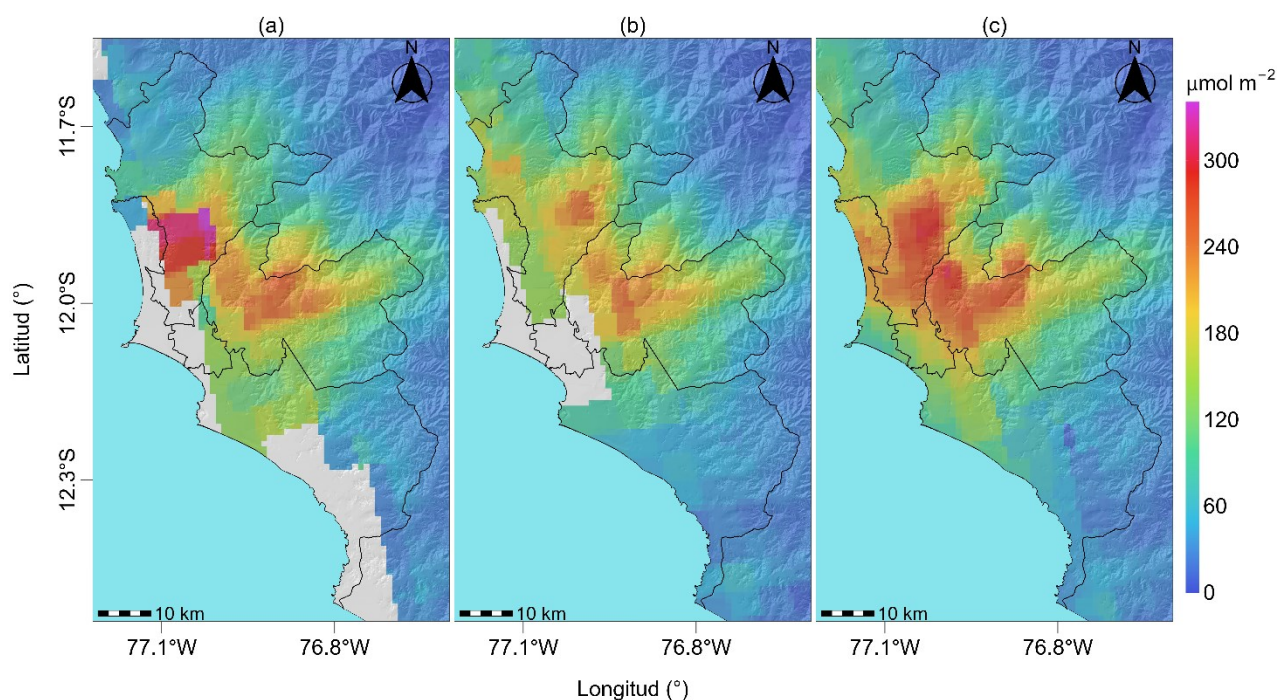
Figura N°07b. Variación del tiempo de demora por cada 1 km recorrido en las avenidas principales del AMLC según horario y día de semana



4. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES

La Figura N° 08, muestra la distribución espacial de la densidad de la columna vertical troposférica del NO₂ (μmol/m²), obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 5 km × 3.5 km durante el mes de junio. Es así como, la Figura N° 08a, muestra la distribución espacial promedio de NO₂ en la primera decadiaria (1 a 10 de junio), la Figura N° 08b, en la segunda decadiaria (11 al 20 de junio) y la Figura N° 08c en la tercera decadiaria (21 al 30 de junio).

Figura N° 08. Distribución espacial de la columna del NO₂ (μmol/m²) en la tropósfera del AMLC.



En la Figura N° 08 se puede observar que, durante el mes de junio, la densidad máxima de NO₂ en la columna vertical troposférica muestra una marcada variabilidad espacial entre las zonas del AMLC. En la primera decadiaria, la zona este presentó el promedio más alto (152.3 μmol/m²), sin embargo, el valor máximo se presentó en la zona norte, con 338.6 μmol/m², la zona sur en contraste, registró los valores promedio más bajos. En la segunda decadiaria, se destaca una reducción significativa en la zona sur (32.4 %), asimismo, el valor máximo se presentó en la zona este, con 259.7 μmol/m². En la tercera decadiaria, se observó un incremento generalizado de las densidades en todas las zonas, con promedios superiores a 150 μmol/m² en las zonas centro, este, norte y oeste, y máximos que llegaron hasta 301.9 μmol/m² en el este. Cabe resaltar que durante la primera y segunda decadiaria hubo escasez de información, afectando principalmente a la zona oeste y centro y una parte de la zona sur.

Cabe precisar que el NO₂ se origina principalmente por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante procesos de combustión, especialmente relacionados a la actividad vehicular.^{16,17} Debido a la dirección de viento, el NO₂ tiende a dispersarse hacia la zona norte y este del AMLC. Esta situación, combinada con la mayor circulación de vehículos de carga pesada o transporte de mercancía en dichas áreas, contribuye a que se registren los mayores valores de densidad de NO₂ en esta zona.

¹⁶ Monitoreando el Dióxido de Nitrógeno desde el Espacio. Obtenido de: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Inside_Look_AQ_Spanish.pdf

¹⁷ Óxidos de Nitrógeno. Obtenido de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.html>

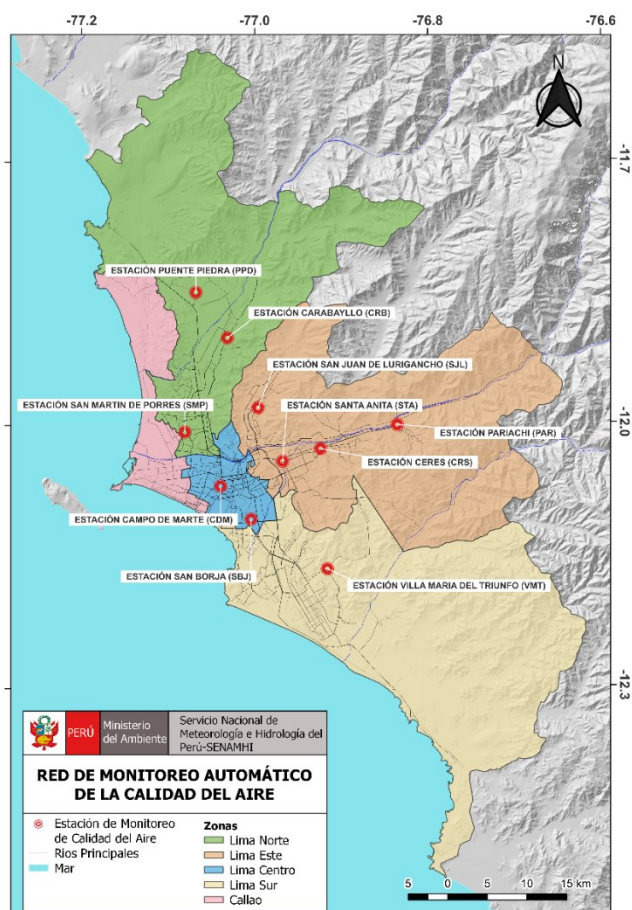
5. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

El SENAMHI realiza la vigilancia de la calidad del aire a través de 10 estaciones de monitoreo automático, las cuales miden las concentraciones horarias de los contaminantes PM₁₀ (Material Particulado con diámetro menor a 10 micras), PM_{2,5} (Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras), NO₂ (Dióxido de Nitrógeno), O₃ (Ozono) y CO (Monóxido de Carbono). El conjunto de estas estaciones conforma la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) y se encuentran en 9 distritos del AMLC tal como se indica en el Cuadro N° 01 y se observa en la Figura N° 09.

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 Ceres (CRS) Plaza Cívica de Ceres distrito de Ate
	Estación Pariachi (PAR) Parque Barrantes Langan - Pariachi 2a etapa distrito de Ate
	Estación Santa Anita (STA) Palacio Municipal del distrito de Santa Anita
Sur	Estación Villa María del Triunfo (VMT) Parque Virgen de Lourdes Zona 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°09. 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 los contaminantes atmosféricos, 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.

5.1. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE ESTACIONES DE MONITOREO EN EL AMLC

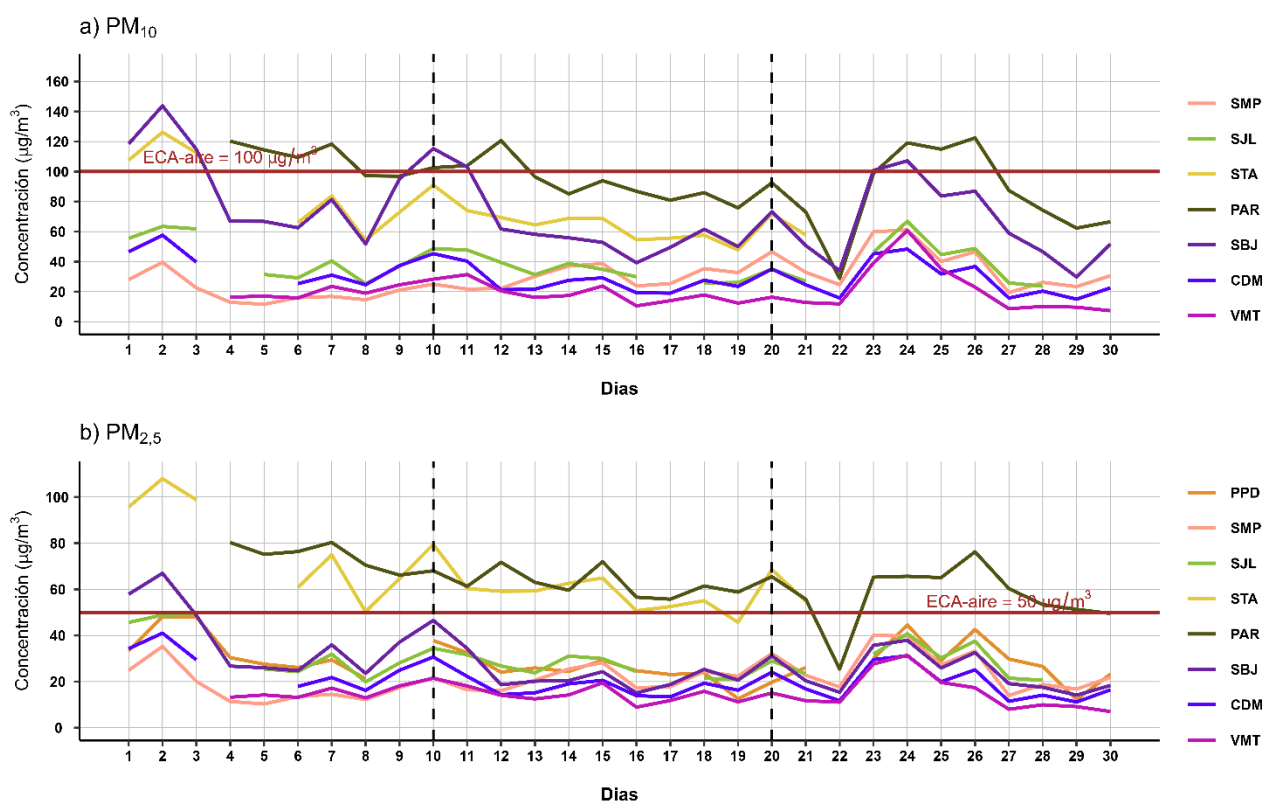
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se analizó la variabilidad diaria de las concentraciones del material particulado y gases. Los datos provinieron de las estaciones: Puente Piedra (PPD), Carabaylo (CRB), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (SJM), Ceres (CRS), Pariachi (PAR), Santa Anita (STA), San Borja (SBJ), Campo de Marte (CDM) y Villa María del Triunfo (VMT).

5.1.1. MATERIAL PARTICULADO ($PM_{2,5}$ y PM_{10})

El material particulado hace referencia a partículas sólidas o líquidas, cuyo tamaño es más grande que una molécula, pero suficientemente pequeño para mantenerse suspendido en el aire. Pueden contener en su estructura iones inorgánicos, compuestos metálicos, carbono elemental, compuestos orgánicos y compuestos provenientes de la corteza terrestre. Usualmente se evalúan dos tipos de material particulado, las denominadas partículas finas, que incluyen a las partículas con diámetro menor a $2,5\ \mu m$ y las denominadas partículas gruesas que incluyen a las partículas con diámetro menor a $10\ \mu m$ ¹⁸.

En el AMLC, la principal fuente de emisión de material particulado está provienen del parque automotor; sin embargo, existen otras fuentes de emisión, como las puntuales (industria del cemento, harina de pescado o la refinación de cobre y zinc) o las de área (entre las que se encuentran las pollerías)¹⁰. Asimismo, las concentraciones de material particulado pueden variar en función de las condiciones meteorológicas, es así como, en estudios realizados en el AMLC, se ha visto que un incremento en la humedad relativa está relacionado con un incremento de las concentraciones de $PM_{2,5}$, mientras que un incremento en la temperatura está relacionado con un incremento en las concentraciones de PM_{10} ¹⁹.

Figura N°10. Variación diaria del PM_{10} y $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$) en el AMLC.



¹⁸ Determinación de componentes de aerosoles atmosféricos en una zona urbana para evaluar la calidad del aire e identificar las fuentes de contaminación. Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-023-08805-8>

¹⁹ Niveles de material particulado en una megaciudad sudamericana: el área metropolitana de Lima-Callao, Perú. Obtenido de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29134287/>

Tal como se muestra en la Figura N° 10a, durante el periodo de monitoreo se observaron concentraciones de PM₁₀ superiores al ECA-aire de 100 µg/m³ (como promedio diario) en las estaciones PAR, SBJ y STA. El valor más alto registrado fue de 143.8 µg/m³ en la estación SBJ, ubicada en la zona centro, el sábado 2 de junio; presentándose las concentraciones más altas entre las 03:00 y las 05:00 horas, y estaría asociado a condiciones meteorológicas poco favorables para la dispersión de contaminantes: una altura de la CLA baja y alta humedad relativa²⁰, condiciones que favorecen la acumulación de contaminantes en el aire, especialmente de PM_{2,5}, que al ser una fracción del PM₁₀, también contribuye al incremento de este último. En la zona este, la concentración más alta se registró también el 2 de junio en la estación STA, alcanzando los 126.2 µg/m³. Por su parte, la zona norte presentó su valor máximo el 24 de junio en la estación SMP con 61.1 µg/m³, mientras que, en la zona sur, la estación VMT alcanzó un valor máximo de 60.8 µg/m³ el mismo día. A nivel decadiario, se evidenció una reducción en las concentraciones entre la primera y la segunda decadiaria en la mayoría de las estaciones, siendo más notorio en SBJ y CDM, con disminuciones de 34 y 31.2%, respectivamente; este descenso estaría relacionado con el incremento de la altura de la CLA, especialmente en la segunda mitad de la segunda decadiaria; además, al inicio de la tercera decadiaria se presentaron precipitaciones²¹ que contribuyeron a limpiar la atmósfera de contaminantes, reduciendo temporalmente las concentraciones de PM₁₀; sin embargo, a mediados de la tercera decadiaria se volvió a registrar un incremento en las concentraciones, asociado a días soleados con mayor temperatura y menor humedad relativa, condiciones que favorecen la resuspensión de PM₁₀ (ver Figura N° 02b y 02a). ^{19, 22, 23, 24}

En la Figura N° 10b, se observa que, durante el periodo de monitoreo, se registraron concentraciones de PM_{2,5} superiores al ECA-aire de 50 µg/m³ (como promedio diario) en las estaciones PAR, STA y SBJ. El valor máximo de 108 µg/m³ se alcanzó el lunes 2 de junio en la estación STA, ubicada en la zona este, presentándose las concentraciones más altas entre las 04:00 y 09:00 horas, y estaría asociado a condiciones meteorológicas favorables para la acumulación de PM_{2,5}: una altura de la CLA baja y alta humedad relativa²⁰, así como un incremento en la actividad vehicular al ser inicio de semana laborable. También el 2 de junio se registraron los valores más altos en las zonas centro y norte, con 67 µg/m³ en la estación SBJ y 48.1 µg/m³ en la estación PPD. Finalmente, en la zona sur, la mayor concentración fue de 31.4 µg/m³, alcanzada el 24 de junio en la estación VMT. A nivel decadiario, se destaca una reducción del 41.9% en las concentraciones de PM_{2,5} en la estación SBJ hacia la segunda decadiaria, asociada al incremento de la velocidad del viento y en la altura de la CLA (especialmente en la segunda mitad); por otro lado, hacia la tercera decadiaria se destaca un incremento del 22.3% en las concentraciones registradas en la estación PPD, vinculado a una reducción en altura de la CLA y al incremento de la actividad vehicular en días laborables, lo cual favoreció la acumulación de contaminantes. (ver Figura N° 02d y Figura N° 06) ^{19,22,23}

²⁰ <https://x.com/Senamhiperu/status/1929601081534783510>

²¹ <https://x.com/Senamhiperu/status/1937161833229521086>

²² Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/995>

²³ Factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación del aire en la ciudad de Lima. Obtenido de: Boletín de la sociedad Geográfica de Lima, Vol. N° 113:2000

²⁴ <https://x.com/Senamhiperu/status/1937872760837157319/photo/1>

5.1.2. GASES (CO, O₃ y NO₂)

El CO es un gas incoloro, insípido e inodoro, inflamable y peligroso para la salud humana. Las principales fuentes antropogénicas de CO son los procesos de combustión relacionados con la energía, la calefacción, el transporte de vehículos, la quema de biomasa, la oxidación del metano y los compuestos orgánicos volátiles (COV), mientras que las fuentes naturales son la actividad volcánica, las descargas eléctricas y las emisiones de gases naturales. Las condiciones de alta velocidad de viento favorecen la turbulencia e incrementan la dispersión y el transporte de CO, con lo cual se reducen las concentraciones de este contaminante; por otro lado, las bajas temperaturas no favorecen los movimientos verticales térmicamente inducidos, manteniendo los contaminantes atmosféricos en los niveles más bajos, sumado a ello, los motores funcionan con menor eficiencia cuando el aire está frío, lo cual da lugar a la formación de productos de combustión incompleta entre los que se encuentra el CO²⁵.

El O₃ desempeña un papel crucial en la química atmosférica y a nivel superficial, se considera uno de los principales contaminantes antropogénicos. Este gas secundario se forma a través de la oxidación fotoquímica de COV en presencia de óxidos de nitrógeno (NO + NO₂), conocidos como precursores. Por lo tanto, suele existir una relación inversa entre las concentraciones de NO₂ y O₃²⁶, siendo que, el pico del ciclo del O₃ aparece aproximadamente 6 horas después del pico del NO y 5 horas después del NO₂²⁷. Por otro lado, se observa una estrecha relación entre los niveles elevados de O₃ y la temperatura. Esto se debe a que uno de los factores más significativos que favorecen la formación de ozono fotoquímico es la intensidad de la luz solar, la cual está asociada con valores relativamente altos de temperatura²⁸.

El NO₂ está considerado dentro del grupo de gases altamente reactivos conocidos como óxidos de nitrógeno (NO_x), siendo usado como un indicador de la presencia de este grupo más amplio²⁹. El NO₂ se origina durante los procesos de combustión en los vehículos, por lo cual los valores máximos se pueden relacionar con las horas de máxima congestión vehicular. Asimismo, la temperatura y la radiación solar suelen mantener una relación inversa con las concentraciones de NO₂, debido a que fomentan las reacciones que dan origen al O₃, favoreciendo con ello el consumo de NO₂ como su precursor²⁸.

²⁵ Variaciones de las concentraciones de monóxido de carbono en la megaciudad de São Paulo de 2000 a 2015 en diferentes escalas de tiempo. Obtenido de: <https://www.mdpi.com/2073-4433/8/5/81>

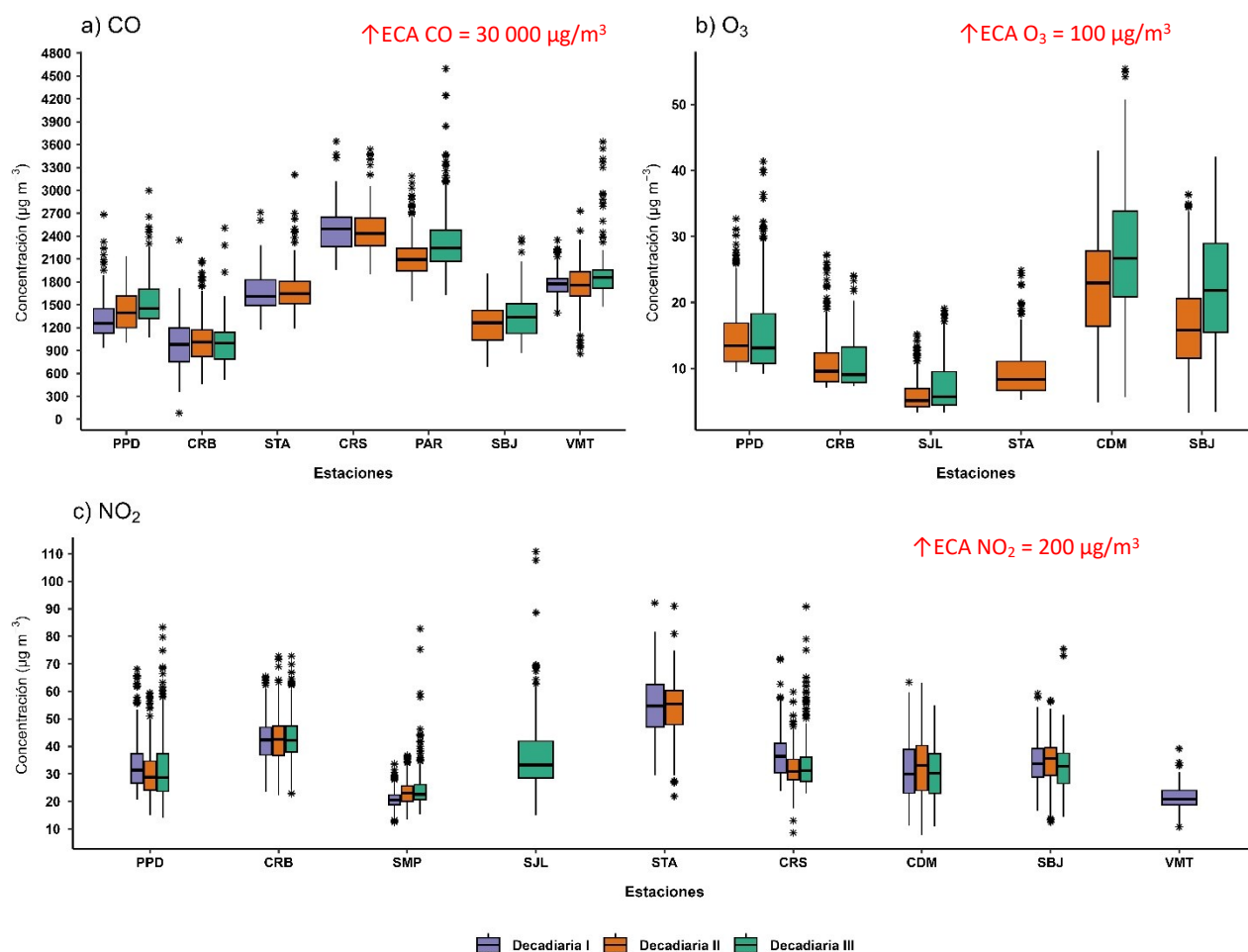
²⁶ Ozono y compuestos orgánicos volátiles en el área metropolitana de Lima-Callao, Perú. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/237>

²⁷ Análisis de la Relación entre O₃, NO y NO₂ en Tianjin, China. Obtenido de: <https://aaqr.org/articles/aaqr-10-07-0a-0055>

²⁸ Análisis temporal de los contaminantes atmosféricos (NO₂, O₃ troposférico y CO) y su relación con la temperatura del aire y la radiación solar en Lima Metropolitana. Obtenido de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162023000100017

²⁹ United States Environmental Protection Agency. (25 de julio del 2023). *Basic Information about NO₂*. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>

Figura N°12. Variación de las concentraciones del CO, O₃ y NO₂ (µg/m³) por decadiaria en el AMLC.



En la Figura N° 12a, se observa que las concentraciones horarias de CO registradas en las estaciones se mantuvieron por debajo del ECA-aire de 30 000 µg/m³ (como promedio horario) durante todo el periodo de monitoreo. Asimismo, el valor más alto se registró durante la tercera decadiaria en la zona este, estación PAR, con una máxima de 4595.4 µg/m³ (martes 24 de junio a las 07:00 horas), lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona este, así como también a la disminución de la altura de la CLA, condiciones que favorecieron la acumulación de contaminantes durante este día (Ver Figura N° 06 y Figura N° 02d). Por otro lado, la concentración más alta en la zona norte se presentó en la estación PPD, alcanzando los 2998 µg/m³; en la zona centro, la concentración más alta presentada en la estación SBJ, fue de 2367.8 µg/m³; mientras que en la estación VMT, ubicada en la zona sur, la concentración más alta fue de 3637.4 µg/m³. Cabe mencionar que, a nivel decadiario, no se observan notables variaciones en los promedios de las tres decadiarias.

En relación con el O₃, la Figura N° 12b muestra que las concentraciones promedio móvil de 8 horas no superaron el valor del ECA-aire de 100 µg/m³ (como máxima media de 8 horas) durante los días monitoreados. Asimismo, se puede apreciar que el valor más alto se registró en la estación CDM el domingo 22 de junio, asociado a un descenso en las concentraciones de NO₂, el cual se comporta como un precursor del O₃. Por otro lado, la concentración más alta en la zona norte se presentó en la estación PPD, alcanzando los 41.3 µg/m³; mientras que, en la zona este la concentración más alta se presentó en la estación STA, alcanzando los 24.9 µg/m³. En cuanto al comportamiento decadiario, de la segunda a la tercera decadiaria, se destaca un incremento del 34.7% en las concentraciones registradas por la estación SBJ, asociado también a una reducción de las concentraciones de NO₂.

En la Figura N° 12c, se observa que las concentraciones horarias de NO₂ registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire de 200 µg/m³ (como promedio horario) durante todo el período de monitoreo. La mayor concentración se reportó en la zona este, en la estación SJL (el martes 24 de junio a

las 10:00 horas), alcanzando $110.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona este (89% de las emisiones de NO_x provienen de vehículos a diésel)¹⁰, así como también a la disminución de la altura de la CLA, condiciones que favorecieron la acumulación de contaminantes durante este día (Ver Figura N° 02d). Por otro lado, la concentración más alta en la zona norte se presentó en PPD, alcanzando los $83.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en la zona centro, la concentración más alta se presentó en SBJ, alcanzando los $75.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que, en la estación VMT, ubicada en la zona sur, la concentración más alta fue de $39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, en el análisis decadiario, se destaca una reducción del 14.4% en la estación CRS hacia la segunda decadiaria, lo cual estaría relacionado al incremento en la velocidad del viento que favoreció la dispersión del contaminante, especialmente en la primera mitad de la segunda decadiaria (ver Figura N° 02c).

6. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL AMLC

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 que tan limpio o saludable está el aire y los efectos que podría causar en la salud^{30 31}.

6.1. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM_{10}

La Figura N° 13 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM_{10} asociadas a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observó que, en la zona centro, la estación SBJ presentó 20 días con calidad del aire “Moderada”, 10 días con calidad del aire “Buena”; mientras que, la estación CDM presentó 1 día con calidad del aire “Moderada” y 27 días con calidad del aire “Buena”. En la zona este, las estaciones PAR, STA y SJL presentaron 26, 16 y 4 días con calidad del aire “Moderada”, así como, 1, 3 y 22 días con calidad del aire “Buena”, respectivamente. En la zona norte, la estación SMP presentó 2 días con calidad del aire “Moderada” y 28 días con calidad del aire “Buena”. Finalmente, en la zona sur, la estación VMT presentó 27 días con calidad del aire “Buena”.

6.2. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL $\text{PM}_{2.5}$

La Figura N° 14 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el $\text{PM}_{2.5}$ asociadas a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observó que, en la zona centro, la estación SBJ presentó 2 días con calidad del aire “Insalubre”, 6 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 22 días con calidad del aire “Moderada”; mientras que, la estación CDM presentó 1 día con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 27 días con calidad del aire “Moderada”. Por otro lado, en la zona este, la estación PAR presentó 23 días con calidad del aire “Insalubre” y 3 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 1 día con calidad del aire “Moderada”; la estación STA presentó 13 días con calidad del aire “Insalubre” y 6 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles”; asimismo, la estación SJL presentó 5 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 21 días con calidad del aire “Moderada”. En la zona norte, las estaciones PPD y SMP presentaron 5 y 2 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 23 y 28 días con calidad del aire “Moderada”, respectivamente. Finalmente, en la zona sur, la estación VMT presentó 24 días con calidad del aire “Moderada” y 3 días con calidad del aire “Buena”.

³⁰ Air Quality Index. A guide to Air Quality and Your Health. Obtenido de: https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf

³¹ Final Updates to the Air Quality Index (AQI) for Particulate Matter. Obtenido de: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-airquality-index-fact-sheet.pdf>

Figura N° 13. Índice de la Calidad del Aire para PM₁₀

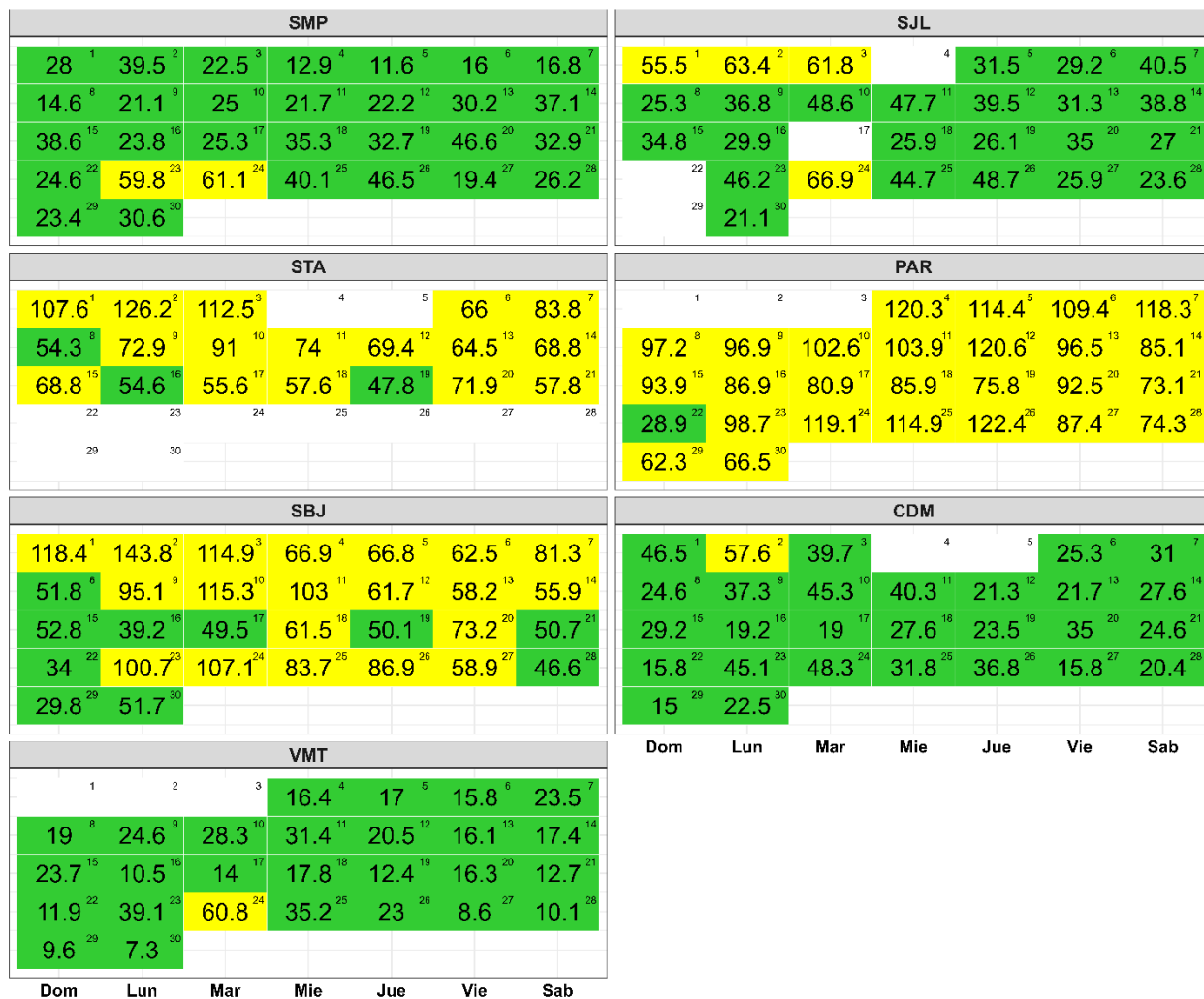
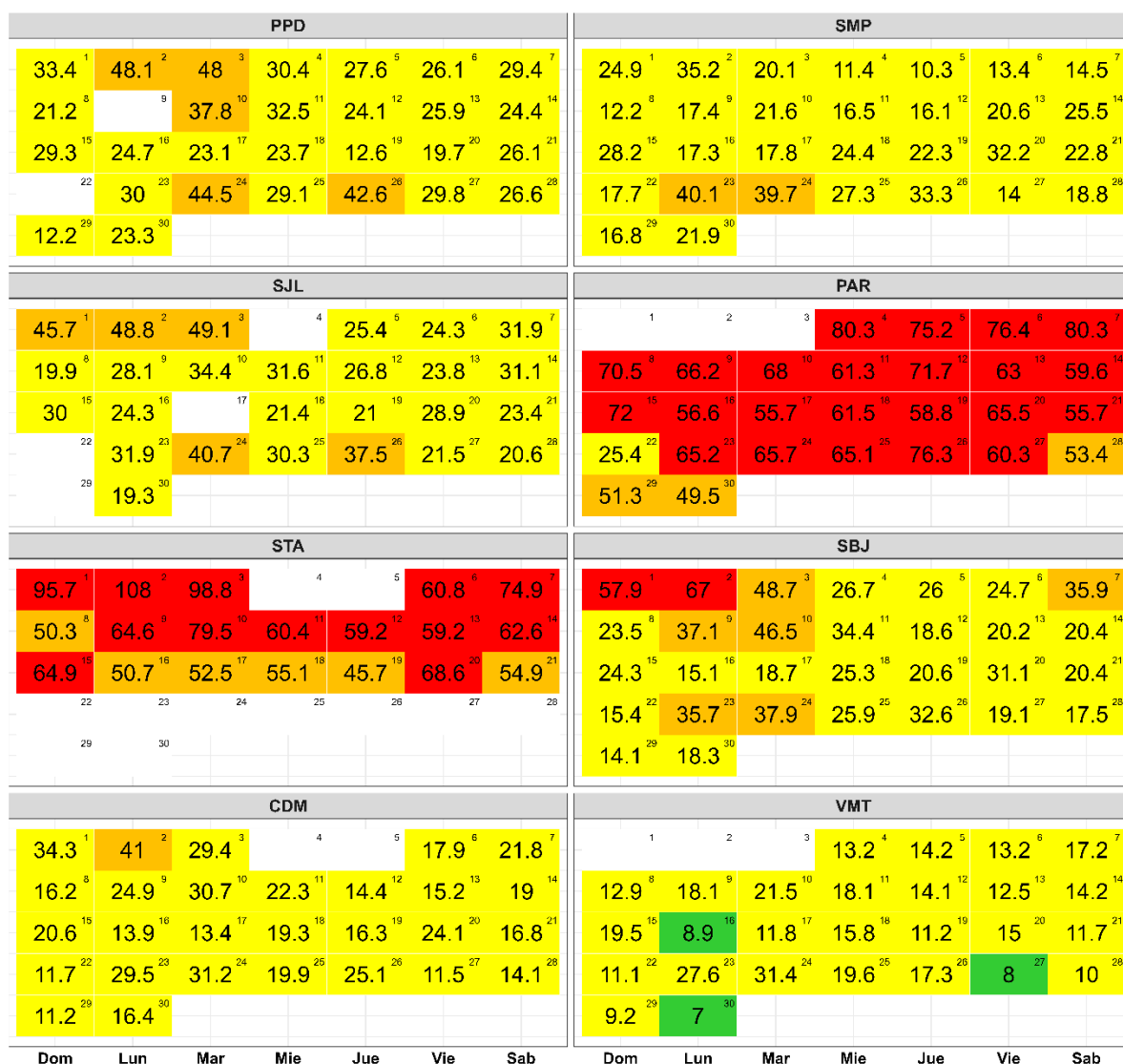


Figura N° 14. Índice de la Calidad del Aire para PM_{2.5}



Concentración PM _{2.5} (µg/m³)		Estado	Índice de Calidad del Aire - EPA	
0	9		0	50
9.1	35.4	Moderada	51	100
35.5	55.4	Insalubre para grupos sensibles	101	150
55.5	125.4	Insalubre	151	200

7. CONCLUSIONES

- Las condiciones meteorológicas influyeron en el comportamiento diario de los contaminantes atmosféricos en el AMLC durante el mes de junio. Las temperaturas permanecieron estables, sin una tendencia marcada respecto a los registros del mes anterior. Asimismo, se registró eventos de precipitación en algunas estaciones de la REMCA, lo cual pudo haber favorecido a la disminución de las concentraciones de $PM_{2.5}$.
- Durante el mes de junio, los mayores tiempos de recorrido, indicativos de una mayor congestión vehicular, se registraron principalmente en el tramo de las avenidas Alfonso Ugarte – Brasil y en las vías cercanas a la estación CDM. Por otro lado, se observó una reducción de la congestión los días domingo y un incremento los días lunes y viernes; así como la presencia de dos picos en los tiempos de demora entre las 7:00 y 9:00 horas y entre las 17:00 y 19:00 horas.
- Respecto a la densidad del NO_2 en la columna vertical troposférica, se destaca que entre la primera y la segunda decadiaria, se presentó una notable reducción en la zona sur; mientras que, para la tercera decadiaria, hubo un incremento generalizado de los valores de densidad, para todas las zonas. Asimismo, durante la primera decadiaria, los mayores valores se observaron en la zona norte, mientras que, durante la segunda y tercera decadiaria, los mayores valores se observaron en la zona este.
- En el periodo de análisis, se superó el ECA – aire para PM_{10} en tres estaciones de monitoreo (PAR, SBJ y STA), alcanzándose en la estación SBJ la concentración más alta, $143.8 \mu g/m^3$ (el sábado 2 de junio). En el caso del $PM_{2.5}$, se superó el ECA – aire en tres estaciones de monitoreo (PAR, STA y SBJ), alcanzándose en la estación STA un valor máximo de $108 \mu g/m^3$ también el 2 de junio. Estas concentraciones estarían asociadas a las condiciones de actividad vehicular y meteorológicas presentes.
- Durante el período de análisis, las concentraciones diarias de CO, NO_2 y O_3 se mantuvieron dentro de los límites establecidos por sus respectivos ECA – aire en todas las estaciones. Los incrementos en las concentraciones se asociaron a días con condiciones meteorológicas favorables para la acumulación o formación de contaminantes atmosféricos.
- Con respecto al Índice de Calidad del Aire (ICA) para el contaminante PM_{10} , se observó que, la estación PAR presentó el 96% de los días monitoreados una calidad del aire “Moderada”. Por otro lado, respecto al contaminante $PM_{2.5}$, se observó que la estación PAR presentó una calidad del aire “Insalubre” durante el 85% de los días monitoreados.

8. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MES DE JULIO 2025

De acuerdo con el pronóstico climático³² para el mes de julio del 2025, se espera que en el AMLC las temperaturas máximas se encuentren dentro de sus rangos normales, mientras que las temperaturas mínimas se presentaran entre normales a inferiores a lo normal. Considerando el comportamiento estacional de estas variables meteorológicas, se esperaría que las concentraciones de $PM_{2.5}$, se presenten entre similares a superiores a lo registrado en el mes de junio.

³² Documento: Boletín climático nacional – junio 2025 SENAMHI. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-144.pdf>

Para más información sobre el presente informe, contactar con:

Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio (eamedina@senamhi.gob.pe)
Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico

Elaboración

Ing. Lourdes María Isabel Urteaga Tirado (lurteaga@senamhi.gob.pe)
Ing. José Hitoshi Inoue Velarde
Bach. Hanns Kevin Gómez Muñoz

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>

Suscríbete al **BOLETÍN MENSUAL DE LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE** de Lima Metropolitana en el siguiente enlace:
<https://forms.gle/a4hpxqSc8KLj47sQ6>

Próxima actualización: 15 de agosto del 2025

