PERÚ Ministerio del Ambiente

Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

Perú

BOLETÍN
VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE

Área metropolitana de Lima y Callao

Julio 2025

VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – JULIO 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 julio[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 Traffic[4]. 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 5P[5].

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.

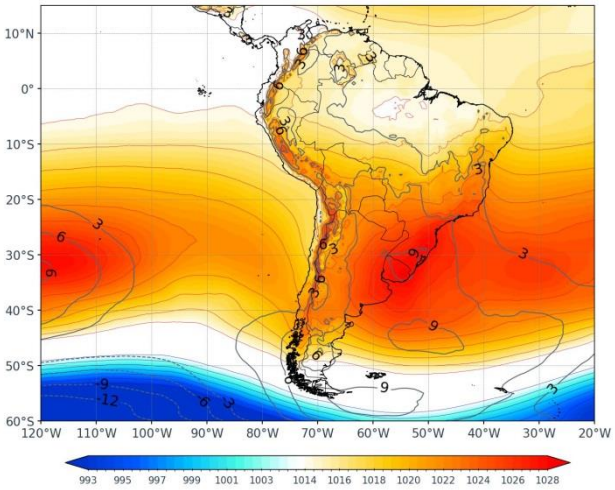
[1] Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – julio 2025. Obtenido de: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-125.pdf
[2] Boletín climatológico de Lima – julio 2025. Obtenido de: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02232SENA-133.pdf
[3] Sistema de predicción meteorológica a mesoescala 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 julio se conformó la decadiaria 1 (del 1 al 10), decadiaria 2 (del 11 al 20) y decadiaria 3 (del 21 al 31).

1.1. PRIMERA DECADIARIA (1 al 10 de julio)

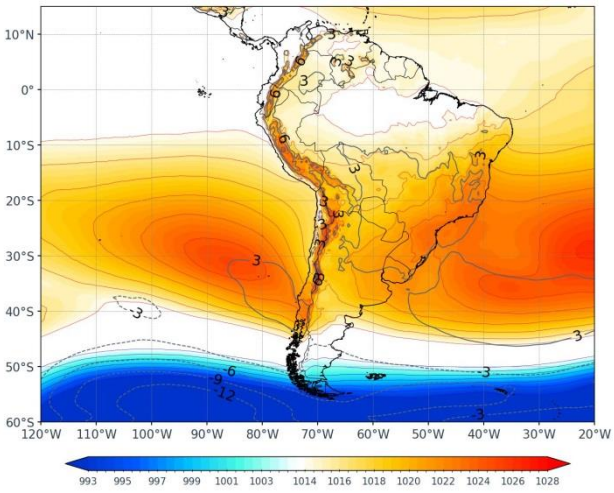
Figura N°01a. Variación del APS en la decadiaria 1.



En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una configuración zonal con núcleo en los 31°S y 117°W, con valores de presión por encima de los 1024 hPa, más intenso respecto a lo climático y desplazado hacia el oeste. [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 1 y 6 m/s. Por otro lado, las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) frente a las costas del AMLC estuvieron cercanas a los 1.1°C, lo cual repercutió en las anomalías de temperaturas máximas y mínimas del aire, encontrándose la máxima en 0.1°C por encima de lo normal, mientras que la mínima, igual a su normal [2].

1.2. SEGUNDA DECADIARIA (11 al 20 de julio)

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



En superficie, el APS presentó una configuración cuasi meridional con un núcleo en los 30°S y 85°W, con valores de presión cercanos a los 1024 hPa, más intenso respecto al climático y desplazado hacia el sureste. [6,1] A nivel de superficie, los vientos incidentes sobre la costa del AMLC presentaron una dirección predominante del sur y velocidades entre 2 y 6 m/s. Por otro lado, las ATSM [7] frente a las costas del AMLC se encontraron alrededor de los 1.7°C, con una tendencia a aumentar, lo cual repercutió en las anomalías de temperaturas máximas y mínimas del aire, ubicándolas en 0.1°C y -0.3°C [2].

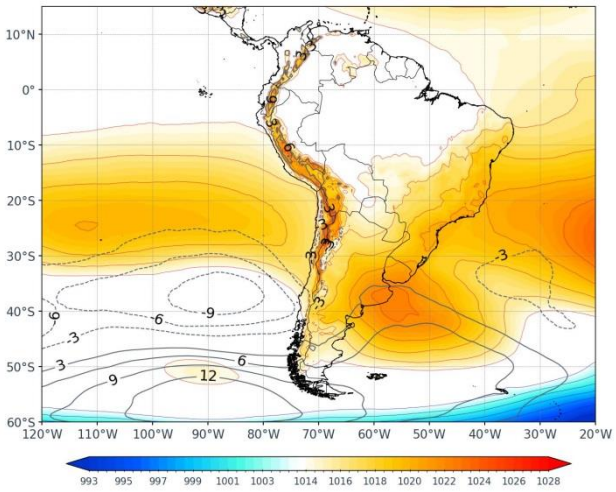
[6] ¿Cómo responderán los anticiclones subtropicales del hemisferio sur al calentamiento global? Mecanismos y estacionalidad en las proyecciones de los modelos CMIP5 y CMIP6 (Pág. 704). Obtenido de: https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05290-7

[7] Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas en el litoral peruano. Obtenido de: http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=I01780302000000000000

1.3. TERCERA DECADIARIA (21 al 30 de julio)

En superficie, el APS presentó una configuración zonal y núcleo en los 24°S y 112°W con valores cercanos a los 1020 hPa, más intenso respecto al climático y desplazado hacia el oeste. [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 0.8°C, con una tendencia a disminuir, lo que favoreció el aumento de anomalías de temperaturas máximas del aire a 2.0°C, mientras que, en las mínimas, fue igual a 0.1°C [2].

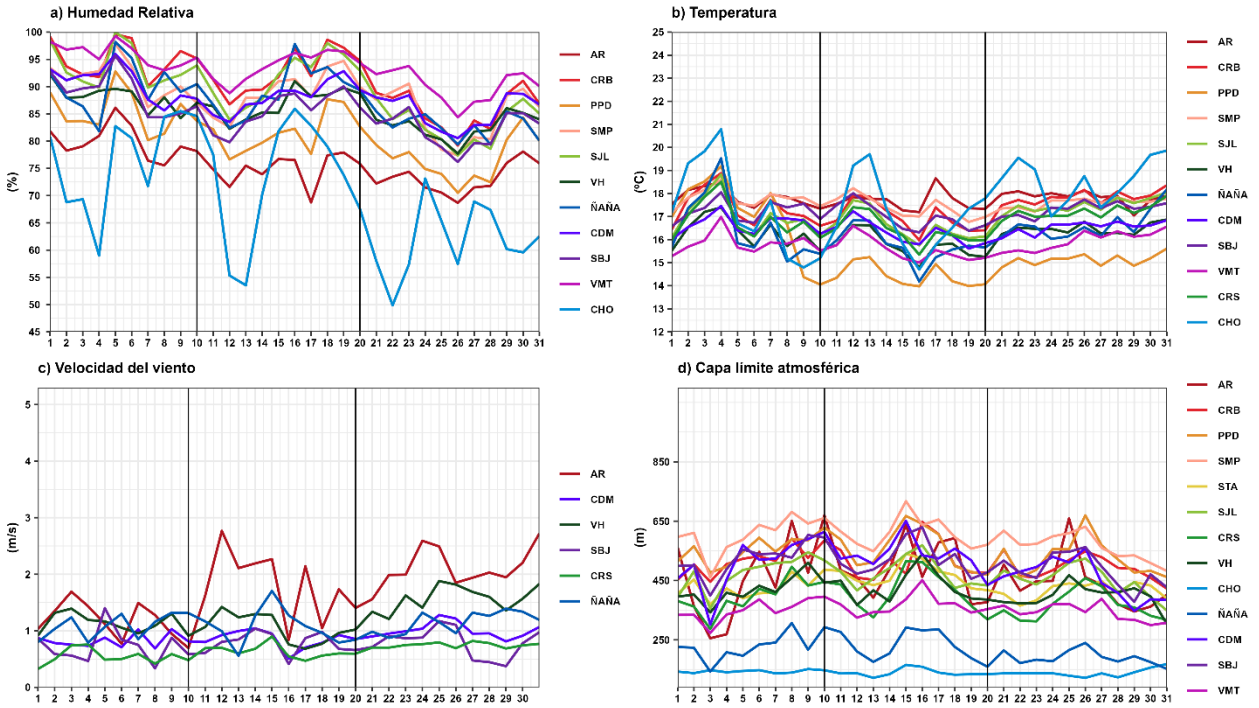
Figura N°01c. Variación del APS en la decadiaria 3.



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 (SJL), 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 ALMC dividido en 3 decadiarias



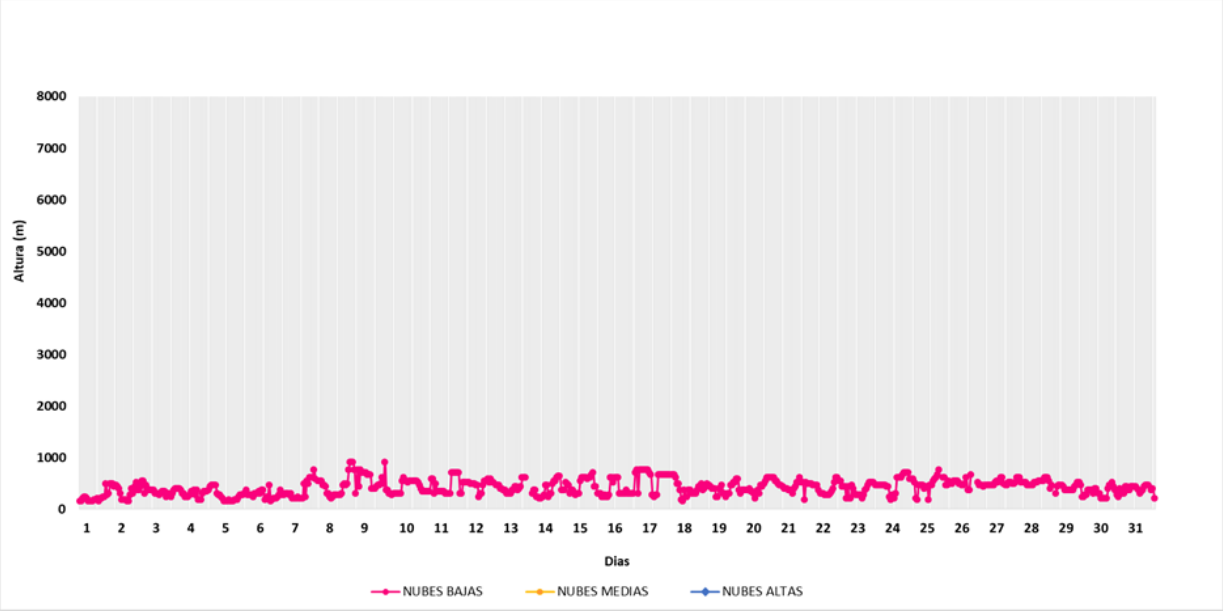
[8] CLA: parte de la tropósfera influenciada directamente por la superficie terrestre, donde se concentra la mayor cantidad de sustancias contaminantes.

Con respecto a la humedad relativa (Figura N° 02a), durante la primera decadiaria se presentaron valores entre 59% y 99.9%, para la segunda decadiaria entre 53.5% ay 98.6% y para la tercera decadiaria entre 49.9% y 93.8%, siendo las estaciones VMT y CRB aquellas que mantuvieron los promedios de humedad más altos, de 93.2% y 91.1%, respectivamente. En relación con la temperatura (Figura N° 02b) durante la primera decadiaria se presentó valores entre 14.1°C a 20.8°C, para la segunda decadiaria entre 14°C a 19.7°C, y en la tercera decadiaria entre 14.8°C a 19.9°C, siendo la estación de AR la que alcanzó el valor promedio más alto de temperatura de 17.8 °C. En cuanto a la velocidad del viento (Figura N° 02c), los valores oscilaron entre 0.3 a 2.8 m/s durante todo el mes, siendo la estación AR la que alcanzó el valor promedio más alto, con una media mensual de 1.7 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 592.4, 544.7, 508.7 m, respectivamente, mientras que en las estaciones ÑAÑA y CHO se presentaron los valores promedio más bajos, con 215.6 y 140.7 m, respectivamente.

2.1. ALTURA DE LA BASE DE LA NUBE

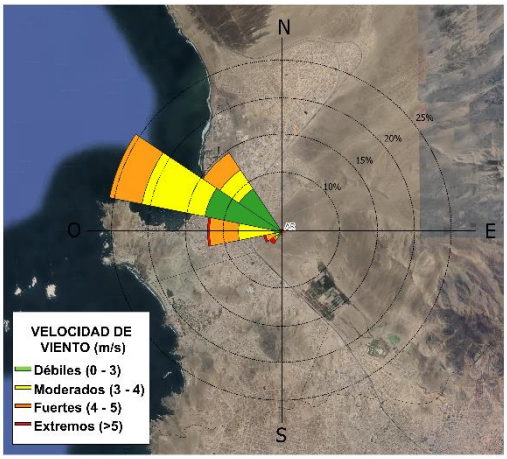
De acuerdo con el registro horario de la Altura de la Base de la Nube (ABN) obtenido por el ceilómetro de la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (Figura N° 03), durante el mes de julio se observó que las nubes bajas (ABN menor a 2000 m) se presentaron en el 98% de las horas. Las nubes medias (ABN entre 2000 m y 6000 m), no se presentaron durante el mes. En cuanto al cielo despejado, este se presentó en el 2% de las mediciones realizadas. En general, durante el mes de julio disminuyeron las condiciones de cielo despejado.

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 velocidad[9].

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.

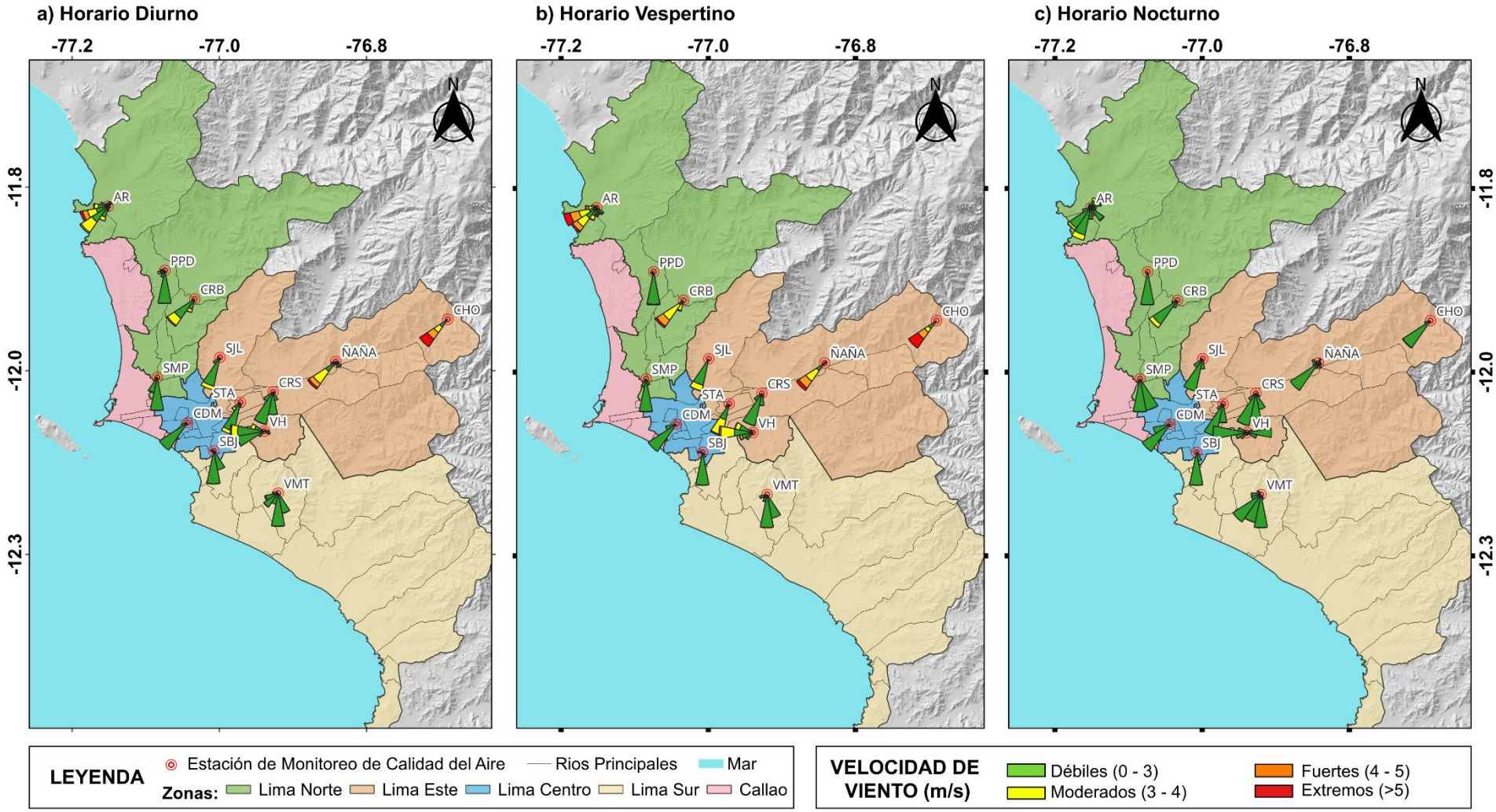
Durante el horario diurno (Figura N° 05a), las estaciones CHO y ÑAÑA registraron vientos de intensidad extrema, mientras que en las estaciones AR y CRB se alcanzaron vientos fuertes, y en la estación CDM, vientos débiles, siendo la dirección predominante del suroeste (SO) para las cinco estaciones. Las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

Durante el horario vespertino (Figura N°05b), en las estaciones 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 cuatro estaciones. Las estaciones SJL y STA presentaron vientos de intensidad fuerte, mientras que en CRS se observaron vientos débiles, siendo la dirección predominante del sur suroeste (SSO) para las tres estaciones. En las estaciones PPD y SMP se presentaron vientos moderados, mientras que SBJ 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). En la estación AR se registraron vientos extremos con dirección predominante del oeste suroeste (OSO).

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

[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).

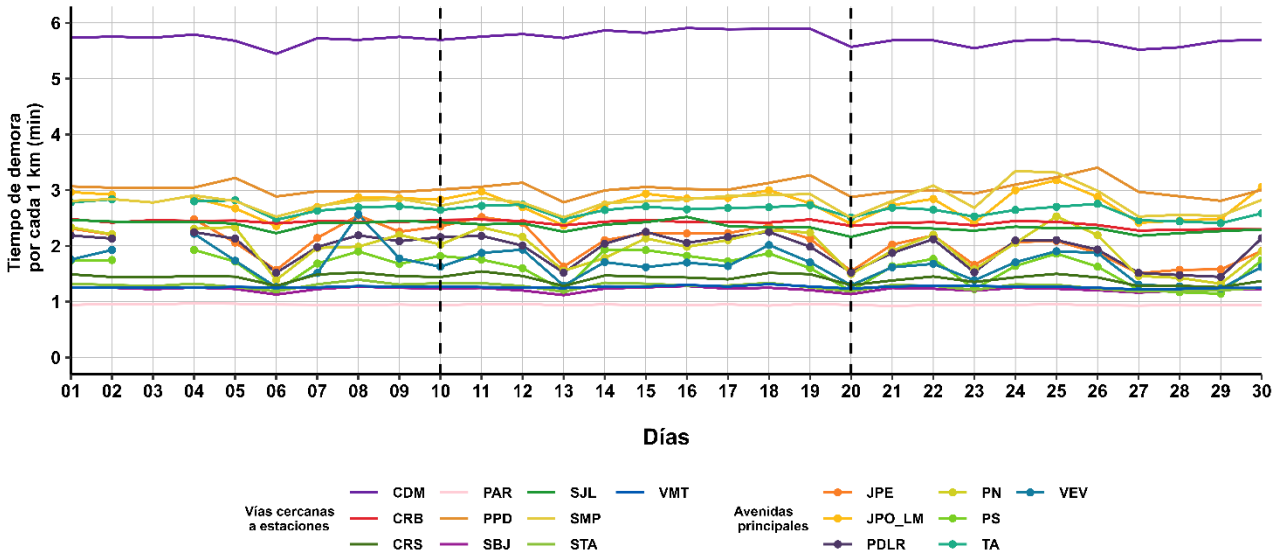
3. ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL AMLC

La actividad vehicular tiene una contribución de más del 50% sobre la contaminación del aire en el AMLC[10], 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 minutos[11]. 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 scraping[14] para extraer datos sobre el tiempo de recorrido en tramos de 10 km de las principales avenidas[15] del AMLC.

En la Figura N°06 se muestran los tiempos de demora por cada 1 km recorrido tanto en las vías cercanas a las estaciones de monitoreo como en las avenidas principales del AMLC. Se aprecia que los mayores tiempos de demora, respecto a las vías cercanas a las estaciones, se presentaron en los alrededores de la estación CDM, ubicada en la zona centro, alcanzando un promedio máximo diario de 5.9 minutos durante la segunda decadiaria (miércoles 16 de julio). Mientras que, respecto a las avenidas principales, los mayores tiempos de demora se registraron en la Av. Javier Prado Oeste – Av. La Marina (JPO_LM), alcanzando un valor promedio diario máximo de 3.2 minutos durante la tercera decadiaria (viernes 25 de julio).

En la Figura N° 07a y Figura N° 07b se puede apreciar que, durante mes de julio, 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 6:00 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: 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.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117304001?via%3Dihub
[13] Sjodin 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.irjmets.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

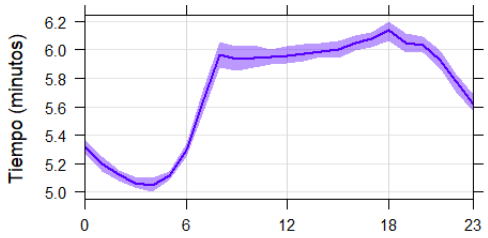
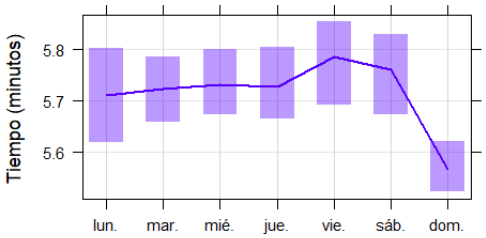
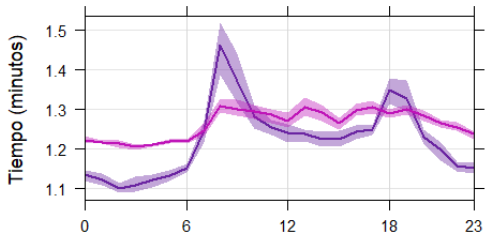
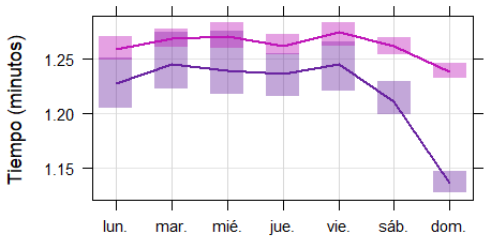
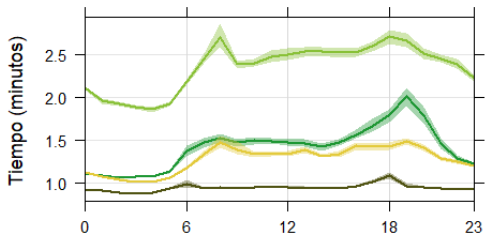
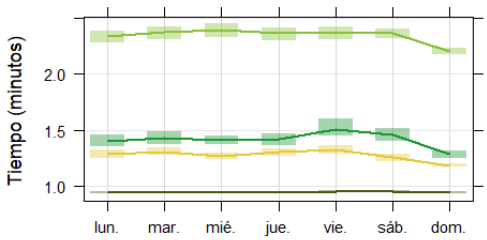
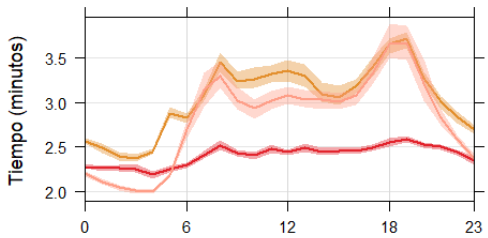
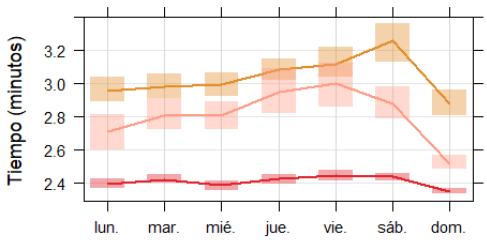
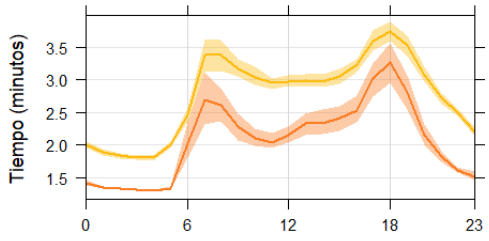
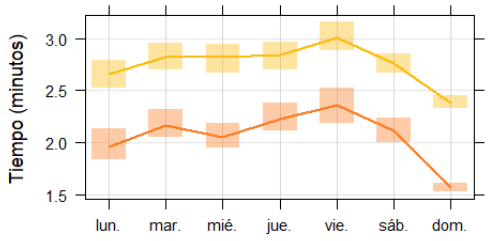
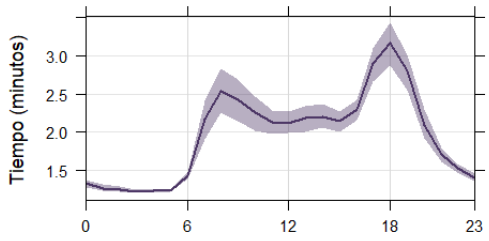
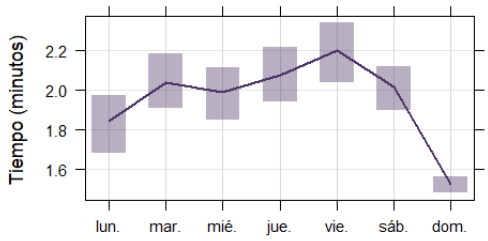
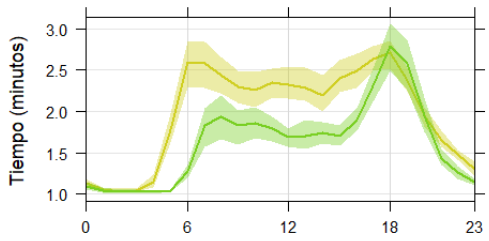
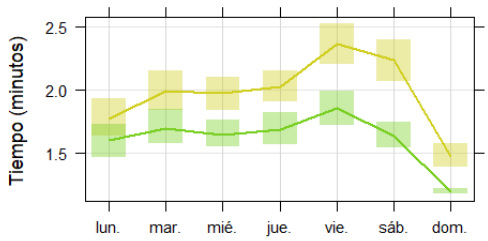
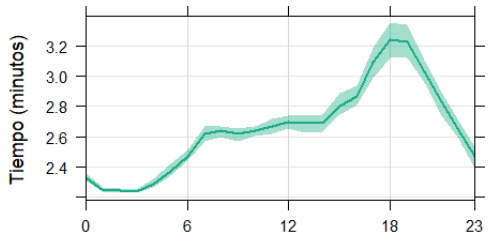
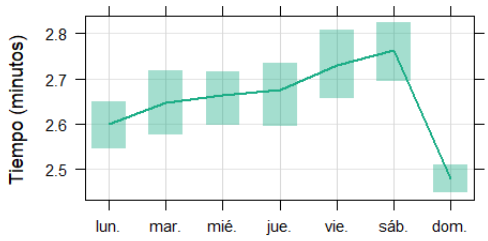
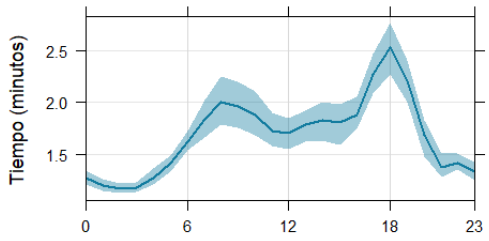
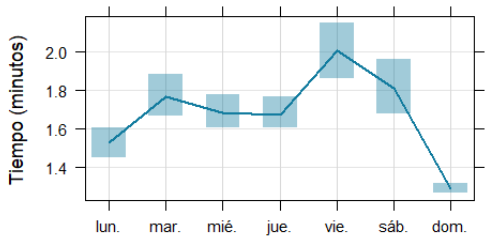
Vías	Variación horaria	Variación por día de la semana
Vías cercanas a la estación: Campo de Marte (Zona centro)		
Vías cercanas a las estaciones: Villa María del Triunfo, San Borja (Zona centro)		
Vías cercanas a las estaciones: San Juan de Lurigancho, Santa Anita, Ceres, Pariachi (Zona este)		
Vías cercanas a las estaciones: Puente Piedra, Carabayllo, San Martín de Porres (Zona norte)		

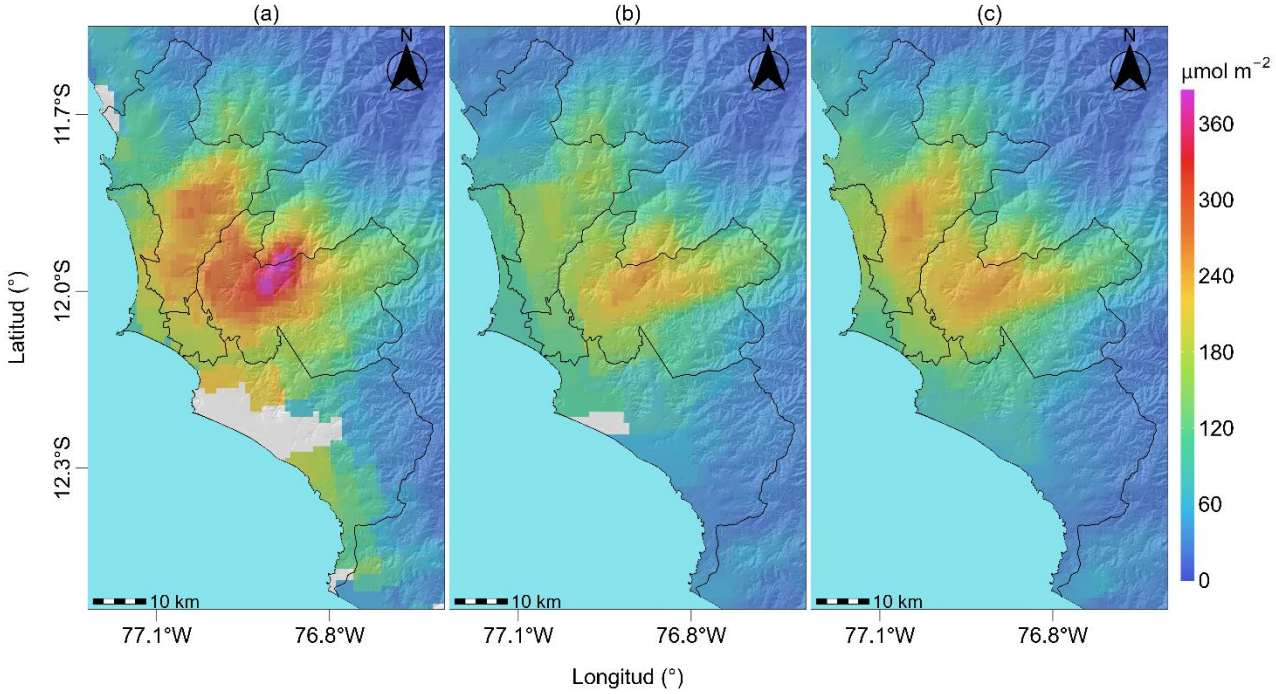
Figura N°07b. Variación del tiempo de demora por cada 1 km recorrido en las avenidas principales del AMLC según horario y día de semana

Vías	Variación horaria	Variación por día de la semana
Avenidas Javier Prado Este Javier Prado Oeste – La Marina		
Avenida Paseo de la República		
Avenidas Panamericana Norte Panamericana Sur		
Avenida Tupac Amaru		
Vía de Evitamiento		

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 NO_2 (µmol/m^2), obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 5 km × 3.5 km durante el mes de julio. Es así como, la Figura N° 08a, muestra la distribución espacial promedio de NO_2 en la primera decadiaria (1 a 10 de julio), la Figura N° 08b, en la segunda decadiaria (11 al 20 de julio) y la Figura N° 08c en la tercera decadiaria (21 al 31 de julio).

Figura N° 08. Distribución espacial de la columna del NO_2 (µmol/m^2) en la tropósfera del AMLC.



En la Figura N° 08 se puede observar que, durante el mes de julio, la densidad máxima de NO_2 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 (198.2 µmol/m²), alcanzando también en esta zona el valor máximo de 383.4 µmol/m², la zona sur en contraste registró los valores promedio más bajos. En la segunda decadiaria, se destaca una reducción significativa de manera generalizada, siendo esta mayor en la zona sur (41.7 %), asimismo, el valor máximo se presentó en la zona este, con 252.9 µmol/m². En la tercera decadiaria, se observó un incremento de las densidades en las zonas oeste, norte y centro, alcanzando un promedio superior a 140 µmol/m² en la zona oeste (39.1% mayor que en la anterior decadiaria), sin embargo, el valor máximo de 262.2 µmol/m², se presentó en la zona norte. Cabe resaltar que durante la primera y segunda decadiaria hubo escasez de información, afectando principalmente a la zona sur.

Cabe precisar que el NO_2 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 NO_2 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 NO_2 en estas zonas.

[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

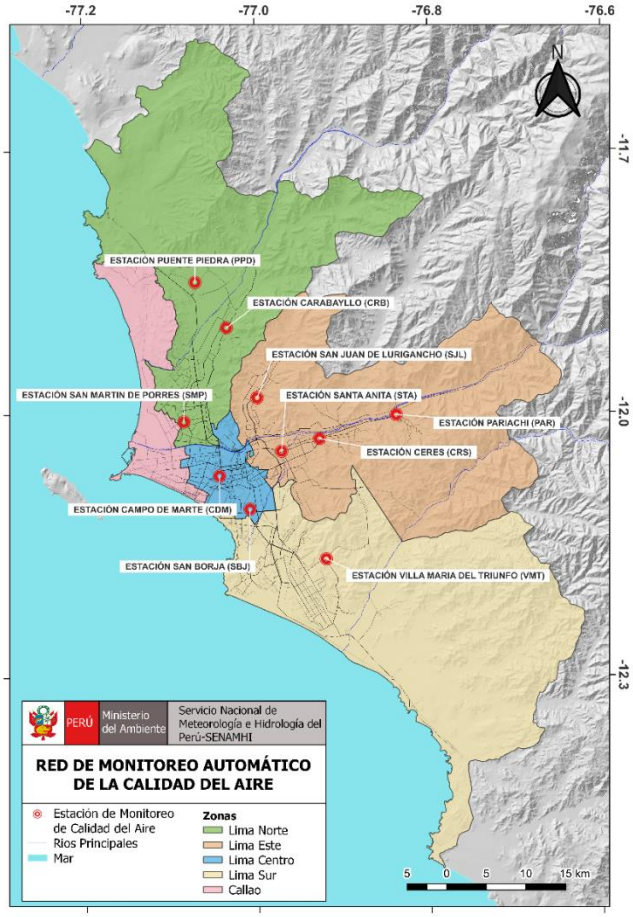
5. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

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 PM_{10} (Material Particulado con diámetro menor a 10 micras), $PM_{2.5}$ (Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras), NO_2 (Dióxido de Nitrógeno), O_3 (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 Nº 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 Lingan - 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 Nº09. 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

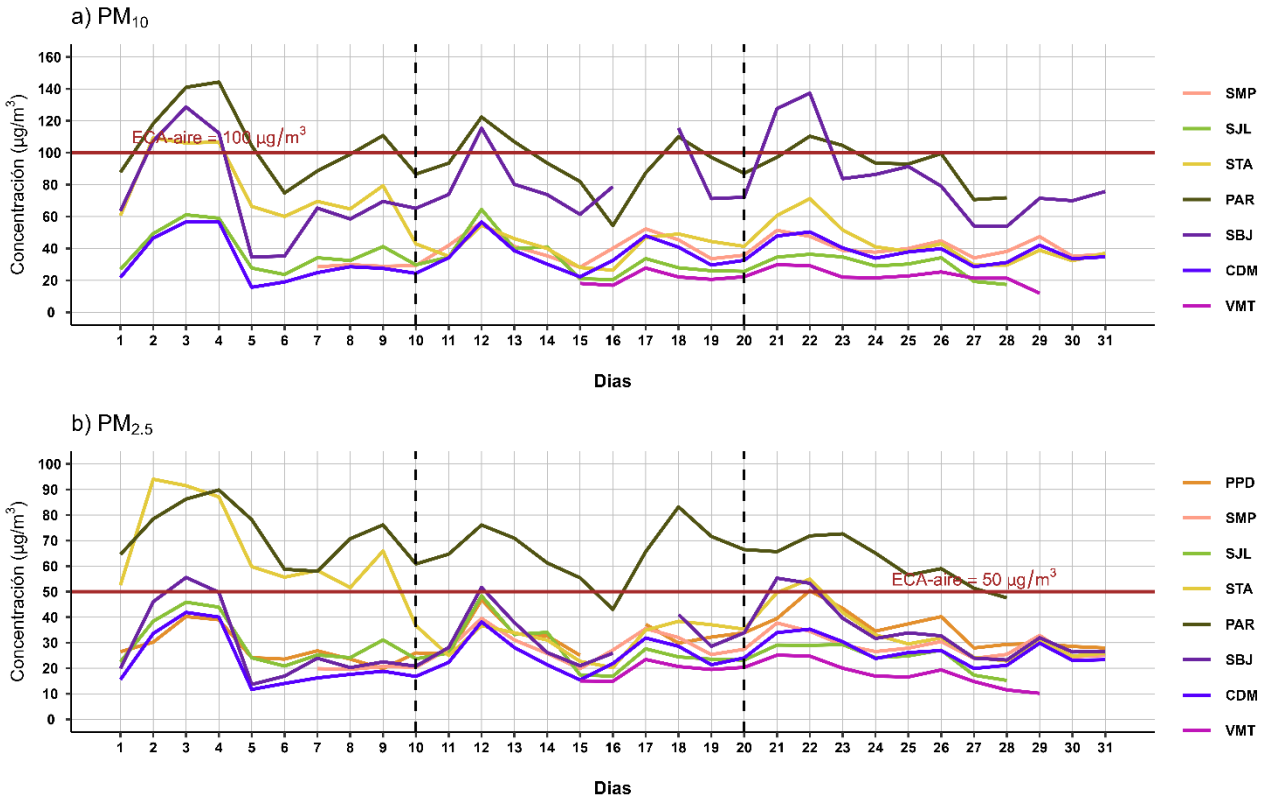
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se analizó la variabilidad diaria de las concentraciones del material particulado y gases. Los datos provinieron de las estaciones: Puente Piedra (PPD), Carabayllo (CRB), San Martin de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (SJL), 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 µm y las denominadas partículas gruesas que incluyen a las partículas con diámetro menor a 10 µm[18].

En el AMLC, la principal fuente de emisión de material particulado proviene 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 $PM_{2.5}$ (µg/m³) 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 Nº 10a, durante el periodo de monitoreo se observaron concentraciones de PM_{10} 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 144.3 µg/m³ en la estación PAR, ubicada en la zona este, el viernes 4 de julio (las concentraciones más altas se registraron a las 18:00 horas), y estaría asociado a un incremento en la temperatura y a la actividad vehicular alrededor de la carretera central (previo a un día no laborable), que estaría favoreciendo la resuspensión de polvo en esta zona. Por otro lado, en la zona norte, la concentración más alta se registró en la estación SMP el 12 de julio, alcanzando los 56.6 µg/m³; en la zona centro el valor máximo se registró en la estación SBJ el 22 de julio, alcanzando los 137.3 µg/m³; y finalmente, en la zona sur, estación VMT, se alcanzó el valor máximo de 29.8 µg/m³ el 21 de julio. A nivel decadiario, se destacó que, hacia la segunda decadiaria, se generó una reducción en las concentraciones registradas por las estaciones ubicadas en la zona este, especialmente en la estación STA, (46.2% menor), lo cual estaría asociado a una reducción en las temperaturas registradas en esta zona (ver Figura N° 02b). [19, 20, 21 , 22]

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, SBJ y PPD. El valor máximo de 94 µg/m³ se alcanzó el miércoles 2 de julio en la estación STA, ubicada en la zona este (presentándose las concentraciones más altas a las 10:00 horas), y estaría asociado a condiciones meteorológicas favorables para la acumulación de $PM_{2.5}$: niveles altos de humedad relativa y bajas velocidades de viento durante las primeras horas de la mañana, así como a la actividad vehicular en la zona este (durante días particulares). En la zona norte, se registró el valor más alto el 22 de julio, alcanzando los 50.4 µg/m³ en la estación PPD. En la zona centro, se registró el valor más alto el 3 de julio, alcanzando los 55.6 µg/m³ en la estación SBJ. Finalmente, en la zona sur, la mayor concentración fue de 25.1 µg/m³, alcanzada el 21 de julio en la estación VMT. A nivel decadiario, de manera general se destaca una tendencia a la reducción en las concentraciones de la zona este, relacionada a un incremento en las velocidades del viento. Asimismo, se destaca una reducción del 51.7% en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la estación STA hacia la segunda decadiaria, asociada a la reducción en la humedad relativa (especialmente en la primera mitad), así como al incremento de la altura de la CLA (especialmente en la segunda mitad), lo cual favoreció la dispersión de contaminantes. (ver Figura N° 02a, 02b y 02d) [19,20,21]

5.1.2. GASES (CO, O_3 y NO_2)

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 CO[23].

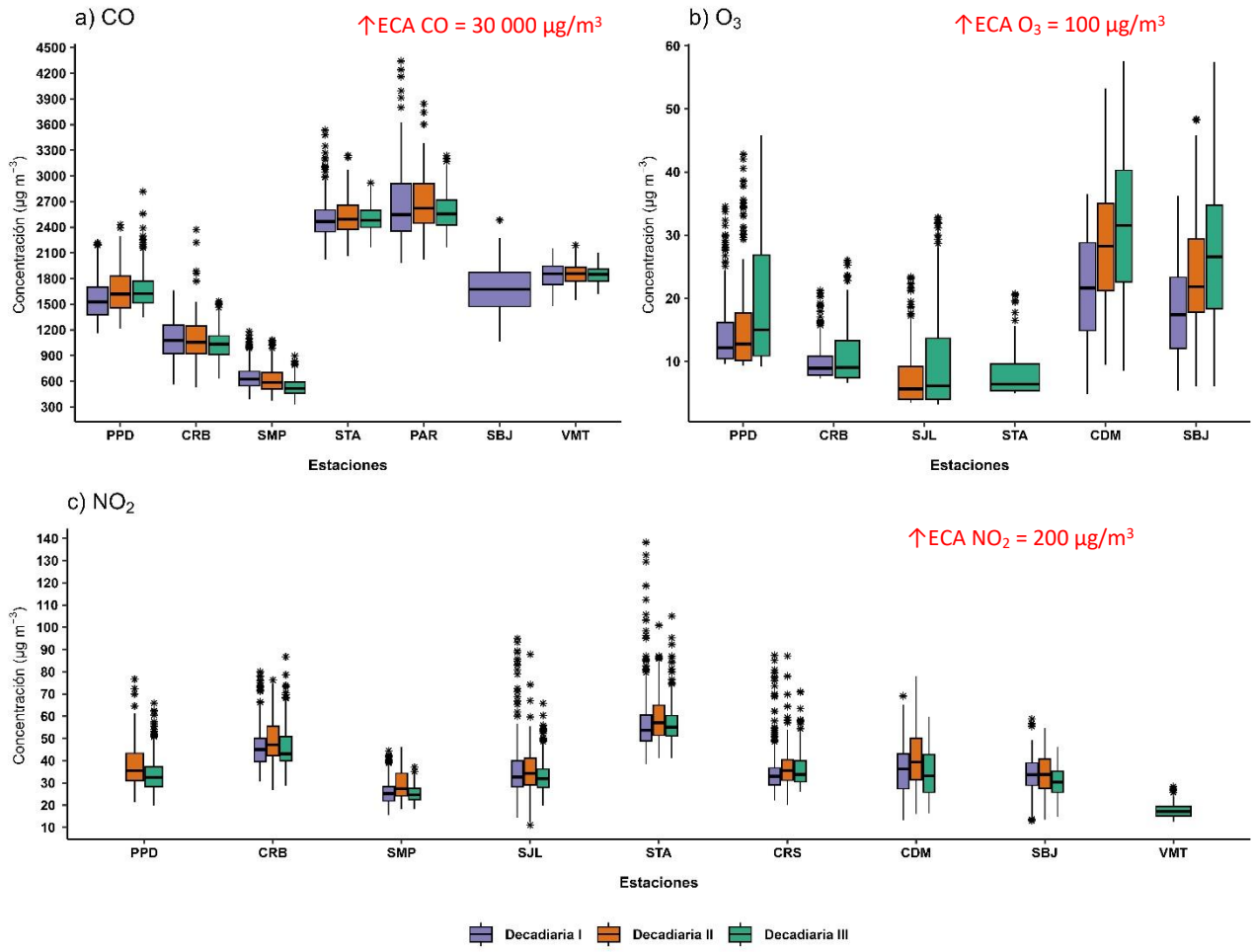
El O_3 desempeña un papel crucial en la química atmosférica y a nivel superficial, se considera uno de los principales contaminantes antropogénicos. Este gas secundario se forma a través de la oxidación fotoquímica de COV en presencia de óxidos de nitrógeno (NO + NO_2), conocidos como precursores. Por lo tanto, suele existir una relación inversa entre las concentraciones de NO_2 y O_3[24], siendo que, el pico del ciclo

[20] 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
[21] 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
[22] Temporal variation of the $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio and its association with meteorological factors in a South American megacity: Metropolitan Area of Lima-Callao, Peru. Obtenido de: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38613696/
[23] 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
[24] 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

del O_3 aparece aproximadamente 6 horas después del pico del NO y 5 horas después del NO_2[25]. Por otro lado, se observa una estrecha relación entre los niveles elevados de O_3 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 temperatura[26].

El NO_2 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 amplio[27]. El NO_2 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 NO_2, debido a que fomentan las reacciones que dan origen al O_3, favoreciendo con ello el consumo de NO_2 como su precursor[26].

Figura N°12. Variación de las concentraciones del CO, O_3 y NO_2 (µg/m³) por decadiaria en el AMLC.



En la Figura Nº 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 primera decadiaria en la zona este, estación PAR, con una máxima de 4342.4 µg/m³ (viernes 4 de julio a las 22:00 horas), lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona este (previo a un día no laborable) (Ver Figura N° 06). Por otro lado, la concentración más alta en la zona norte se presentó en la estación PPD, alcanzando los 2817.5 µg/m³ el 23 de julio a las 16 horas; en la zona centro, la concentración más alta se presentó en la estación SBJ, alcanzando los 2485.1 µg/m³ el día 4 de julio a las 9 horas; mientras que en la estación VMT, ubicada en la

[25] Análisis de la Relación entre O_3, NO y NO_2 en Tianjin, China. Obtenido de: https://aaqr.org/articles/aaqr-10-07-oa-0055
[26] Análisis temporal de los contaminantes atmosféricos (NO_2, O_3 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*
[27] United States Environmental Protection Agency. (25 de julio del 2023). *Basic Information about NO_2*. https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2

zona sur, la concentración más alta fue de 2187.3 µg/m³ el día 12 de julio a las 9 horas. Cabe mencionar que, a nivel decadiario, destaca una reducción del 14.3% hacia la tercera decadiaria en la estación SMP, la cual estaría asociada a una disminución en los valores de humedad relativa (especialmente durante la primera mitad de la decadiaria), condición favorable para la dispersión del contaminante (Ver Figura N° 02a).

En relación con el O_3, la Figura Nº 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, alcanzando 57.6 µg/m³ el domingo 29 de julio, asociado a un descenso en la altura de la CLA, un incremento en la humedad relativa y una reducción en las velocidades de viento, condiciones que permitieron la acumulación del contaminante. Por otro lado, la concentración más alta en la zona norte se presentó en la estación PPD, alcanzando los 45.8 µg/m³ el 29 de julio; mientras que, en la zona este, la concentración más alta se presentó en la estación SJL, alcanzando los 32.8 µg/m³. En cuanto al comportamiento decadiario, se destaca un incremento del 35.2% en las concentraciones registradas por la estación SBJ, de la segunda a la tercera decadiaria, este incremento se da especialmente en la segunda mitad de la tercera decadiaria y estaría asociado a una reducción en las velocidades de viento, en la altura de la CLA y en las concentraciones de NO_2, así como un incremento en la temperatura. (Ver Figura N° 02b, 02c y 02d)

En la Figura N° 12c, se observa que las concentraciones horarias de NO_2 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 STA (el viernes 4 de julio a las 16:00 horas), alcanzando 138.2 µg/m³, 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 baja 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 CRB, alcanzando los 86.8 µg/m³ el 21 de julio a las 14 horas; en la zona centro, la concentración más alta se presentó en CDM, alcanzando los 78 µg/m³ el 11 de julio a las 21 horas; mientras que, en la estación VMT, ubicada en la zona sur, la concentración más alta fue de 28.3 µg/m³ el 26 de julio a las 15 horas. Asimismo, en el análisis decadiario, se destaca un incremento del 14.9% en la estación CDM hacia la segunda decadiaria, especialmente a mediados de esta decadiaria, y estaría asociado a una reducción de las velocidades de viento y una reducción en los valores de temperatura durante estos días; asimismo, se presentó una reducción del 15.1% hacia la tercera decadiaria, lo cual estaría relacionado a un incremento en la temperatura que habría favorecido el consumo de NO_2 para la formación de O_3 (se aprecia un incremento en los niveles de O3), así como también, al incremento en la velocidad del viento, el cual favorece la dispersión del contaminante (ver Figura Nº 02b y 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[28] [29].

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

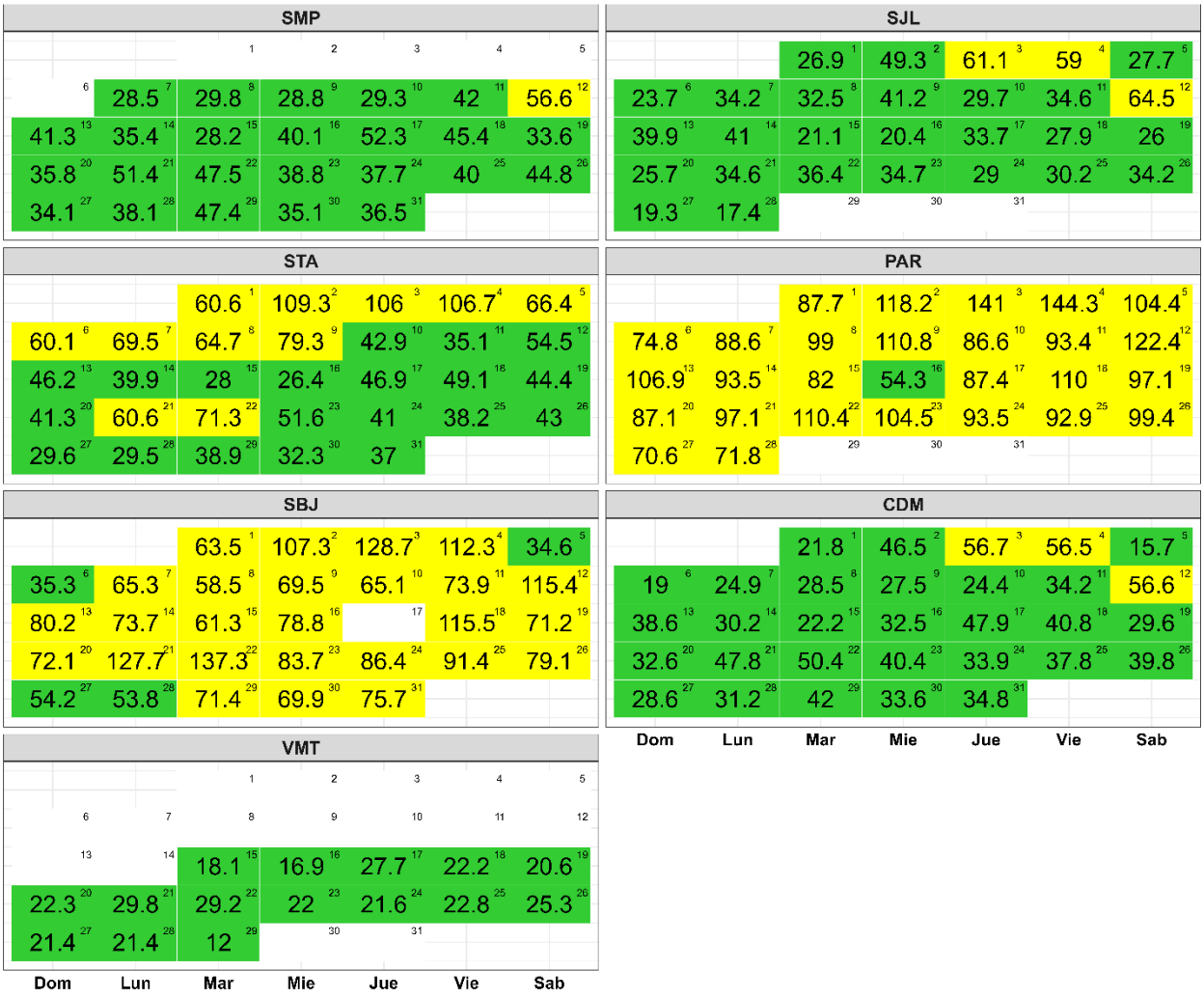
La Figura N° 13 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM_{10} asociadas a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observó que, en la zona centro, la estación SBJ presentó 26 días con calidad del aire “Moderada”, 4 días con calidad del aire “Buena”; mientras que, la estación CDM presentó 3 días con calidad del aire “Moderada” y 28 días con calidad del aire “Buena”. En la zona este, las estaciones PAR, STA y SJL presentaron 27, 11 y 3 días con calidad del aire “Moderada”, así como, 1, 20 y 25 días con calidad del aire “Buena”, respectivamente. En la zona norte, la estación SMP presentó 1 día con calidad del aire “Moderada” y 24 días con calidad del aire “Buena”. Finalmente, en la zona sur, la estación VMT presentó 15 días con calidad del aire “Buena”.

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

La Figura N° 14 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el $PM_{2.5}$ asociadas a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observó que, en la zona centro, la estación SBJ presentó 1 día con calidad del aire “Insalubre”, 8 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 21 días con calidad del aire “Moderada”; mientras que, la estación CDM presentó 3 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 28 días con calidad del aire “Moderada”. Por otro lado, en la zona este, la estación PAR presentó 25 días con calidad del aire “Insalubre” y 3 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles”; la estación STA presentó 7 días con calidad del aire “Insalubre”, 9 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 15 días con calidad del aire “Moderada”; asimismo, la estación SJL presentó 4 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 24 días con calidad del aire “Moderada”. En la zona norte, las estaciones PPD y SMP presentaron 9 y 3 días con calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles” y 21 y 22 días con calidad del aire “Moderada”, respectivamente. Finalmente, en la zona sur, la estación VMT presentó 15 días con calidad del aire “Moderada”.

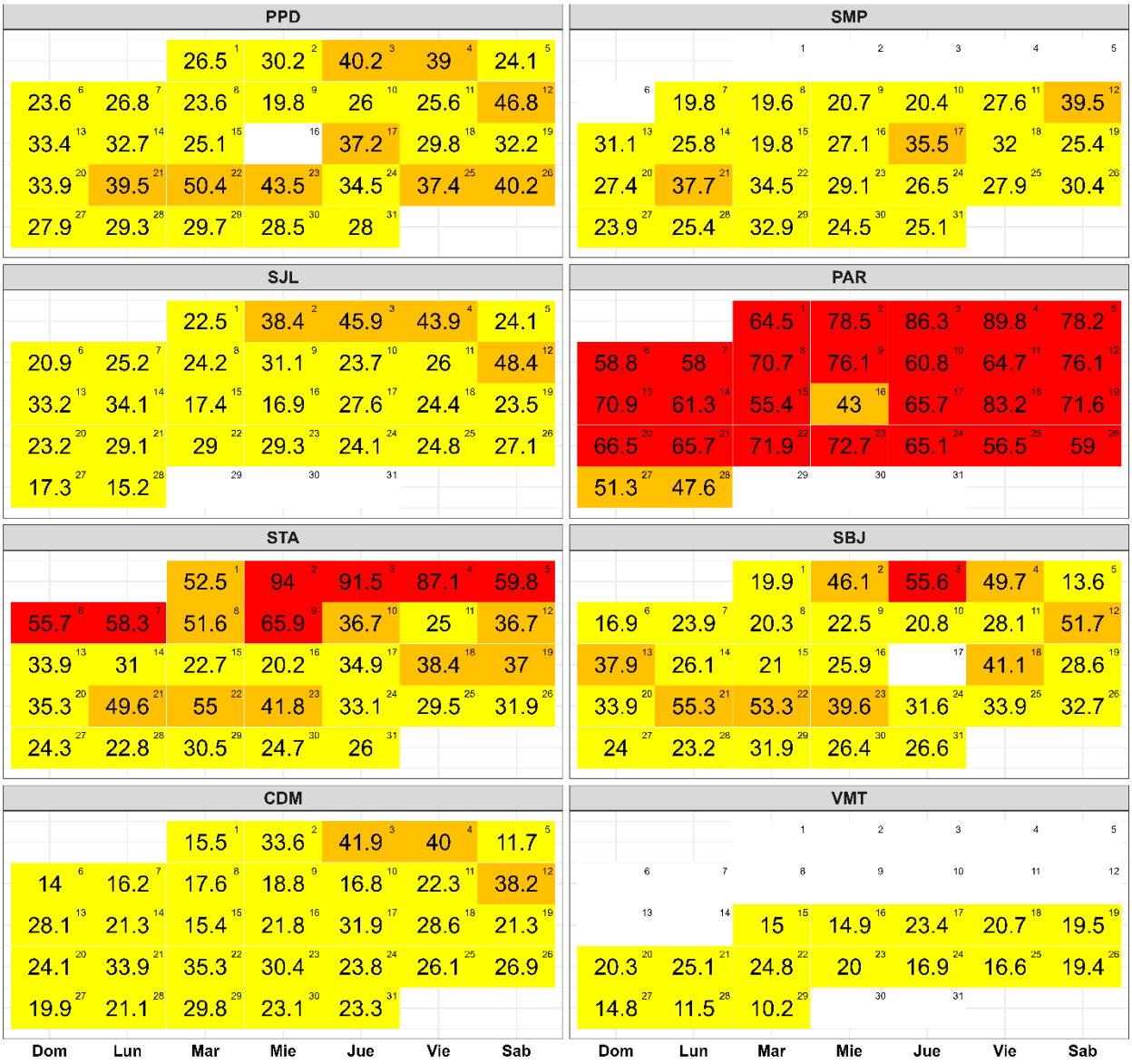
[28] Air Quality Index. A guide to Air Quality and Your Health. Obtenido de: https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf
[29] Final Updates to the Air Quality Index (AQI) for Particulate Matter. Obtenido de: https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-airquality-index-fact-sheet.pdf

Figura N° 13. Índice de la Calidad del Aire para PM_{10}



Concentración PM_{10} ($\mu g/m^3$)		Estado	Índice de Calidad del Aire - EPA	
0	54	Buena	0	50
55	154	Moderada	51	100
155	254	Insalubre para grupos sensibles	101	150
255	354	Insalubre	151	200

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



Concentración $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		Estado	Índice de Calidad del Aire - EPA	
0	9	Buena	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 julio. En comparación con los registros del mes anterior, se observó una tendencia a la disminución de la humedad relativa y un incremento en la velocidad del viento lo que pudo haber contribuido a la ligera reducción de las concentraciones de $PM_{2.5}$.
- Durante el mes de julio, los mayores tiempos de recorrido, indicativos de una mayor congestión vehicular, se registraron principalmente 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 6:00 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 de los valores de densidad, en las zonas oeste, norte y centro. Asimismo, durante la primera y segunda decadiaria los mayores valores se observaron en la zona este, mientras que, durante la tercera decadiaria, los mayores valores se observaron en la zona norte.
- 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 PAR la concentración más alta, 144.3 µg/m³ (el viernes 4 de julio). En el caso del $PM_{2.5}$, se superó el ECA – aire en cuatro estaciones de monitoreo (PAR, STA, SBJ y PPD), alcanzándose en la estación STA un valor máximo de 94 µg/m³ también el 2 de julio. 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 89% de los días monitoreados y el resto de los días una calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles”.

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

De acuerdo con el pronóstico climático[30] para el mes de agosto del 2025, se espera que en el AMLC las temperaturas máximas y mínimas se presentaran dentro de sus rangos normales. Considerando el comportamiento estacional de estas variables meteorológicas, se esperaría que las concentraciones de $PM_{2.5}$, se presenten similares a lo registrado en el mes de julio.

[30] Documento: Boletín climático nacional – julio 2025 SENAMHI. Obtenido de: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-145.pdf

Para más información sobre el presente informe, contactar con:

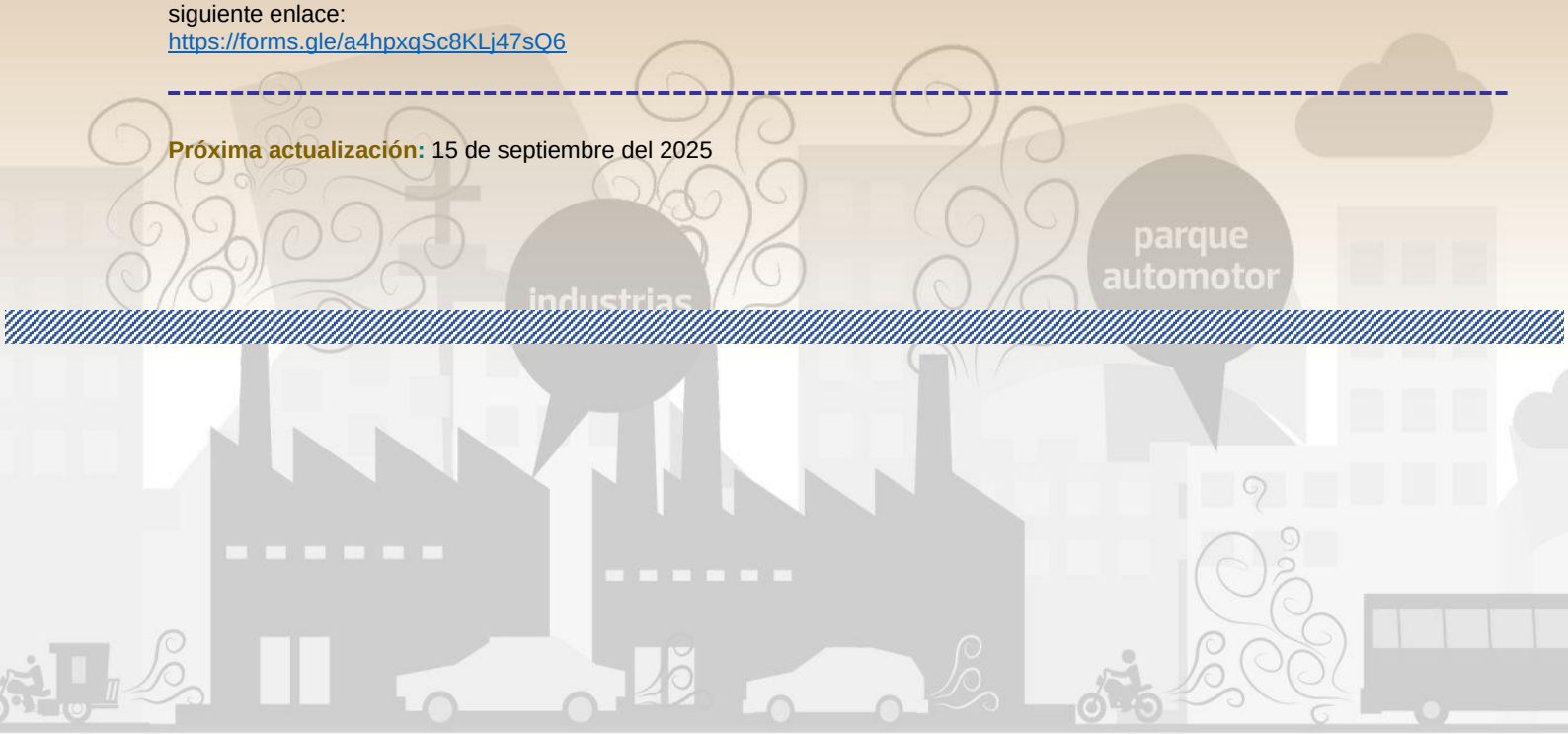
Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio (eamedina@senamhi.gob.pe)
Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico

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 septiembre del 2025