

BOLETÍN VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE

Área metropolitana de Lima y Callao

Junio 2023



VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – JUNIO 2023

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), en el cual los tomadores de decisión y público en general podrán encontrar información sobre los principales contaminantes atmosféricos al que se encuentran expuestos.

Para un mejor entendimiento de las variaciones espaciales y temporales de los contaminantes atmosféricos, se ha utilizado información meteorológica de superficie (datos de las estaciones meteorológicas automáticas del SENAMHI). Asimismo, se realizó un análisis sinóptico y oceánico a partir de la documentación técnica del SENAMHI para el mes de junio^{1,2} y las salidas resultantes para el ámbito del AMLC de la aplicación del modelo Weather Reserach and Forecasting (WRF)³. Por otro lado, se realizó un análisis del comportamiento del tránsito vehicular en el AMLC a partir de imágenes de Google Traffic⁴. Con respecto a la información de contaminantes del aire, se usaron los datos de la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) de SENAMHI e información del satélite Sentinel 5P⁵.

*Toda persona tiene derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
Constitución Política del Perú. Artículo 2, inciso 22.*

¹ Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – junio 2023. Obtenido de:

https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2845/Vigilancia-sinoptica-sudamerica-jun_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

² Boletín climatológico de Lima – junio 2023. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02232SENA-108.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 desde una categoría de rápido a lento.

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. ANALISIS SINOPTICO Y OCEANICO

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 junio se conformó la decadiaria 1 (del 1 al 10), decadiaria 2 (del 11 al 20) y decadiaria 3 (del 21 al 30).

1.1. PRIMERA DECADIARIA (1 al 10 de junio)

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), presentó dos núcleos uno posicionado en 30°S y 83°W desplazado hacia el este, y otro en 42°S y 120°W posicionado sobre latitudes mayores respecto a lo climático¹, esta condición pudo generar la formación de techos nubosos bajos y reducción de la capa de inversión, lo que pudo haber contribuido a una reducción en la dispersión de contaminantes. En cuanto a los flujos de viento en niveles bajos, estos presentaron una dirección predominante que proviene del sur – sureste, paralelos a la costa y de velocidad entre 3 m/s y 4 m/s. Por otro lado, las anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM) estuvieron cercanos a los +3.9 °C frente a las costas del AMLC⁶, lo cual repercutió en la ocurrencia de anomalías en las temperaturas máximas y mínimas para la ciudad de Lima, siendo estas de +4 °C y +3.5 °C respectivamente².

1.2. SEGUNDA DECADIARIA (11 al 20 de junio)

Para la segunda decadiaria, el APS presentó un debilitamiento en su intensidad y desplazamiento hacia el noreste con una configuración cuasi zonal respecto a lo climatológico; las bajas presiones estuvieron desplazadas llegando hasta los 40 °S¹, dicha configuración del APS redujo sus efectos subyacentes sobre la costa central. En cuanto a los flujos de viento en niveles bajos, estos presentaron una dirección predominante que proviene del sur, ligeramente perpendiculares a la costa y de velocidad entre 3.5 m/s a 4.5 m/s. Por otro lado, las ATSM estuvieron cercanos a los +3.5 °C frente a las costas del AMLC⁴, repercutiendo en la ocurrencia de anomalías en las temperaturas máximas y mínimas para la ciudad de Lima, siendo estas de +3.5°C y +4.6°C respectivamente².

1.3. TERCERA DECADIARIA (21 al 30 de junio)

Para la tercera decadiaria, al igual que en la primera decadiaria, el APS presentó dos núcleos, alcanzando uno de ellos una intensidad de 1021 hPa y ubicándose cerca al continente entre los 30°S y 85°W; estos núcleos se generaron a partir de las bajas presiones que se presentaron desde los 40°S¹, de esta manera, el APS no tuvo efectos marcados sobre la costa debido a la poca intensidad de sus núcleos. En cuanto a los flujos de viento en niveles bajos, estos presentaron una dirección predominante que proviene del sur – sureste, paralelos a la costa y de velocidad entre 3.5 m/s y 6 m/s. Por otro lado, las anomalías de temperatura superficial del mar estuvieron cercanos a los +3.4 °C frente a las costas del AMLC⁴, repercutiendo en la ocurrencia de anomalías en las temperaturas máximas y mínimas para la ciudad de Lima, siendo estas de +3.5°C y +2.5°C respectivamente².

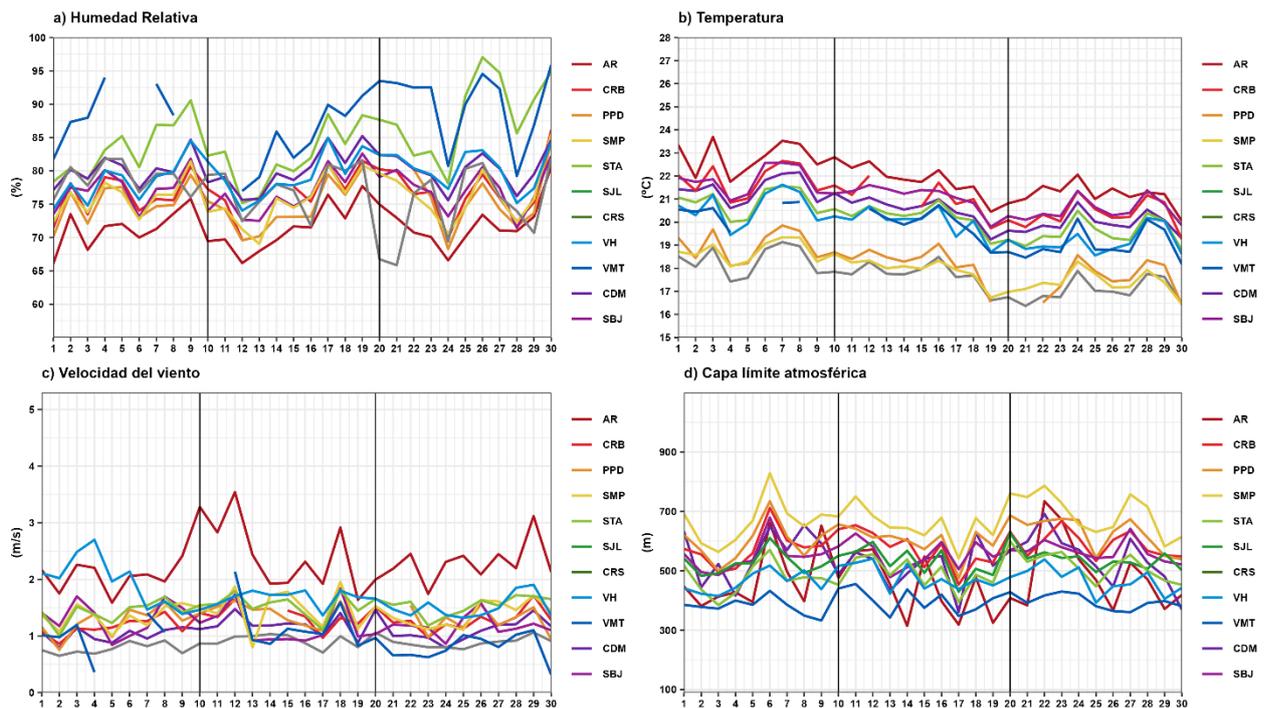
2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS LOCALES EN EL AMLC

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 (a 2 metros de la superficie - mds), temperatura (a 2 mds) y la velocidad de la velocidad del viento (a 10 mds). Los datos provinieron de las estaciones: Antonio Raimondi (AR), Carabayllo (CRB), Puente Piedra (PPD), San Martín de Porres (SMP), Santa Anita (STA), Alexander Von Humboldt (VH), Campo de Marte (CDM), San Borja (SBJ) y Villa María del Triunfo (VMT). Adicionalmente se representó la variabilidad diaria de la capa límite atmosférica (CLA)⁷ para lo cual se usó datos del modelo operativo WRF 1km.

⁶ Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas en el litoral peruano. Obtenido de: http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=1017803020000000000000

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

Figura N°01. Variación diaria de las variables meteorológicas en el ALMC dividido en 3 decadiarias



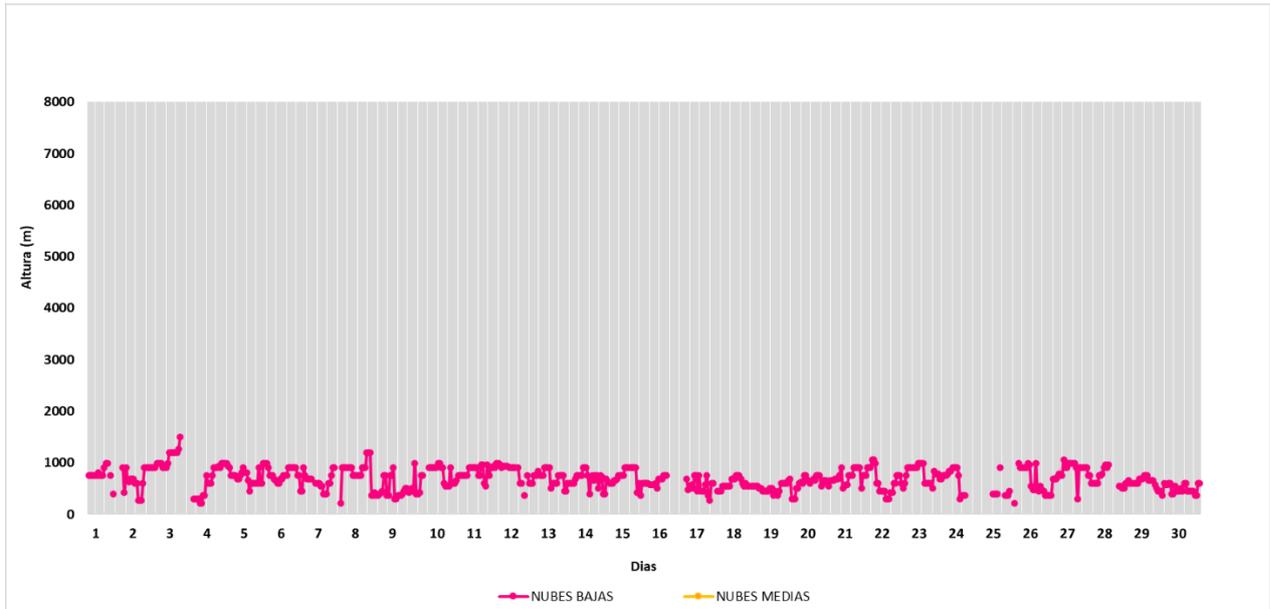
Con respecto a la humedad relativa (Figura N°01a), durante la primera decadiaria se presentaron valores entre 66.08% a 85 %, durante la segunda decadiaria valores entre 66.2% y 88.5 %, y en la tercera decadiaria valores entre 65.8 a 97.4 %, de las cuales, la estación de VMT mantuvo los valores más altos de HR. Por otro lado, en relación a la temperatura (figura N°01b) durante la primera decadiaria presentó valores entre 18.8 y 23.7 °C, en la segunda decadiaria valores entre 16.5 y 22.8 °C, y en la tercera decadiaria valores entre 16.4 y 21.3 °C, además, presentó una tendencia a la reducción de las temperaturas hacia su tercera decadiaria. En cuanto a la velocidad del viento, éste llegó a ser muy variable, lo cual se refleja en sus valores, los mismos que oscilaron entre 0.3 a 3.5m/s durante todo el mes. En cuanto a la velocidad del viento, éste llegó a ser muy variable, lo cual se refleja en sus valores, los cuales oscilaron entre 0.7 a 2 m/s en las tres decadiarias. En el caso de la CLA (figura N°01d) se presentó un incremento en la primera y tercera decadiaria, mientras que en la segunda decadiaria sus valores fueron menores. Y durante el mes de junio, las estaciones de AR, VH y VMT alcanzaron los valores más bajos y por su parte, las estaciones de CRB, PPD y SMP los valores más altos.

2.1. ALTURA DE LA BASE DE LA NUBE

De acuerdo al comportamiento horario de la altura de la base de la nube (abn) registrada por el ceilómetro⁸ de la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (figura N°02), se observó que las nubes bajas (abn menor a 2000 m) tuvieron mayor presencia (99.9%) durante el mes de junio, seguido de una mucho menor presencia (0.1 %) de nubes medias (abn mayor a 2000 m y menor a 6000 m). Esto último no significa que no haya habido presencia de nubes altas (abn mayor a 6000 m), sino más bien que solo se registra la altura de la base de la nube más cercana a la superficie, por lo que podría haber nubes medias y altas por encima de éstas.

⁸ Instrumento que mide la altura de la base de la nube más cercana a superficie tomando a ésta como referencia.

Figura N°02. Altura de base de la nube (m) registrada en la estación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (JCH).



En comparación al mes de mayo, se observó una mayor presencia de nubes bajas y también se presentaron una menor cantidad de días despejados, lo cual es característico del fin de la estación de otoño e inicios de invierno donde se presenta un incremento de la estabilidad atmosférica.

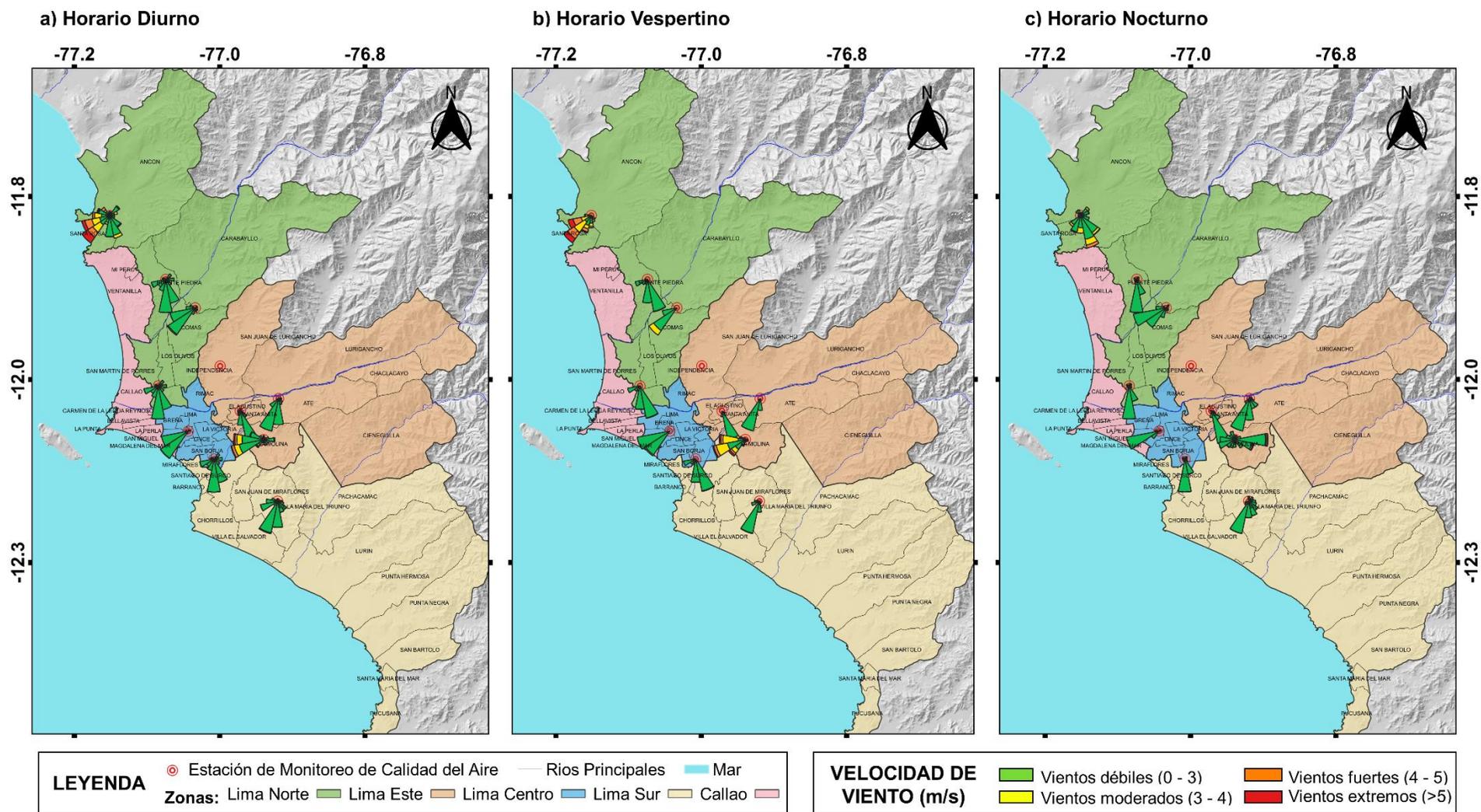
2.2. ANALISIS DEL VIENTO EN SUPERFICIE POR HORARIOS

A partir de la información de velocidad y dirección de viento de las EMA ubicadas en el AMLC, se tiene que, en el horario diurno, las estaciones de VMT, SBJ, CRS, STA y PPD presentaron vientos con una predominancia del sur (S) y sureste (SO), y con intensidad débil (0-3 m/s); mientras que, las estaciones de VH y AR presentaron una predominancia del oeste (O) y del oeste sur oeste (OSO) y con intensidades extremas (>5m/s).

Para el horario vespertino, las estaciones de SMT, SBJ, y PPD presentaron vientos con una predominancia del sur (S) y sur sureste (SSE) con intensidades débiles (0-3m/s), asimismo las estaciones de VMT, CRB, CDM y STA presentaron una dirección predominante de Suroeste (SO) de intensidad débil (0-3m/s); mientras que, las estaciones de VH y AR presentaron una predominancia del oeste (W) y del oeste sur oeste (OSO) y con intensidades extremas (>5m/s).

Para el horario nocturno, las estaciones de SMP, SBJ, STA y PPD presentaron vientos con una predominancia del sur (S) y con intensidades débiles (0-3 m/s), en cambio CRB, CDM y CRS presentaron vientos de Suroeste (SW); mientras que, las estaciones de AR y VH presentan vientos con una predominancia del sur sureste (SSE) y del este sureste (ESE).

Figura N°03. Rosas de viento para diferentes horarios en el AMLC.



Las figura N° 03 muestra el comportamiento de la dirección y velocidad del viento en cada una de las estaciones meteorológicas automáticas para los horarios diurnos (07:00 - 12:59 horas), vespertinos (13:00 -18:59 horas) y nocturnos (19:00 - 06:59 horas).

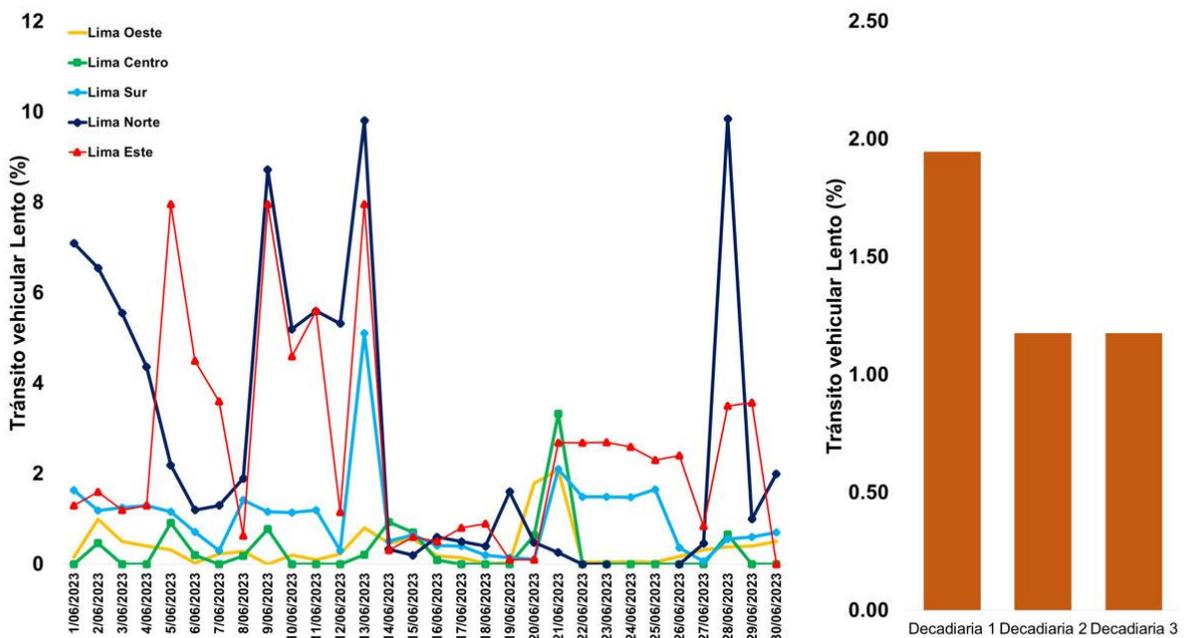
3. ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL AMLC

La actividad vehicular tiene una contribución de más del 50% sobre la contaminación del aire en el AMLC.⁹ De esta manera, un alto porcentaje de tránsito vehicular lento está estrechamente relacionado con el incremento de emisiones de contaminantes del aire, mientras que un bajo porcentaje de éstas, se relaciona a una disminución de emisiones.

De acuerdo a lo mencionado, se han utilizado imágenes de Google Traffic y técnicas de inteligencia artificial como la visión por computadora¹⁰ a fin de cuantificar en porcentaje los estados del tránsito vehicular para cada una de las zonas del AMLC (Lima Norte, Este, Centro, Sur y Oeste).

En la Figura N°04 se puede observar que durante la primera decadiaria, se registraron los niveles más altos de tránsito vehicular lento en las zonas de Lima Norte y Lima Este. En contraste, en la segunda decadiaria se aprecia una tendencia a la disminución habiéndose presentado los valores mínimos del mes de junio. Por otro lado, en la tercera decadiaria, se evidencia nuevamente un incremento de los valores en Lima Norte y Lima Este.

Figura N°04. Variación diaria del tránsito vehicular en el AMLC.



⁹ Estudio: Diagnóstico de la Gestión de la Calidad Ambiental del Aire de Lima y Callao. Obtenido de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>

¹⁰ La visión por computadora es una rama de la inteligencia artificial y la informática asociado al análisis de imágenes, la cual incorpora un conjunto de técnicas, algoritmos y sistemas que facultan a una computadora con la capacidad de "ver" y extraer información a partir de lo que han "visto", la cual puede ser reconocer patrones, objetos o personas, entre otras tareas visuales. Obtenido de: <https://iaarbook.github.io/vision-por-computadora/> , <https://www.ibm.com/mx-es/topics/computer-vision>

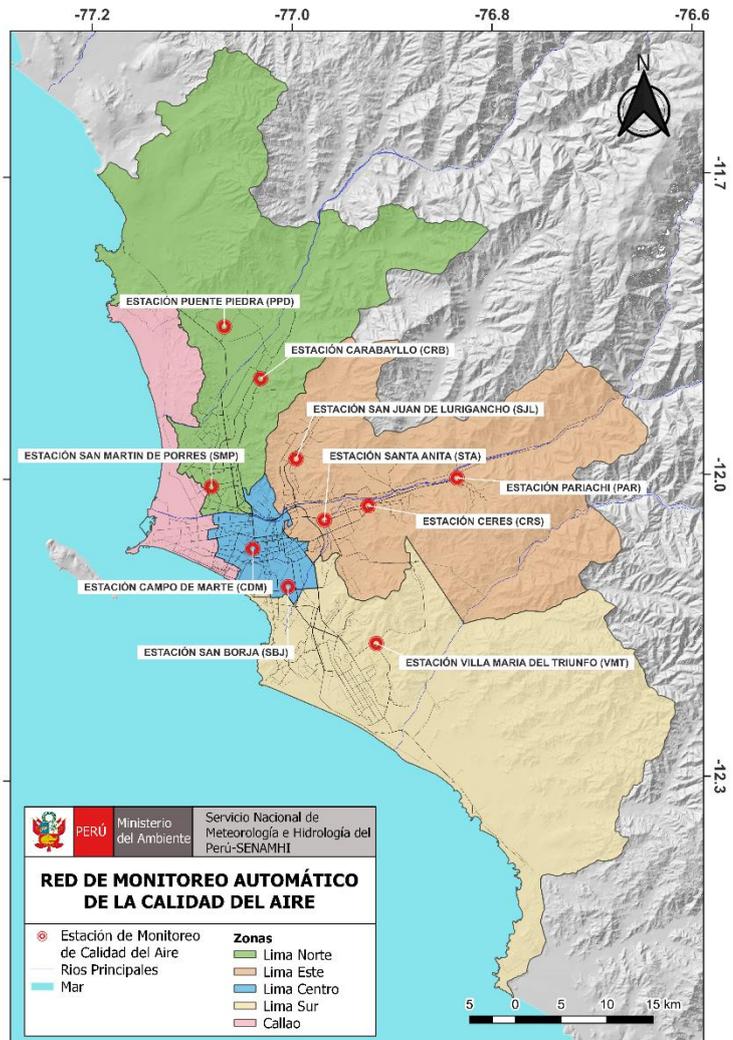
4. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

El SENAMHI realiza la vigilancia a través de una Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA), la cual mide las concentraciones horarias de los contaminantes PM₁₀ (material particulado menor a 10 micras), PM_{2,5} (material particulado menor a 2.5 micras), NO₂ (dióxido de nitrógeno), O₃ (ozono troposférico) y CO (monóxido de carbono).

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

| ZONA | NOMBRE/UBICACIÓN |
|--------|--|
| Norte | Estación Puente Piedra (PPD) Complejo Municipal "El gallo de oro" del distrito de Puente Piedra |
| | Estación Carabaylo (CRB) Piscina Municipal del distrito de Carabaylo |
| | Estación San Martín de Porres (SMP) Parque Ecológico del distrito de San Martín de Porres |
| Este | Estación San Juan Lurigancho (S JL) 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 Ligan - 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°05. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el AMLC.



Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

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

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

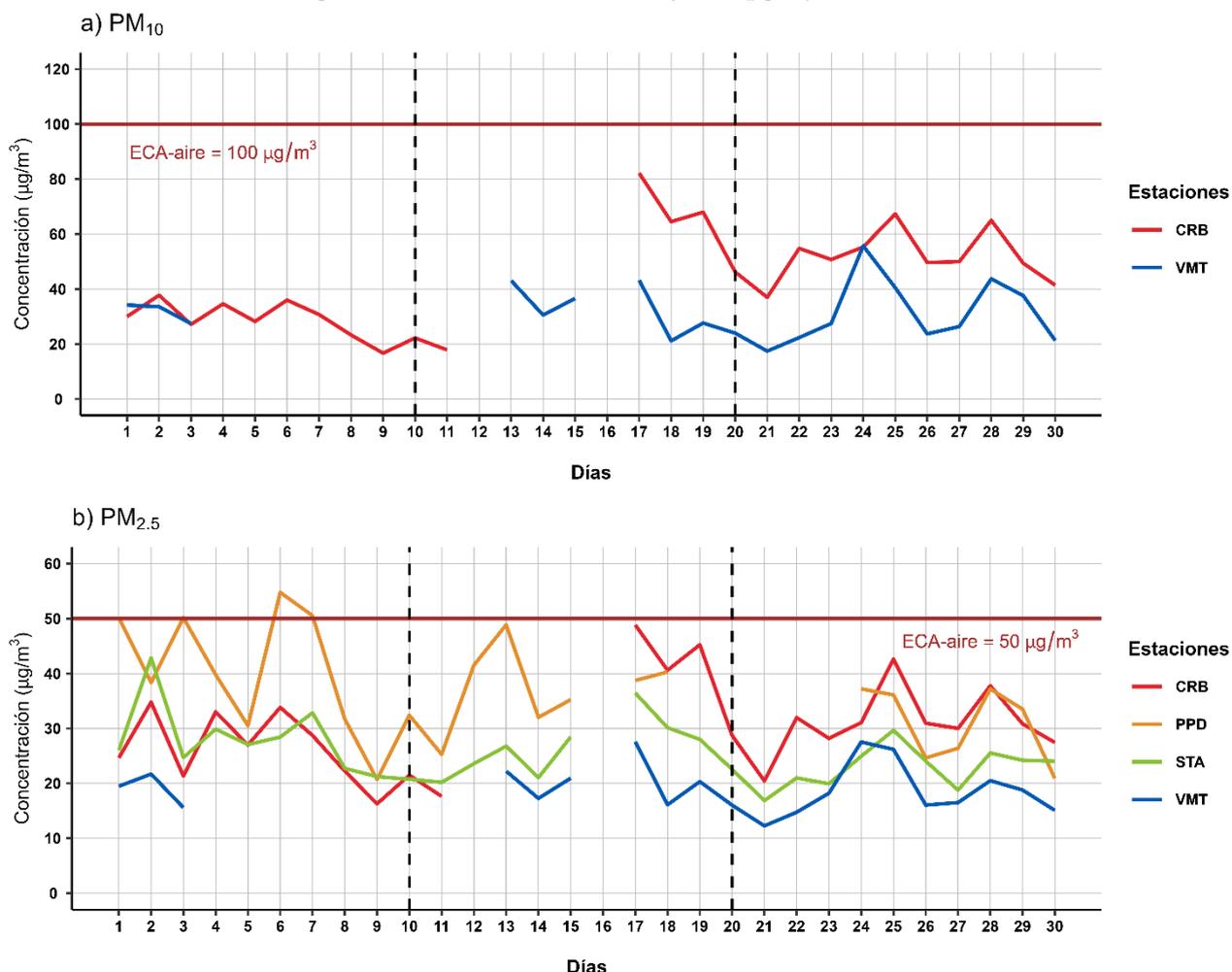
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria de las concentraciones del PM₁₀ y PM_{2.5} durante el mes de junio. Los datos provinieron de las estaciones: Carabayllo (CRB), Puente Piedra (PPD), Santa Anita (STA) y Villa María del Triunfo (VMT).

4.1.1. CONCENTRACIONES DIARIAS DEL MATERIAL PARTICULADO (PM)

En la figura N° 06a se observa que las concentraciones diarias de PM₁₀ registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire (100 µg/m³ como promedio diario) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar que en la zona norte, la estación CRB alcanzó una concentración máxima de 82.2 µg/m³ (sábado 17) y en la zona sur, la estación VMT una concentración máxima de 55.7 µg/m³ (sábado 24).

Por otro lado, en la figura N° 06b, se observa que las concentraciones diarias de PM_{2.5} registradas en las estaciones no superaron el ECA-aire para PM_{2.5} (50 µg/m³ como promedio diario) durante los días monitoreados, a excepción de la estación de PPD. Asimismo, se pudo apreciar que, en la zona norte, la estación PPD alcanzó una concentración máxima de 54.8 µg/m³ (martes 06); en la zona este, la estación STA una concentración máxima fue 42.8 µg/m³ (viernes 02) y en la zona sur, la estación VMT una concentración máxima de 27.6 µg/m³ (sábado 17).

Figura N°06. Variación diaria del PM₁₀ y PM_{2.5} (µg/m³) en el AMLC.



Del comportamiento decenario, se tiene que para el PM₁₀, se observaron los mayores valores de las concentraciones en la decadiaria 2, los cuales pudieron estar relacionados a factores meteorológicos como

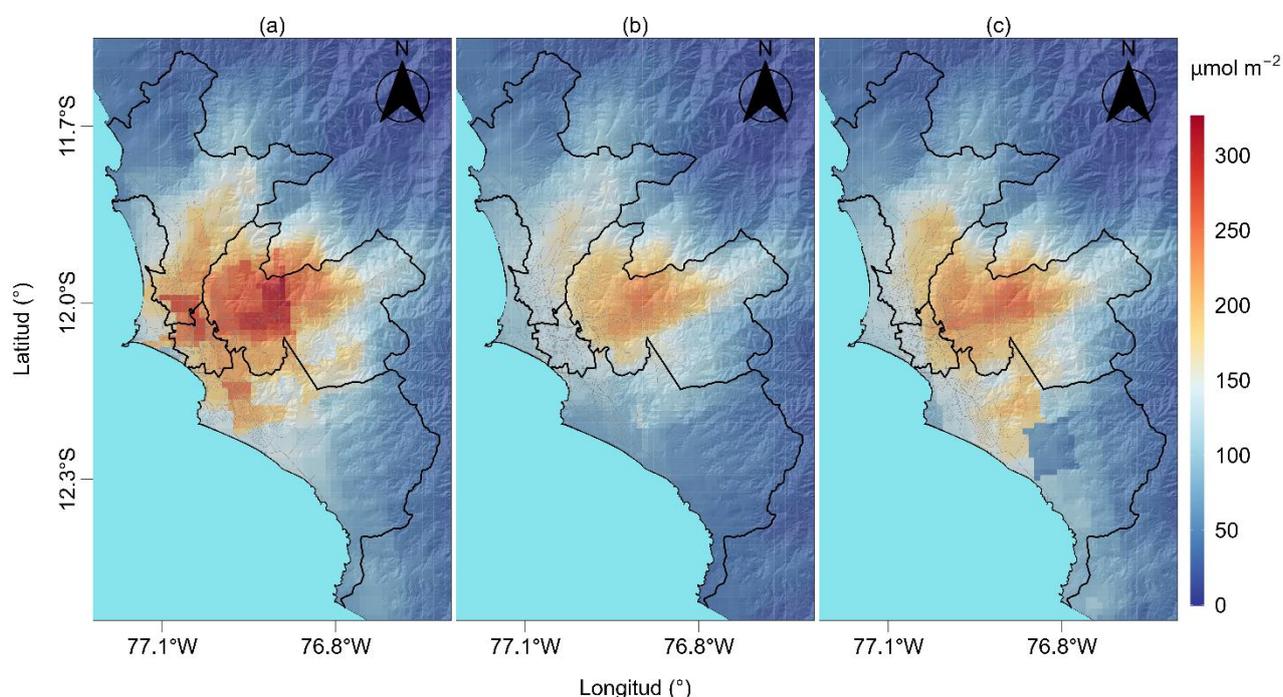
el incremento de la velocidad del viento y la disminución de la altura de la capa límite (ver Figura N° 01c y 01d).

Con respecto al PM_{2.5}, se observaron los mayores valores de las concentraciones en la decadiaria 1 y 2, los cuales pudieron estar asociados a la disminución de la altura de la capa límite atmosférica y al incremento de la humedad relativa (ver Figura N° 01d y 01a); así como a los incrementos en el tránsito vehicular muy lento (ver Figura N° 04).

5. 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 NO₂ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$), obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 5 km x 3.5 km durante el mes de junio. Es así que, la figura N°07a, muestra la distribución espacial promedio de NO₂ en la primera decadiaria (1 a 10 de Junio), la figura N°07b, en la segunda decadiaria (11 al 20 de Junio) y la figura N°07c en la tercera decadiaria (21 al 30 Junio).

Figura N°07. Distribución espacial de la columna del NO₂ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$) en la troposfera del AMLC.



Durante la primera decadiaria, la mayor densidad del NO₂ en la columna vertical troposférica se registró principalmente en la zona de Lima Este, Centro y Norte, alcanzando valores máximos entre 278 y 325 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, lo cual pudo estar relacionado al incremento de la actividad vehicular durante los primeros días del mes junio (ver Figura N° 04). Durante la segunda decadiaria se presentó una reducción de la densidad del NO₂ con respecto a la primera decadiaria de hasta -37%, alcanzando sus mayores valores principalmente en la zona de Lima Este con 244 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, lo cual pudo estar relacionado a la disminución de la actividad de vehicular (ver Figura N° 04). Finalmente, para la tercera decadiaria hubo un incremento de los valores con respecto a la segunda decadiaria de hasta 57%, alcanzando sus mayores valores principalmente en la zona de Lima Este con 258 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, lo cual pudo estar relacionado al incremento de la actividad vehicular (ver Figura N° 04). Cabe precisar que el origen del NO₂ está vinculado a la oxidación del nitrógeno atmosférico por combustión, principalmente de la actividad vehicular^{11,12}.

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

¹² 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>

8. PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MES DE JULIO 2023

De acuerdo al pronóstico climático¹⁴ para el mes de julio del 2023, se espera que en el AMLC las temperaturas máximas y mínimas estén por encima de lo normal. Asimismo, teniendo en cuenta el comportamiento estacional de estas variables, se estaría favoreciendo principalmente al incremento gradual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y disminución gradual de las concentraciones de PM_{10} para el mes de julio.

¹⁴ Documento: Boletín climático nacional – junio 2023 SENAMHI. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-120.pdf>

Para más información sobre el presente informe, contactar con:

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

Elaboración

Ing. José Hitoshi Inoue Velarde (jinoue@senamhi.gob.pe)
Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio
Ing. Dayana Lucero Acuña Valverde
Ing. Félix Bryan Cordero Escobar
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 2023

