

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

Área metropolitana de Lima y Callao

**Mayo 2024**



## VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – MAYO 2024

### 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 mayo<sup>1,2</sup> y las salidas resultantes de la aplicación del modelo Weather Research and Forecasting (WRF)<sup>3</sup> 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<sup>4</sup>. 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<sup>5</sup>.

*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.*

<sup>1</sup> Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – mayo 2024. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-111.pdf>

<sup>2</sup> Boletín climatológico de Lima – mayo 2024. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02232SENA-119.pdf>

<sup>3</sup> 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.).

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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.).



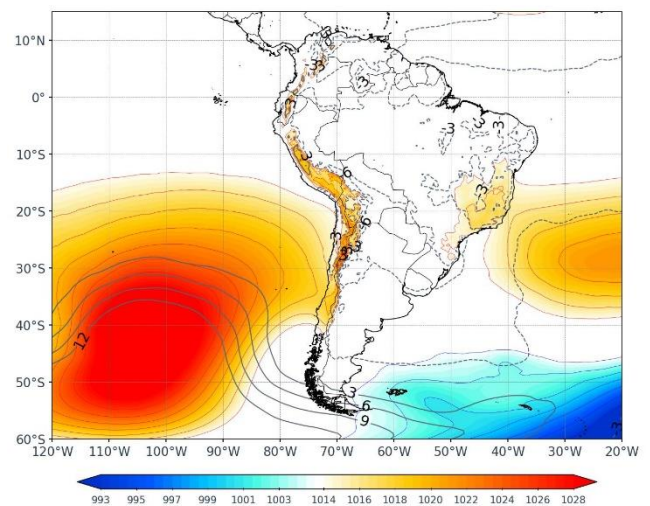
## 1. ANÁLISIS SINÓPTICO Y OCEÁNICO

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 que, para el mes de mayo 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 mayo)

En la primera decadiaria, se tiene que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó un desplazamiento hacia el suroeste respecto a su posición climática con núcleo ubicado alrededor de los 45°S y 105°W con valores de presión que superaron los 1028 hPa sobre una gran zona reflejado con valores de anomalías altas, muy intenso comparado con lo climático (Figura N°01a)<sup>1</sup>. Los vientos incidentes sobre la costa del AMLC a nivel de superficie presentaron una dirección predominante del sur, paralelos a la línea costera y con velocidades entre 1 y 4 m/s. Por otro lado, las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM) estuvieron cercanos a los -0.5°C frente a las costas de AMLC, lo cual repercutió en las anomalías de temperaturas máximas y mínimas del aire, encontrándose en +0.6°C y -0.5°C, respectivamente<sup>2</sup>.

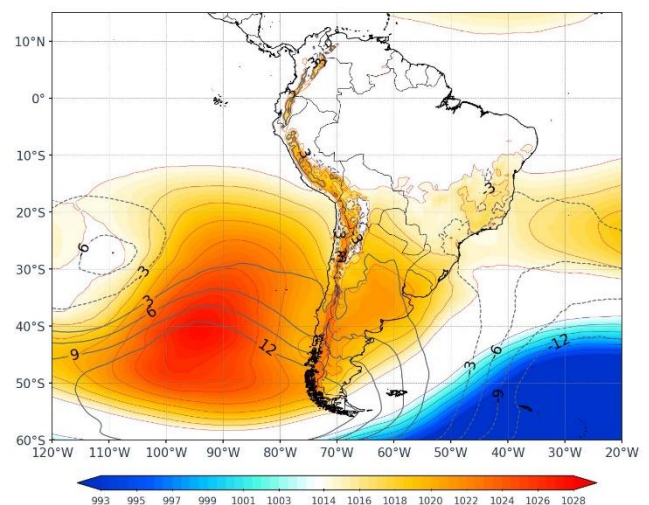
Figura N°01a. Variación del APS en la decadiaria 1.



### 1.2. SEGUNDA DECADIARIA (11 al 20 de mayo)

Para la segunda decadiaria, el APS presentó una configuración meridional desplazada hacia el este con una intensidad superior a los 1028 hPa y núcleo sobre los 40° S y 95° W (Figura N° 01b)<sup>1</sup>. Los vientos incidentes sobre la costa del AMLC a nivel de superficie presentaron una dirección predominante del sur y velocidades entre 4 m/s y 6 m/s. Por otro lado, respecto a las ATSM estas se encontraron alrededor de los 0.1°C frente a las costas del AMLC<sup>6</sup>, lo cual repercutió en el incremento de temperaturas máximas y mínimas del aire por debajo de su normal en -0.2°C y -1.2°C respectivamente<sup>2</sup>.

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

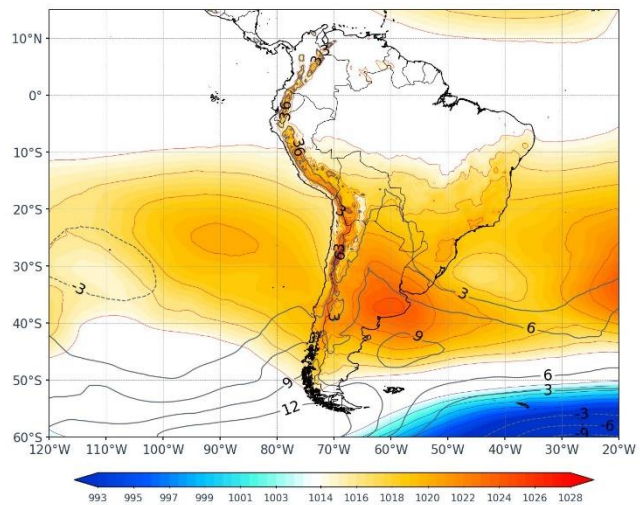


<sup>6</sup> Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas en el litoral peruano. Obtenido de: [https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=1017803020000000000000](https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=1017803020000000000000)

### 1.3. TERCERA DECADIARIA (21 al 31 de mayo)

Finalmente, en la tercera decadiaria, el APS predominó desplazado hacia el noreste manteniendo su intensidad climática con valores alrededor de los 1020 hPa sobre los 25°S - 88°W (Figura N° 01c)<sup>1</sup>. Se presentaron vientos con una dirección predominante del sur, paralelos a la costa y velocidades entre 2 y 5 m/s. Por otro lado, la ATSM fue de -0.3°C frente a las costas de AMLC, lo cual sumado a días despejados durante esta decadiaria repercutió en las temperaturas máximas y mínimas del aire, ubicándose por debajo de su normal en -2.3°C y -2.0°C, respectivamente<sup>2</sup>.

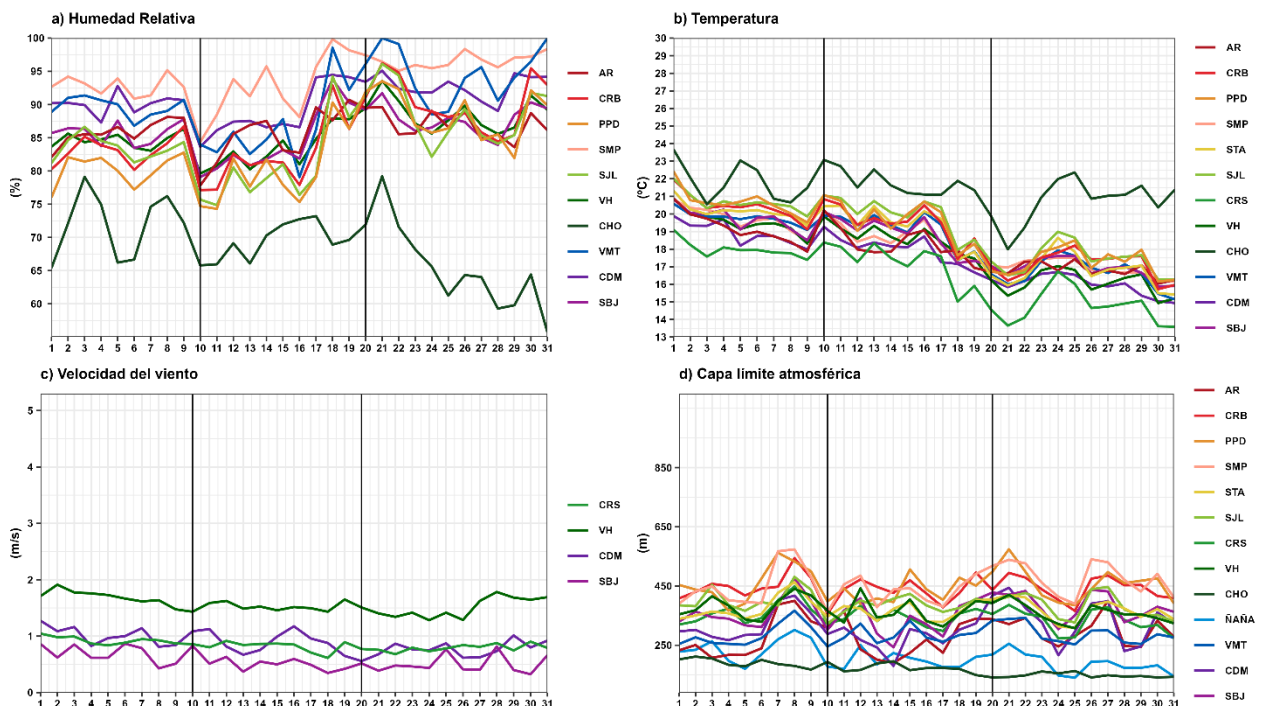
Figura N°01c. Variación del APS en la decadiaria 3.



## 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)<sup>7</sup> para lo cual se usó datos a 1 km del modelo operativo WRF.

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



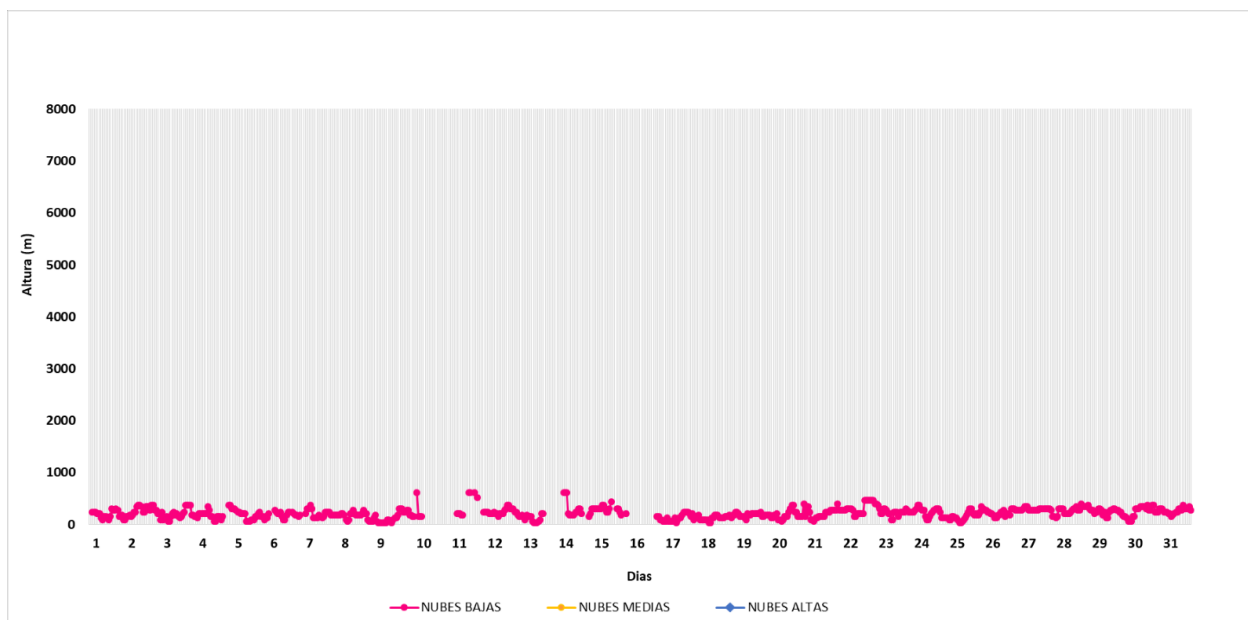
<sup>7</sup> CLA: parte de la tropósfera influenciada directamente por la superficie terrestre, donde se concentra la mayor cantidad de sustancias contaminantes.

Con respecto a la humedad relativa (Figura N° 02a), durante la primera decadiaria se presentaron valores entre 65.4 a 95.1%, para la segunda decadiaria entre 65.9 a 99.8% y para la tercera decadiaria entre 55.7 a 100%, siendo las estaciones SMP y VMT aquellas que mantuvieron los promedios de humedad más altos, de 94.2 y 90.5%, respectivamente. En relación con la temperatura (Figura N° 02b) durante la primera decadiaria se presentó valores entre 17.4 a 23.6°C, para la segunda decadiaria entre 14.5 a 22.7 °C, y en la tercera decadiaria entre 13.5 a 22.3 °C, siendo la estación de CHO la que alcanzó el valor promedio más alto de temperatura de 21.3°C (cabe mencionar que, esta estación al encontrarse ubicada en el extremo este y en un nivel altitudinal mayor, presenta condiciones meteorológicas diferentes a los presentados por las estaciones ubicadas dentro del AMLC, especialmente con las variables de temperatura y humedad relativa). En cuanto a la velocidad del viento (Figura N° 02c), fue muy variable, lo que se refleja en sus valores, los mismos que oscilaron entre 0.5 a 1.9 m/s durante todo el mes, siendo la estación VH la que alcanzó los valores promedio más altos, con un promedio mensual de 1.5 m/s. En el caso de la altura de la CLA (Figura N° 02d), las estaciones CRB, PPD y SMP alcanzaron los valores promedio más altos, con una altura promedio de 442, 450 y 454 m respectivamente, mientras que, en las estaciones CHO y ÑAÑA se presentaron los valores promedio más bajos, con 168 y 206 m, respectivamente.

## 2.1. ALTURA DE LA BASE DE LA NUBE

De acuerdo con el comportamiento horario de la Altura de la Base de la Nube (ABN) registrada por el ceilómetro<sup>8</sup> de la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (Figura N° 03), se observó que, durante el mes de mayo, las nubes bajas (ABN menor a 2000 m) tuvieron mayor presencia, superando el 88.7%. Con respecto a la presencia de nubes medias (ABN mayor a 2000 m y menor a 6000 m) durante el mes de mayo, no se presentaron nubes dentro de esta capa. Respecto a las horas con condición de despejado estas fueron del 11.2%. En mayo predominaron las condiciones de nubes bajas, situación característica de otoño.

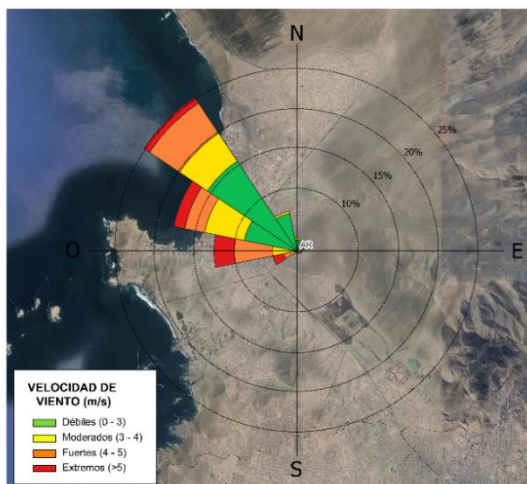
Figura N°03. Altura de base de la nube registrada en la estación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH).



<sup>8</sup> Instrumento que mide la altura de la base de la nube más cercana a superficie tomando a esta como referencia.

## 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, generalmente se grafican las direcciones de donde provienen, así como también la frecuencia y magnitud de la velocidad<sup>9</sup>.

Por ejemplo: La Figura N° 04 muestra la rosa de vientos de la estación Antonio Raimondi la cual presenta una dirección predominante (con una frecuencia de vientos del 25%) proveniente del noroeste (NO) y una intensidad máxima 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).

Es así como se observó, que en el horario diurno (Figura N° 05a), las estaciones de CDM y CRS presentaron vientos con una dirección predominante del suroeste (SO) y sur suroeste (SSO), respectivamente y con una intensidad máxima de débil. Las estaciones VH y SBJ presentaron vientos con una dirección predominante del oeste (O) y una intensidad máxima de fuerte y débil, respectivamente.

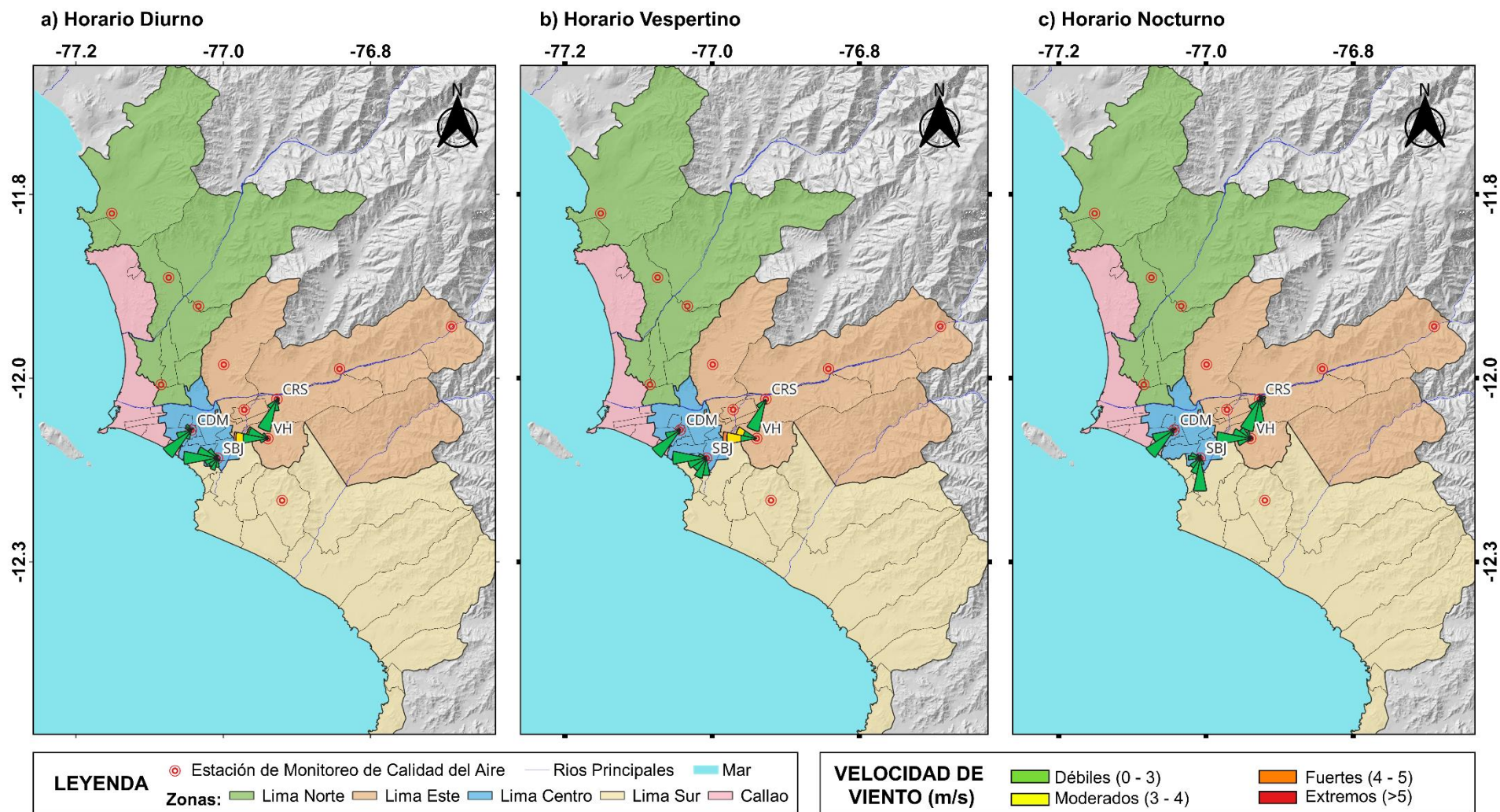
Para el horario vespertino (Figura N°05b), las estaciones CDM y CRS presentaron vientos con una dirección predominante del suroeste (SO) y con intensidad máxima de débil, mientras que, las estaciones VH y SBJ presentaron vientos con una dirección predominante del oeste (O) con una intensidad máxima de fuerte y débil, respectivamente.

Para el horario nocturno (Figura N° 05c), se observó que las estaciones CDM y CRS alcanzaron vientos con una dirección predominante del sur oeste (SO) y sur suroeste (SSO), respectivamente, y una intensidad máxima de débil. Por otro lado, la estación de VH presentó vientos con una dirección predominante del oeste (O) y una intensidad máxima de débil. Finalmente, la estación SBJ presentó vientos con una dirección predominante del sur (S) y una intensidad máxima de débil.

<sup>9</sup> 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](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<sup>10</sup>, asimismo, según el ranking del año 2023 de la compañía TOMTOM, en el AMLC el tiempo empleado para recorrer un tramo de 10 km es de 28 minutos<sup>11</sup>. 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<sup>12,13</sup>.

En relación con lo indicado, se ha desarrollado un algoritmo en Python que utiliza la técnica de web scraping<sup>14</sup> para extraer datos sobre el tiempo de recorrido en tramos de 2 km de las principales avenidas<sup>15</sup>, específicamente en el área de influencia de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de la REMCA del SENAMHI.

En la Figura N°06 se aprecia que los mayores valores promedio decadiario de tiempo de recorrido en tramos de 2 km, se registraron en los alrededores de las estaciones PPD, SMP y CDM, presentándose los valores más altos durante la tercera decadiaria (con 5.9, 5.7 y 5.6 minutos, respectivamente). En la primera decadiaria se observa que el máximo valor promedio en cuanto a tiempo de recorrido en tramos de 2 km se alcanzó en la estación PPD (5.7 minutos) y el menor valor promedio se alcanzó en la estación PAR (1.8 minutos). La segunda decadiaria del mes de mayo no fue considerada debido a que se estuvieron realizando trabajos de mantenimiento en el servidor. Sin embargo, ya para la tercera decadiaria, se alcanzó un ligero incremento respecto a la primera decadiaria (hasta en 4%) en las estaciones PPD, CRB, SMP, SJL, STA, CDM, SBJ y VMT, mientras que, en las estaciones CRS y PAR se aprecia una ligera reducción (hasta en 0.3%).

<sup>10</sup> 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>

<sup>11</sup> Ranking 2023 "TOMTOM TRAFFIC INDEX". Obtenido de: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>

<sup>12</sup> 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>

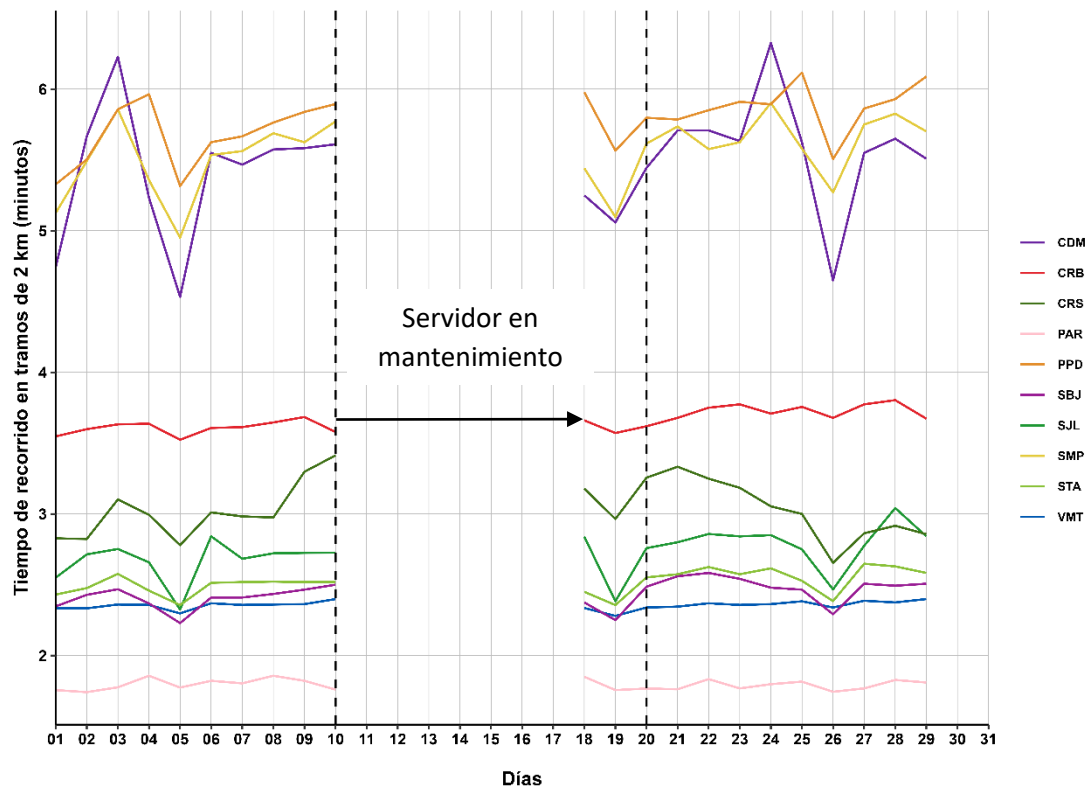
<sup>13</sup> Sjodin et al. (1998) mostraron aumentos de hasta 4, 3 y 2 veces en las emisiones de CO, HC y NOx, respectivamente, en condiciones de congestión (velocidad promedio de 13 millas por hora, mph; 1 mph = 1,61 km por hora) en comparación con condiciones no congestionadas. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243514/>

<sup>14</sup> 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, usualmente en forma de archivos HTML, sin necesidad de interactuar con una interfaz de programación de aplicaciones (API) o navegadores web. Esta técnica ha sido conocida por diversos términos a lo largo del tiempo, pero actualmente se prefiere el término "web scraping". Mitchell (2015). *Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web*. O'Reilly.

<sup>15</sup> Estudio: Extracción y Minería de Datos de Tráfico en Google Maps. Obtenido de: [https://www.irjnets.com/uploadedfiles/paper/volume3/issue\\_4\\_april\\_2021/8350/1628083343.pdf](https://www.irjnets.com/uploadedfiles/paper/volume3/issue_4_april_2021/8350/1628083343.pdf)



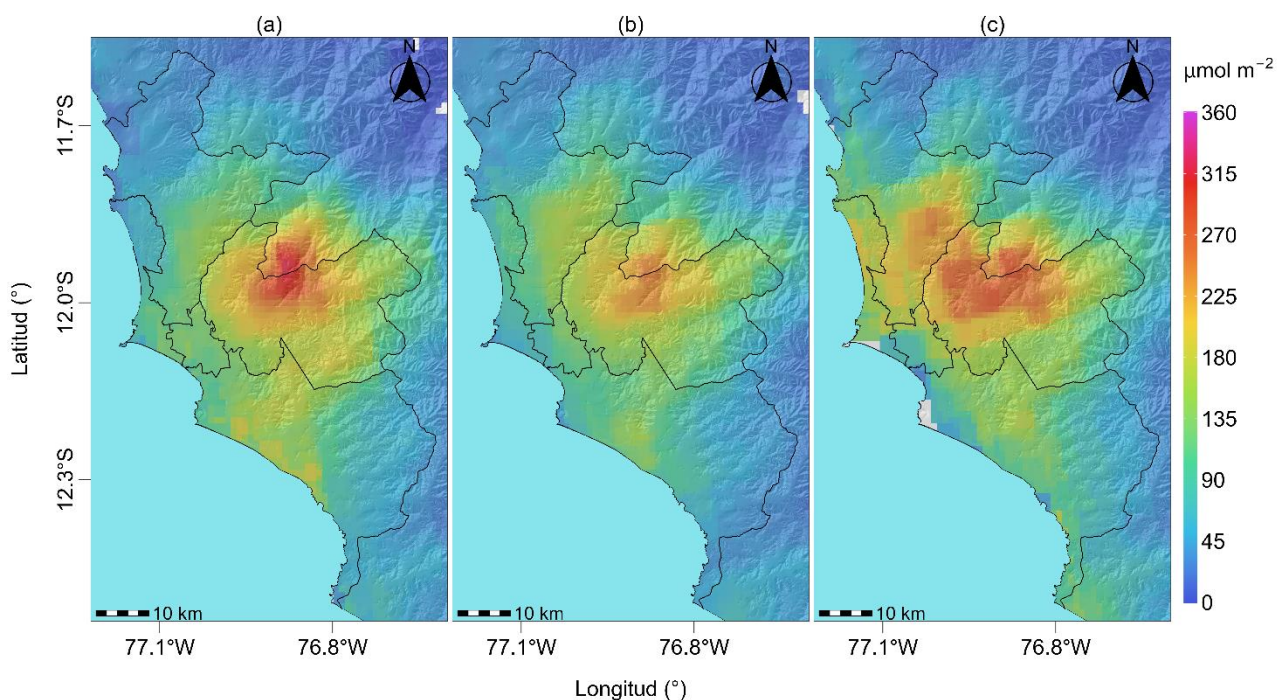
Figura N°06. Variación diaria del tiempo de recorrido en tramos de 2 km en el ámbito de la REMCA



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

La Figura N° 07, muestra la distribución espacial de la densidad de la columna vertical troposférica del NO<sub>2</sub> (μmol/m<sup>2</sup>), obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 5 km x 3.5 km durante el mes de mayo. Es así como, la Figura N° 07a, muestra la distribución espacial promedio de NO<sub>2</sub> en la primera decadiaria (1 a 10 de mayo), la Figura N° 07b, en la segunda decadiaria (11 al 20 de mayo) y la Figura N° 07c en la tercera decadiaria (21 al 31 de mayo).

Figura N° 07. Distribución espacial de la columna del NO<sub>2</sub> (μmol/m<sup>2</sup>) en la tropósfera del AMLC.



De manera general, la mayor densidad del NO<sub>2</sub> en la columna vertical troposférica se observó en las zonas este y norte, mientras que la menor densidad se observó en la zona oeste. Durante la primera decadiaria, los mayores valores fueron de 314.5 μmol/m<sup>2</sup> en la zona este y de 193.1 μmol/m<sup>2</sup> en la zona sur. En la segunda decadiaria, se presentó una reducción de la densidad del NO<sub>2</sub> en la columna vertical troposférica en casi todas las zonas, siendo mayor en la zona este (20.1% menor que la primera decadiaria); los valores máximos fueron de 251.3 μmol/m<sup>2</sup> en la zona este y 175 μmol/m<sup>2</sup> en la zona norte. En la tercera decadiaria, se presentó un incremento de la densidad del NO<sub>2</sub> en la columna vertical troposférica en todas las zonas, siendo mayor en la zona oeste y norte (74.5% y 42.6% mayor que la segunda decadiaria, respectivamente); los valores máximos fueron de 286.4 μmol/m<sup>2</sup> en la zona este y 250 μmol/m<sup>2</sup> en la zona norte.

Cabe precisar, que el origen del NO<sub>2</sub> está vinculado a la oxidación del nitrógeno atmosférico por combustión, principalmente de la actividad vehicular<sup>16,17</sup>. Es así como los tiempos de recorrido (congestión vehicular) están directamente relacionados a la presencia de NO<sub>2</sub> en la atmósfera, sin embargo, las condiciones meteorológicas ejercen una influencia tal, que pueden favorecer su incremento, como un incremento de la humedad relativa y una reducción de la temperatura y de la altura de la CLA (ver Figura N° 07 y Figura N° 02a, 02b y 02d).

<sup>16</sup> Monitoreando el Dióxido de Nitrógeno desde el Espacio. Obtenido de: [https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Inside\\_Look\\_AQ\\_Spanish.pdf](https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Inside_Look_AQ_Spanish.pdf)

<sup>17</sup> 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>

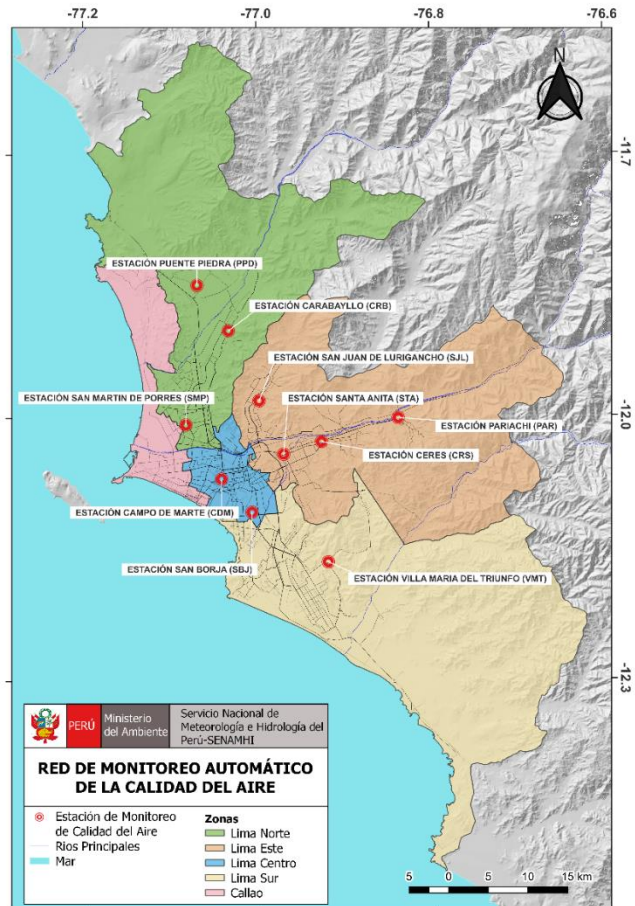
## 5. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

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<sub>10</sub> (Material Particulado con diámetro menor a 10 micras), PM<sub>2,5</sub> (Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras), NO<sub>2</sub> (Dióxido de Nitrógeno), O<sub>3</sub> (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° 08.

**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 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 N°08. 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 (S JL), 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  $10 \mu m$ <sup>18</sup>.

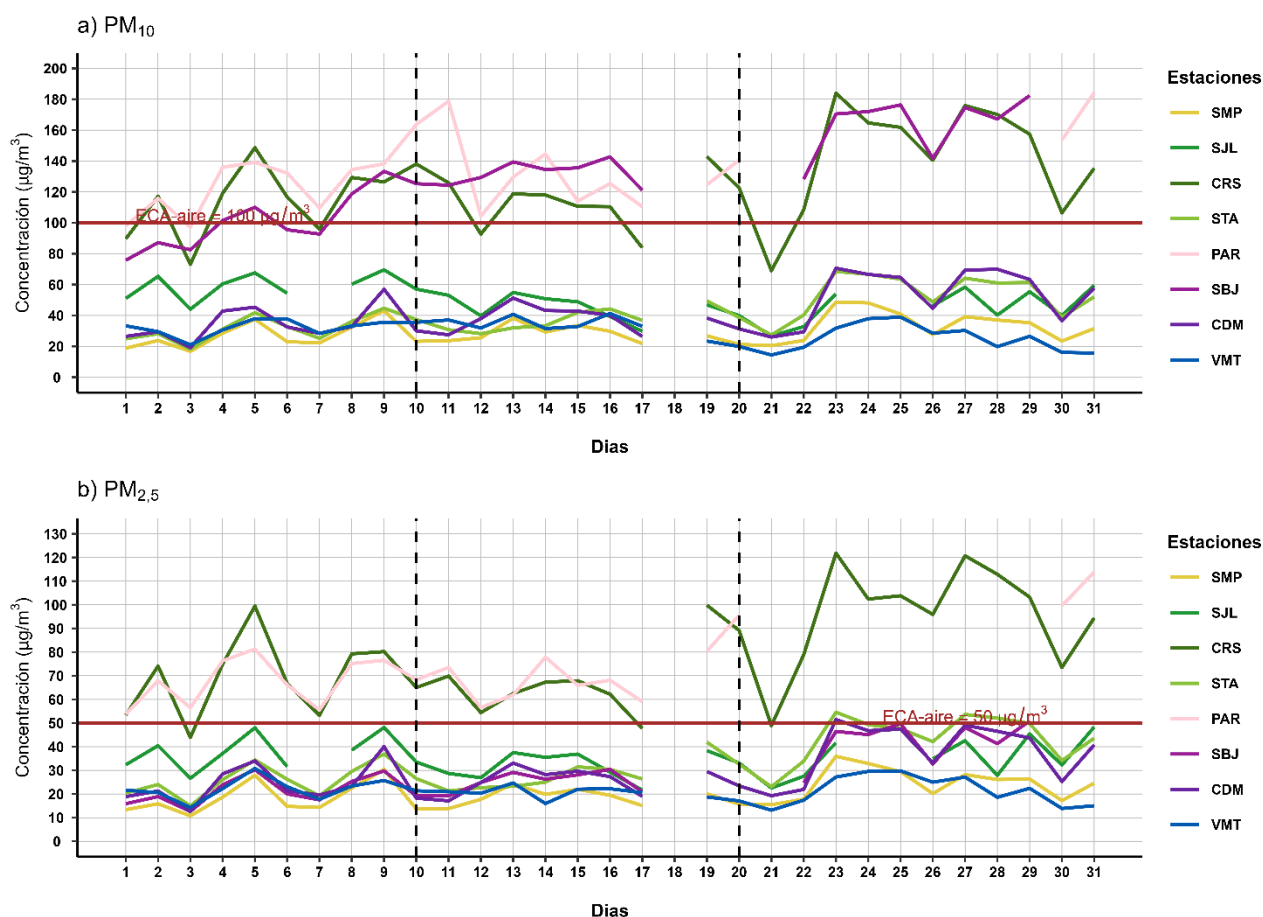
En el AMLC, la principal fuente de material particulado está relacionada a las emisiones provenientes del parque automotor; sin embargo, existen otras fuentes, como las puntuales (industria del cemento, harina de pescado o la refinación de cobre y zinc) o las de área (entre las que se encuentran las pollerías)<sup>10</sup>. 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  $PM_{10}$ <sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> 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>

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

Figura N°09. Variación diaria del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en el AMLC.



En la Figura N° 09a, se observa que, tres estaciones registraron concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> superiores al ECA-aire de 100 µg/m<sup>3</sup> (como promedio diario), las estaciones PAR, CRS y SBJ, esto durante la mayor parte del periodo de monitoreo, presentando el valor máximo de 184.4 µg/m<sup>3</sup> en la estación PAR el viernes 31 de mayo (las concentraciones más altas se registraron entre las 9 y 11 horas), lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona este (durante días particulares) y el levantamiento de polvo por obras de mantenimiento, así como, una reducción de la altura de la CLA. Por otro lado, en promedio se registró un incremento de las concentraciones del PM<sub>10</sub> hacia la segunda decadiaria, causado por una reducción de la altura de la CLA (Ver Figura N° 02d); hacia la tercera decadiaria, se continuó observando un incremento en las concentraciones, de manera particular en la estación CDM, principalmente favorecido por una reducción en la velocidad del viento que habría permitido la acumulación del contaminante (ver Figura N° 02c).

En la Figura N° 09b, se evidencia que respecto a PM<sub>2,5</sub>, la mayoría de las estaciones registraron concentraciones diarias de PM<sub>2,5</sub> superiores al ECA-aire de 50 µg/m<sup>3</sup> (como promedio diario), durante al menos un día del periodo de monitoreo, exceptuando las estaciones SJL, SMP y VMT. El valor máximo de 121.9 µg/m<sup>3</sup> fue alcanzado en la estación CRS durante la tercera decadiaria, el jueves 23 de mayo (las concentraciones más altas se registraron entre las 8 y 10 horas), lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona este, y una reducción de la temperatura y la velocidad del viento (en horas de mayor concentración). Se destaca que, en general, las concentraciones tuvieron una tendencia al incremento hacia la segunda decadiaria, el cual tuvo una tendencia a mantenerse hacia la tercera decadiaria, lo cual estaría asociado a un incremento en promedio de la humedad relativa (ver Figura N° 02a) <sup>19</sup>.

### 5.1.2. GASES (CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>)

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<sup>20</sup>.

El O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>), conocidos como precursores. Por lo tanto, suele existir una relación inversa entre las concentraciones de NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub><sup>21</sup>, siendo que, el pico del ciclo del O<sub>3</sub> aparece aproximadamente 6 horas después del pico del NO y 5 horas después del NO<sub>2</sub><sup>22</sup>. Por otro lado, se observa una estrecha relación entre los niveles elevados de O<sub>3</sub> 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<sup>23</sup>.

El NO<sub>2</sub> está considerado dentro del grupo de gases altamente reactivos conocidos como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), siendo usado como un indicador de la presencia de este grupo más amplio<sup>24</sup>. El NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>, debido a que fomentan las reacciones que dan origen al O<sub>3</sub>, favoreciendo con ello el consumo de NO<sub>2</sub> como su precursor<sup>25</sup>.

<sup>20</sup> 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>

<sup>21</sup> 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](https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20_500.12542/237)

<sup>22</sup> Análisis de la Relación entre O<sub>3</sub>, NO y NO<sub>2</sub> en Tianjin, China. Obtenido de: <https://aaqr.org/articles/aaqr-10-07-0a-0055>

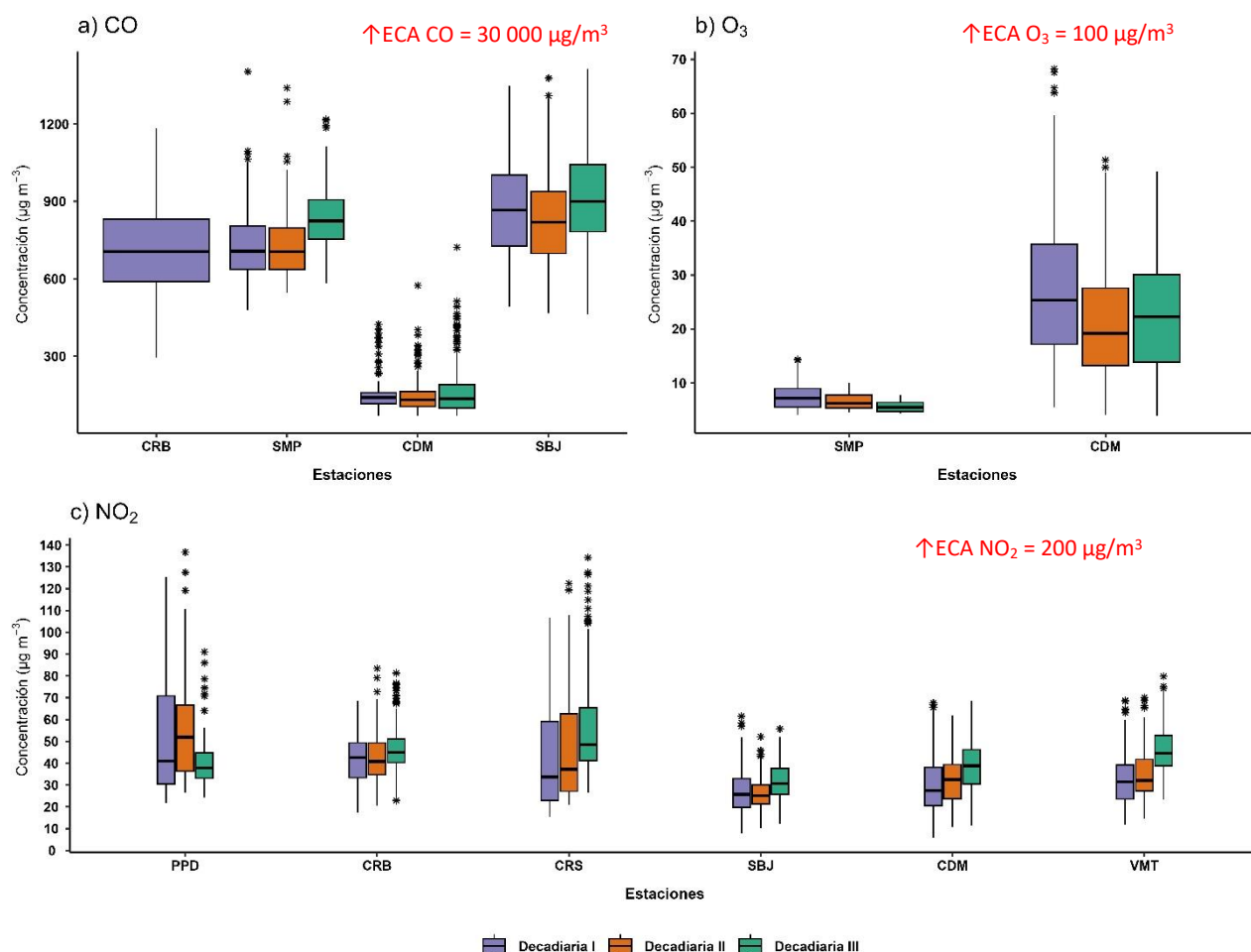
<sup>23</sup> Análisis temporal de los contaminantes atmosféricos (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> troposférico y CO) y su relación con la temperatura del aire y la radiación solar en Lima Metropolitana. Obtenido de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162023000100017](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162023000100017)

<sup>24</sup> United States Environmental Protection Agency. (25 de julio del 2023). *Basic Information about NO<sub>2</sub>*. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>

<sup>25</sup> Análisis temporal de los contaminantes atmosféricos (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 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](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162023000100017)



Figura N°10. Variación de las concentraciones del CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) por decadiaria en el AMLC.



En la Figura N° 10a, se observa que las concentraciones horarias de CO registradas en las estaciones se mantuvieron por debajo del ECA-aire de 30 000 µg/m<sup>3</sup> (como promedio horario) durante el periodo de monitoreo. Se destaca que, de manera general, tanto para la zona norte como para la zona centro, se observa un incremento de las concentraciones, causado por un ligero incremento de los tiempos de recorrido (ver Figura N° 06) así como un incremento en la humedad relativa y una ligera disminución en la temperatura (ver Figura N° 02a y Figura N° 02b)

Respecto a la Figura N° 10b, las concentraciones promedio móvil de cada 8 horas de O<sub>3</sub> registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire de 100 µg/m<sup>3</sup> (como máxima media de 8 horas) durante los días monitoreados. Se destaca que, en general, las concentraciones registradas en la estación CDM (de la zona centro) fueron mayores que las registradas en la estación SMP (de la zona norte), asimismo las mayores concentraciones se presentaron durante la primera decadiaria, lo cual estaría asociado a una mayor temperatura promedio presente durante esta decadiaria. En todos los casos, las mayores concentraciones se registraron en los horarios posteriores al periodo de máxima radiación solar<sup>21</sup> (comprendido entre las 11:00 horas y 15:00 horas).

En la Figura N° 10c, se observa que las concentraciones horarias de NO<sub>2</sub> registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire de 200 µg/m<sup>3</sup> (como promedio horario) durante el período de monitoreo. Se destaca que, de manera general, las concentraciones tuvieron una tendencia al incremento, lo cual también se ve reflejado en los mapas de distribución espacial de la columna de NO<sub>2</sub> en la tropósfera (ver Figura N° 07), y se encontraría asociado al incremento de la humedad relativa y a la reducción de la temperatura. La mayor concentración se reportó en la estación PPD durante la segunda decadiaria, alcanzando el valor de 136.7 µg/m<sup>3</sup> el lunes 13 de mayo a las 18:00 horas (las concentraciones más altas se registraron entre las 16 y 20 horas), lo cual estaría asociado a la actividad vehicular en la zona norte (durante días particulares).

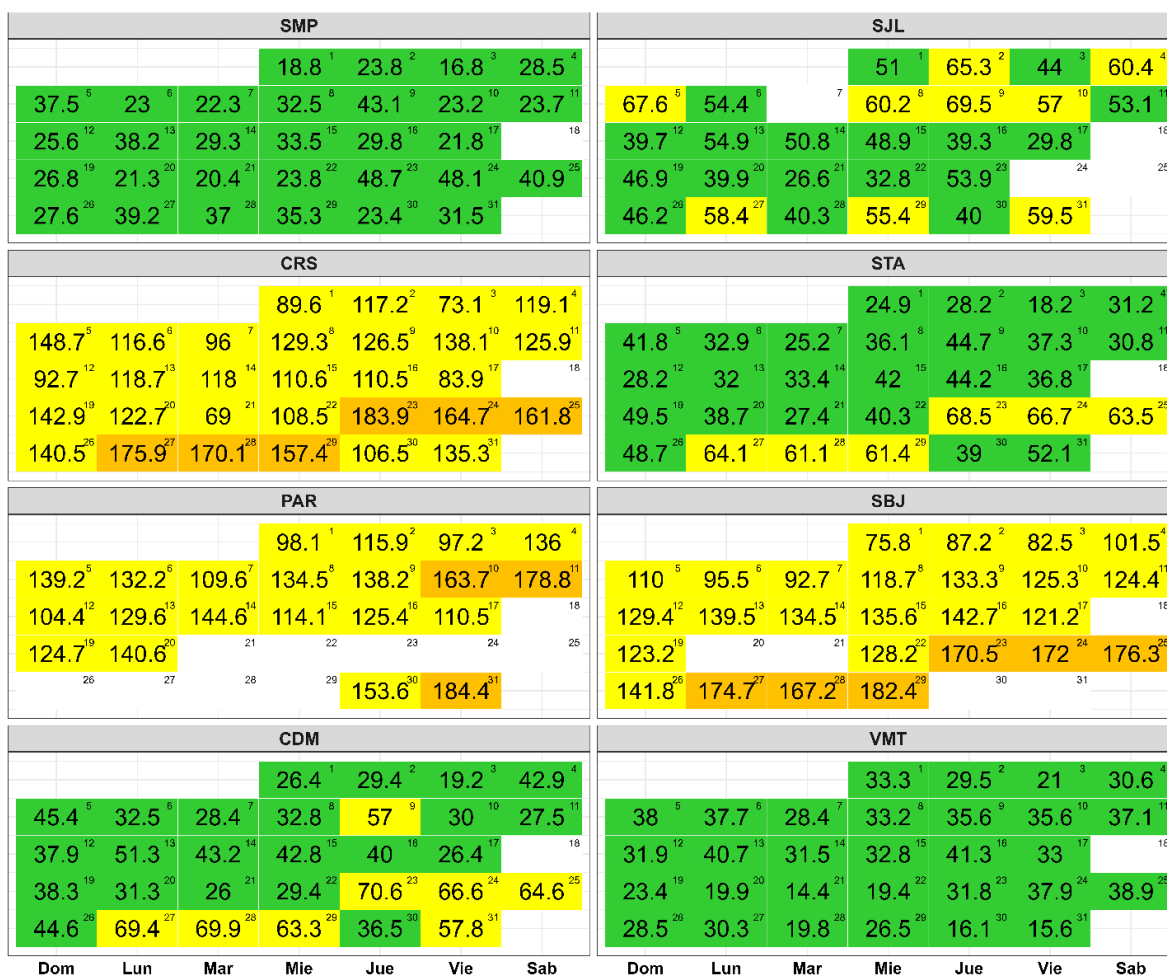
## 6. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL AMLC

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 <sup>26, 27</sup>.

### 6.1. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM<sub>10</sub>

La Figura N° 11 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM<sub>10</sub> asociados a su respectivo estado de la calidad del aire, en la cual se observa que las estaciones CRS, SBJ y PAR presentaron la mayoría de los días una calidad del aire “Moderada” (24, 20 y 18 días, respectivamente), asimismo, presentaron 6, 6 y 3 días una calidad del aire “Moderada”, respectivamente. Por otro lado, las estaciones STA, CDM y SJL presentaron la mayoría de los días una calidad del aire “Buena” (con 24, 22 y 18 días respectivamente), asimismo, presentaron 6, 8 y 9 días una calidad del aire “Moderada”. Finalmente, las estaciones SMP y VMT presentaron 30 días con calidad del aire “Buena”.

Figura N° 11. Índice de la Calidad del Aire para PM<sub>10</sub>



Concentración PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		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
355	424	Muy Insalubre	201	300

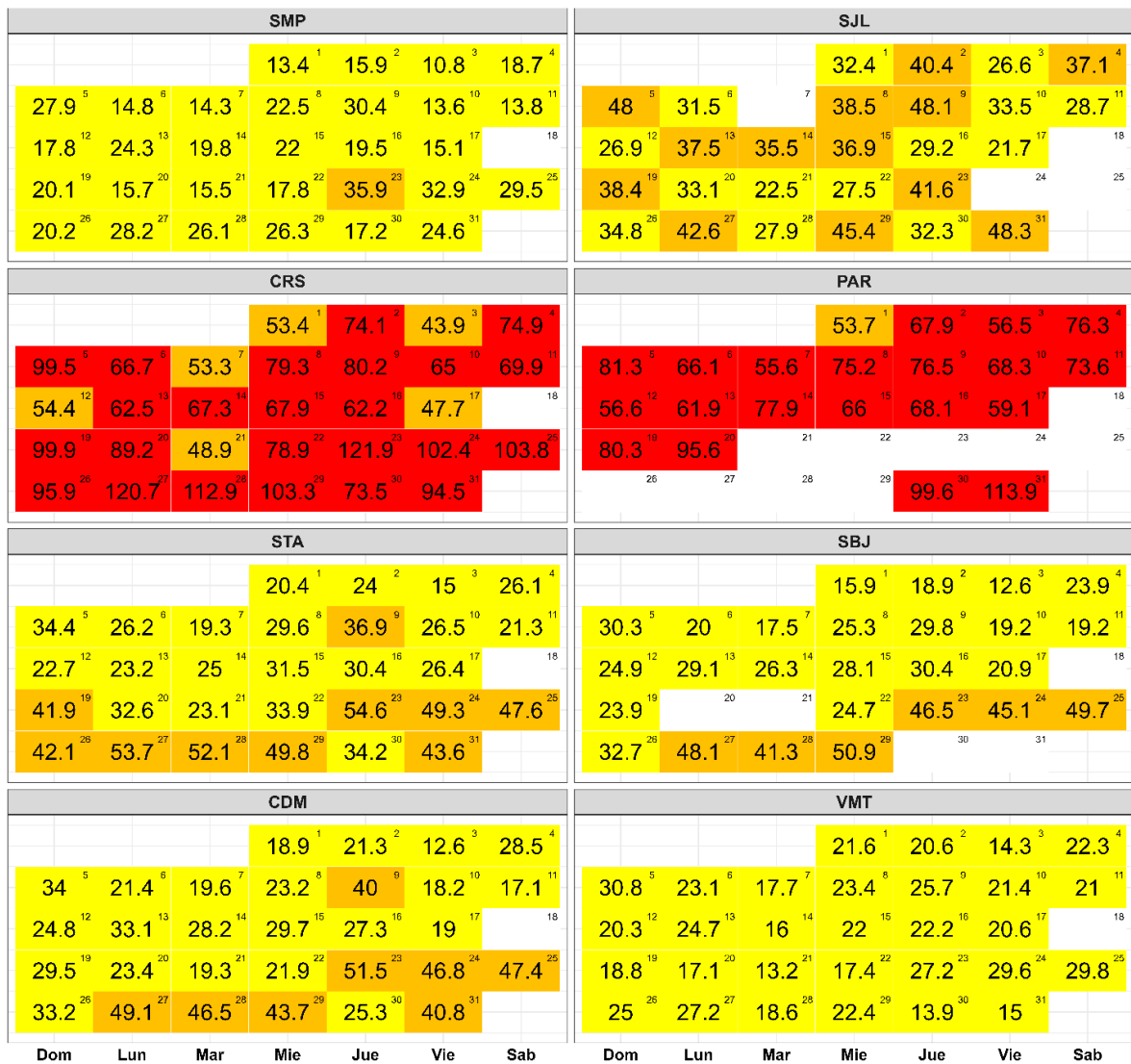
<sup>26</sup> Air Quality Index. A guide to Air Quality and Your Health. Obtenido de: [https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/air\\_quality\\_brochure\\_02\\_14\\_0.pdf](https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/air_quality_brochure_02_14_0.pdf)

<sup>27</sup> Final Updates to the Air Quality Index (AQI) for Particulate Matter. Obtenido de: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-air-quality-index-fact-sheet.pdf>

## 6.2. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM<sub>2,5</sub>

La Figura N° 12 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM<sub>2,5</sub> asociados a su respectivo estado de la calidad del aire, en la cual se observó que las estaciones CRS y PAR presentaron la mayoría de los días una calidad del aire “Insalubre” (con 24 y 20 días respectivamente), asimismo presentaron 6 y 1 días una calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles”. Por otro lado, las estaciones SJL, STA, CDM, SBJ y SMP presentaron la mayoría de los días una calidad del aire “Moderada” (con 14, 20, 22, 20 y 29 días respectivamente), asimismo, presentaron 13, 10, 8, 6 y 1 días una calidad del aire “Insalubre para grupos sensibles”. Finalmente, la estación VMT presentó 30 días con calidad del aire “Moderada”.

Figura N° 12. Índice de la Calidad del Aire para PM<sub>2,5</sub>



Concentración PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		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
125.5	225.4	Muy Insalubre	201	300



## 7. CONCLUSIONES

- Las condiciones meteorológicas influyeron en el comportamiento diario de los contaminantes atmosféricos en el AMLC durante el mes de mayo. La tendencia a la reducción de temperaturas altas y el incremento de humedad relativa, sumado al incremento de la actividad vehicular, favorecieron el incremento del  $PM_{2.5}$ .
- Durante el mes de mayo, los valores más altos de tiempo de recorrido (mayor congestión vehicular), se presentaron en la tercera decadiaria y sobre todo en los alrededores de las estaciones PPD, SMP y CDM.
- Se observó una reducción en la densidad de  $NO_2$  en la columna vertical troposférica hacia la segunda decadiaria, mientras que para la tercera decadiaria se observó un incremento, encontrándose los mayores valores en las zonas este y norte.
- Se superó el ECA – aire para  $PM_{10}$  en las estaciones PAR, CRS y SBJ durante la mayor parte del periodo de monitoreo, alcanzando un valor máximo de  $184.4 \mu g/m^3$  en la estación PAR. En el caso del  $PM_{2.5}$ , la mayoría de las estaciones superaron el ECA – aire durante al menos un día del periodo de monitoreo, alcanzando el valor máximo de  $121.9 \mu g/m^3$  en la estación CRS. Estas concentraciones estarían asociadas a las condiciones meteorológicas y de actividad vehicular 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 todos los casos. Los incrementos en las concentraciones se asociaron a días con condiciones meteorológicas favorables para la acumulación de contaminantes atmosféricos, así como a la actividad vehicular.
- Con respecto al ICA para el contaminante  $PM_{10}$ , se pudo apreciar que las estaciones CRS, PAR y SBJ registraron la calidad del aire más baja, presentando hasta un 23% de los días monitoreados una calidad del aire “Insalubre para Grupos Sensibles”, por otro lado, las estaciones SMP y VMT presentaron un 100% de los días monitoreados una calidad del aire “Buena”. Asimismo, para el contaminante  $PM_{2.5}$ , las estaciones PAR y CRS registraron la calidad del aire más baja, presentando más del 80% de los días monitoreados una calidad del aire “Insalubre” y el resto de los días “Insalubre para Grupos Sensibles”, por otro lado, las estaciones SMP y VMT presentaron más del 97% de los días monitoreados una calidad del aire “Moderada”.

## 8. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MES DE JUNIO 2024

De acuerdo con el pronóstico climático<sup>28</sup> para el mes de junio del 2024, se espera que en el AMLC las temperaturas máximas se ubiquen dentro de su valor normal e incluso por debajo de lo normal, mientras que las mínimas se encontrarían en un escenario por debajo de su valor habitual. Considerando el comportamiento estacional de estas variables meteorológicas, se esperaría un ligero incremento de las concentraciones de  $PM_{2.5}$ , característico de la estación otoño.

<sup>28</sup> Documento: Boletín climático nacional – mayo 2024 SENAMHI. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-131.pdf>

---

**Para más información sobre el presente informe, contactar con:**

Ing. Jhojan Pool Rojas Quincho

[jprojas@senamhi.gob.pe](mailto:jprojas@senamhi.gob.pe)

**Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico**

#### **Elaboración**

Ing. Lourdes María Isabel Urteaga Tirado ([lurteaga@senamhi.gob.pe](mailto:lurteaga@senamhi.gob.pe))

Ing. Dayana Lucero Acuña Valverde

Ing. José Hitoshi Inoue Velarde

Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio

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 julio del 2024

industrias

parque  
automotor

