

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

Área metropolitana de Lima y Callao

*Diciembre 2023*



## VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO (AMLC) – DICIEMBRE 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 diciembre<sup>1,2</sup> y las salidas resultantes de la aplicación del modelo Weather Reserach and Forecasting (WRF)<sup>3</sup> para el ámbito del AMLC. Por otro lado, se realizó un análisis del comportamiento del tránsito vehicular lento en el AMLC a partir de imágenes de Google Traffic<sup>4</sup>. 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 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 – diciembre 2023. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-106.pdf>

<sup>2</sup> Boletín climatológico de Lima – diciembre 2023. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02232SENA-114.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 desde una categoría de rápido a lento.

<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.).

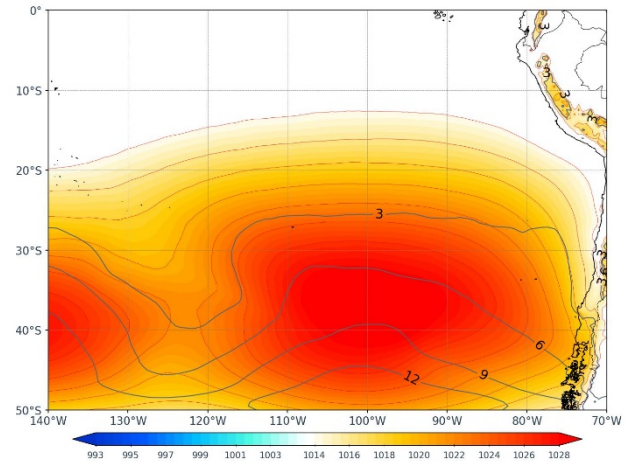
## 1. ANALISIS SINOPTICO Y OCEANICO

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 diciembre 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 diciembre)

Durante la primera decadiaria, el APS presentó un área mayor y núcleo en 35°S y 100°W con valores de intensidad superiores a 1028 hPa, siendo muy intenso con respecto a lo climatológico<sup>1</sup> (Figura N°01a). Los vientos incidentes sobre la costa del AMLC a nivel de superficie presentaron una dirección predominante del suroeste, con velocidades entre 2 y 4 m/s. Por otro lado, las anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM) estuvieron cercanos a los +1.61°C frente a las costas de AMLC<sup>6</sup>, lo cual repercutió en el incremento de temperaturas máximas del aire por encima de su normal en +1.04°C, y para el caso de la temperatura mínima esta fue de -0.3°C por debajo de la normal respectivamente<sup>2</sup>.

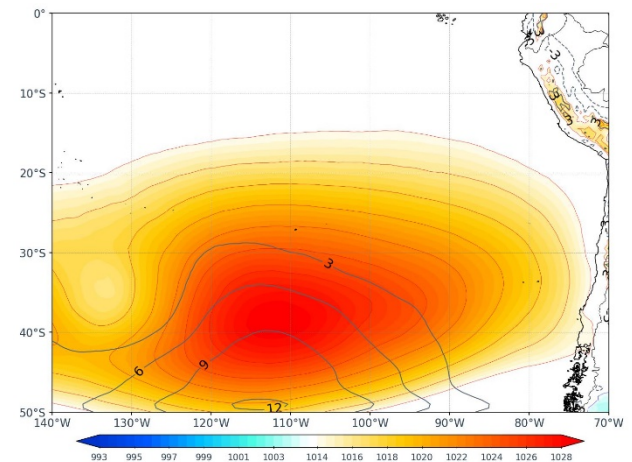
Figura N°01a. Variación del APS en la decadiaria 1.



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

Para la segunda decadiaria, el APS predominó con núcleo desplazado hacia el oeste en los 40°S y 105°W y valores de presión superiores a los 1028 hPa y un fuerte incremento de intensidad respecto a lo climatológico<sup>1</sup> (Figura N° 01b). Los vientos incidentes sobre la costa del AMLC a nivel de superficie presentaron una dirección predominante del sur y con velocidades entre 3 m/s y 6 m/s. Por otro lado, respecto a las ATSM<sup>6</sup> estas se encontraron alrededor de los +1.80°C frente a las costas del AMLC<sup>6</sup>, lo cual repercutió en el incremento de temperaturas máximas y mínimas del aire por encima de su normal en +1.31°C y +0.48°C respectivamente<sup>2</sup>.

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

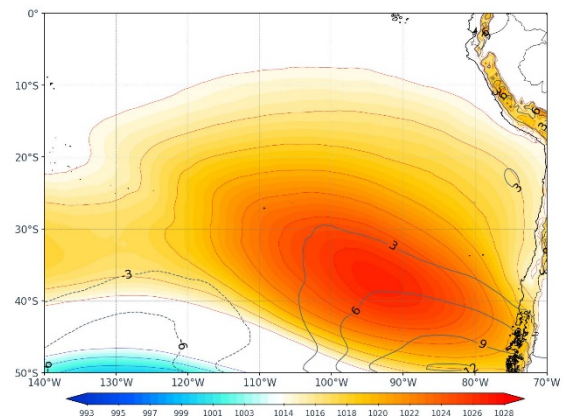


<sup>6</sup> Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas en el litoral peruano. Obtenido de: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=1017803020000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=1017803020000000000000)

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

Finalmente, para la tercera decadiaria, el APS predominó con una configuración zonal y núcleo en 35°S y 95°W con valores de presión superiores a los 1028 hPa, muy intenso respecto a su climatología<sup>1</sup> (Figura N°01c). Presentaron vientos una dirección predominante del sureste, paralelos a la costa y con velocidades entre 3 y 5 m/s. Por otro lado, respecto a las ATSM estas se encuentran en +1.77°C frente a las costas de AMLC<sup>6</sup>, lo cual repercutió en las temperaturas máximas y mínimas del aire, ubicándose por encima de su normal en 1.9°C y 0.8°C respectivamente<sup>2</sup>.

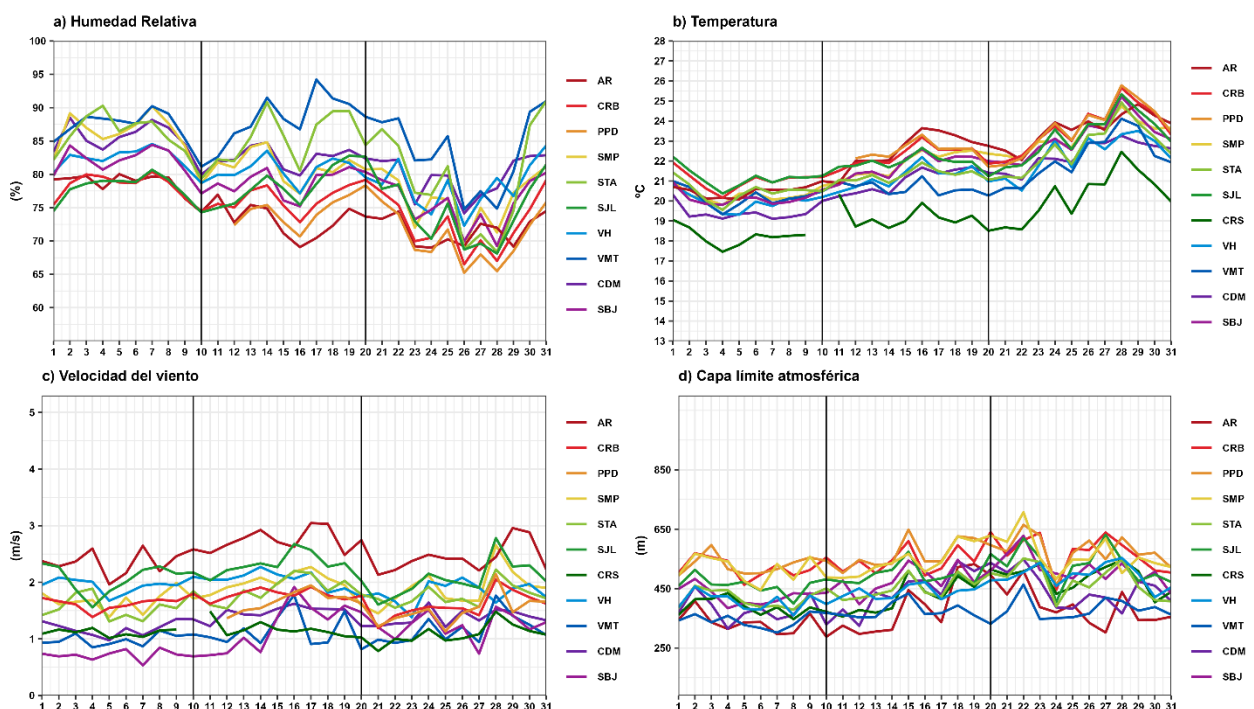
Figura N°01c. Variación del APS en la decadiaria 3.



## 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 y la temperatura a 2 metros de la superficie (mds), y 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), San Juan de Lurigancho (SJL), Ceres (CRS), 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)<sup>7</sup> para lo cual se usó datos del modelo operativo WRF 1km.

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



Con respecto a la Humedad Relativa (Figura N°02a), durante la primera decadiaria se presentaron valores entre 74.5% a 90.3%, para la segunda decadiaria valores entre 69% y 94.2%, y en la tercera decadiaria valores entre 65.4 a 91%, de las cuales, las estaciones STA y VMT mantuvieron los valores más altos. Por otro lado, en relación a la temperatura (Figura N°02b) durante la primera decadiaria presentó valores entre

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

17.5 y 22.2 °C, para la segunda decadiaria valores entre 18.6 y 23.6°C, y en la tercera decadiaria valores entre 18.6 y 25.8 °C, además, presentó una tendencia al incremento de las temperaturas hacia su tercera decadiaria. En cuanto a la velocidad del viento (Figura N° 02c), éste llegó a ser muy variable, lo cual se refleja en sus valores, los mismos que oscilaron entre 0.78 a 2.78 m/s durante todo el mes. En el caso de la CLA (Figura N°02d) se presentó una tendencia ligera al incremento hacia la tercera decadiaria; asimismo, las estaciones CRB, PPD y SMP alcanzaron los valores más altos y por su parte, las estaciones de VMT y AR los valores más bajos.

## 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 ceilómetro<sup>8</sup> de la EMA Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ubicada en el Callao (figura N°03), se observó que las nubes bajas (abn menor a 2000 m) tuvieron mayor presencia (72.7%) durante el mes de diciembre, seguido de una mucho menor presencia (3.1 %) 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.

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



En comparación al mes de noviembre, se presentó una mayor cantidad de días despejados y un incremento de los días con nubes medias; sin embargo, predominó la presencia de nubes bajas, lo cual aún sigue siendo característico del término de la primavera, evidenciando ello una persistencia de la estabilidad atmosférica principalmente durante la primera mitad de diciembre.

## 2.2. ANALISIS DEL VIENTO EN SUPERFICIE POR HORARIOS

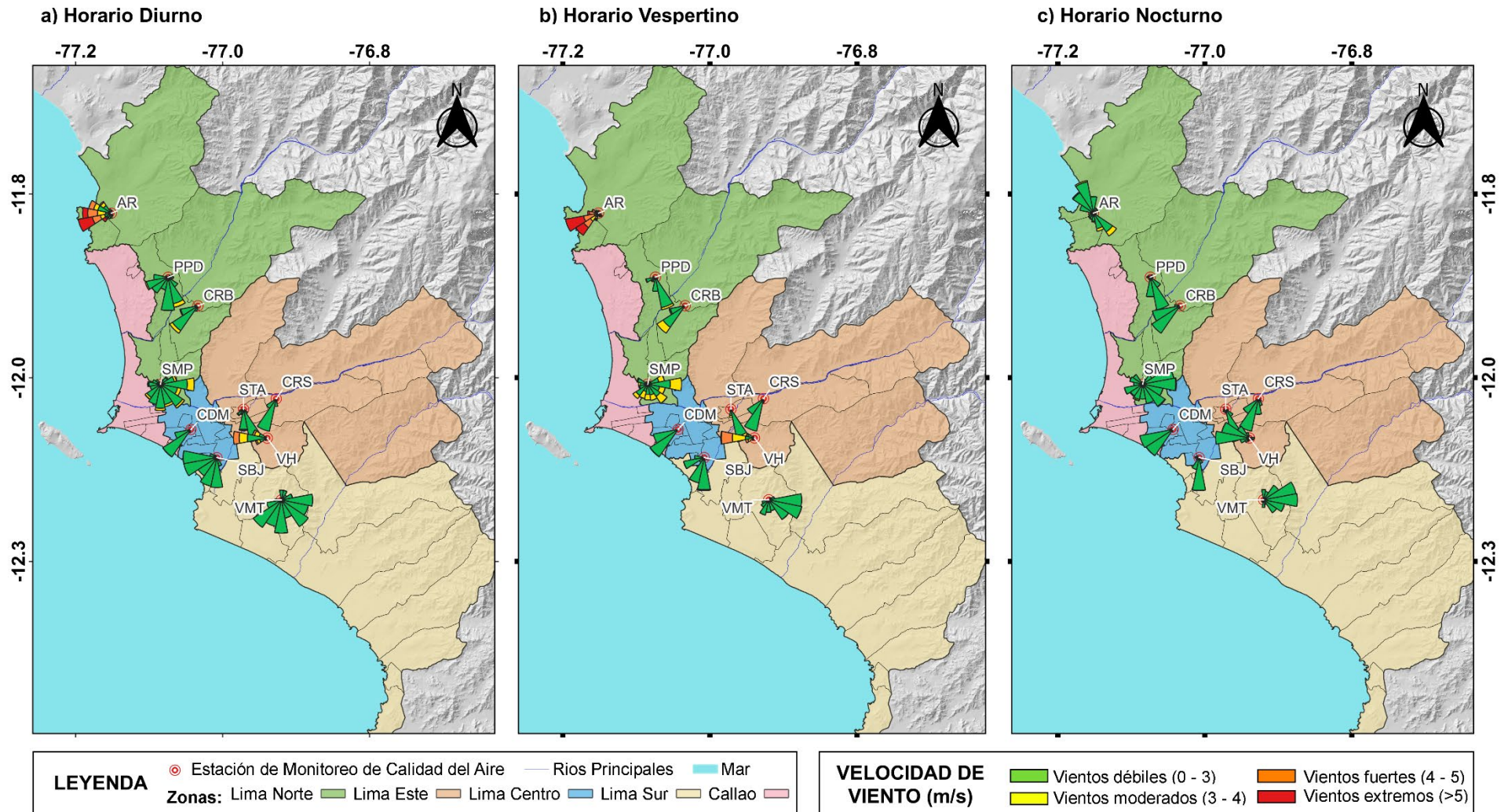
A partir de la información de velocidad y dirección de viento de las EMA ubicadas en el AMLC, se tiene que, en el horario diurno, las estaciones CRB y CDM presentaron vientos con una predominancia del suroeste (SO) con categoría moderada (3-4 m/s) y categoría débil (0-3 m/s) respectivamente. Asimismo, las estaciones PPD y VMT que presentaron una predominancia del sur (S) con una categoría débil. Por otro lado, las estaciones de SBJ y AR, tuvieron predominancia del oeste suroeste (OSO) y con una categoría de débil y extrema (> 5 m/s) respectivamente. Con respecto a la estación CRS y STA, estas tuvieron una dirección predominante del sur suroeste (SSO) y del sur sureste (SSE) respectivamente con una magnitud de débil. En el caso de la estación VH presentó vientos con una dirección predominante del oeste (O) y alcanzando una categoría fuerte (4-5 m/s). Finalmente, la estación SMP presentó vientos con una dirección predominante del este (E) y con una categoría moderada (3-4 m/s).

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

Para el horario vespertino, las estaciones CRB y CDM presentaron vientos con una predominancia del suroeste (SO) y con categoría de moderada y de débil respectivamente. Por otro lado, en las estaciones PPD y STA, se tuvo una dirección predominante del sur sureste (SSE) y una magnitud moderada. Asimismo, las estaciones SMP y VMT presentaron vientos con una predominancia del este (E) alcanzando una categoría de moderada y débil respectivamente. Con respecto a la estación AR presentó vientos con una dirección predominante del oeste suroeste (OSO) de categoría extrema; la estación VH presentó vientos con una dirección predominante del oeste (O) de categoría fuerte; la estación CRS presentó vientos con una dirección predominante del sur suroeste (SSO) de categoría débil y la estación SBJ presentó vientos con una predominancia del sur (S) alcanzando una categoría débil.

Para el horario nocturno, las estaciones PPD y STA presentaron vientos con una predominancia del sur sureste (SSE) y de categoría débil. Asimismo, las estaciones SMP y VMT presentaron vientos con una predominancia del este (E) y de categoría débil. Con respecto a la estación AR presentó vientos con una predominancia del sur sureste (SSE) y de categoría moderada. Por otro lado, la estación CRB presentó vientos con una predominancia del suroeste (SO); la estación CRS, tuvo una dirección predominante del sur suroeste (SSO); la estación CDM presentó vientos con una predominancia del oeste suroeste (OSO); la estación VH presentó vientos con una predominancia del oeste (O) y la estación SBJ presentó vientos con una predominancia del sur (S), todos estos de magnitud débil.

Figura N°04. Rosas de viento para diferentes horarios en el AMLC.



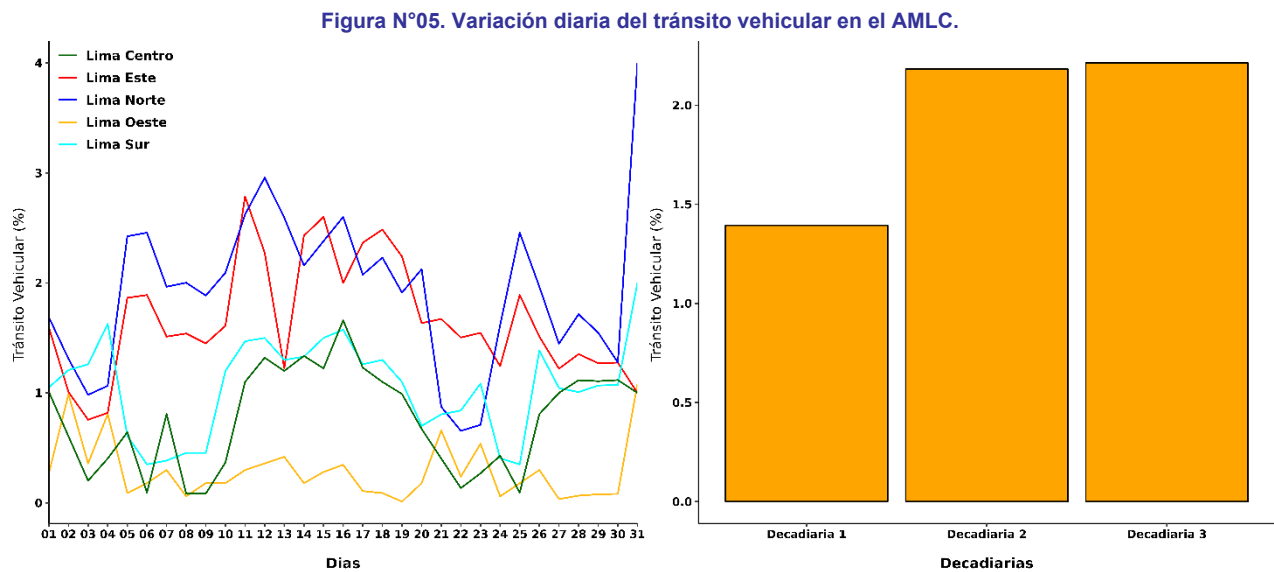
Las figura N° 04 muestra el comportamiento de la dirección y velocidad del viento en cada una de las estaciones meteorológicas automáticas para los horarios diurnos (07:00 - 12:59 horas), vespertinos (13:00 -18:59 horas) y nocturnos (19:00 - 06:59 horas).

### 3. ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL AMLC

La actividad vehicular tiene una contribución de más del 50% sobre la contaminación del aire en el AMLC.<sup>9</sup> 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 computadora<sup>10</sup> 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 Callao).

En la Figura N°05 se puede observar que durante la primera decadiaria se presentaron los menores porcentajes de tránsito vehicular lento del mes de diciembre. En contraste, para la segunda y tercera decadiaria se evidenció una tendencia al incremento, siendo las zonas de Lima Norte, Este y Sur las cuales presentaron los mayores valores del porcentaje de tránsito vehicular lento.



<sup>9</sup> 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>

<sup>10</sup> 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>



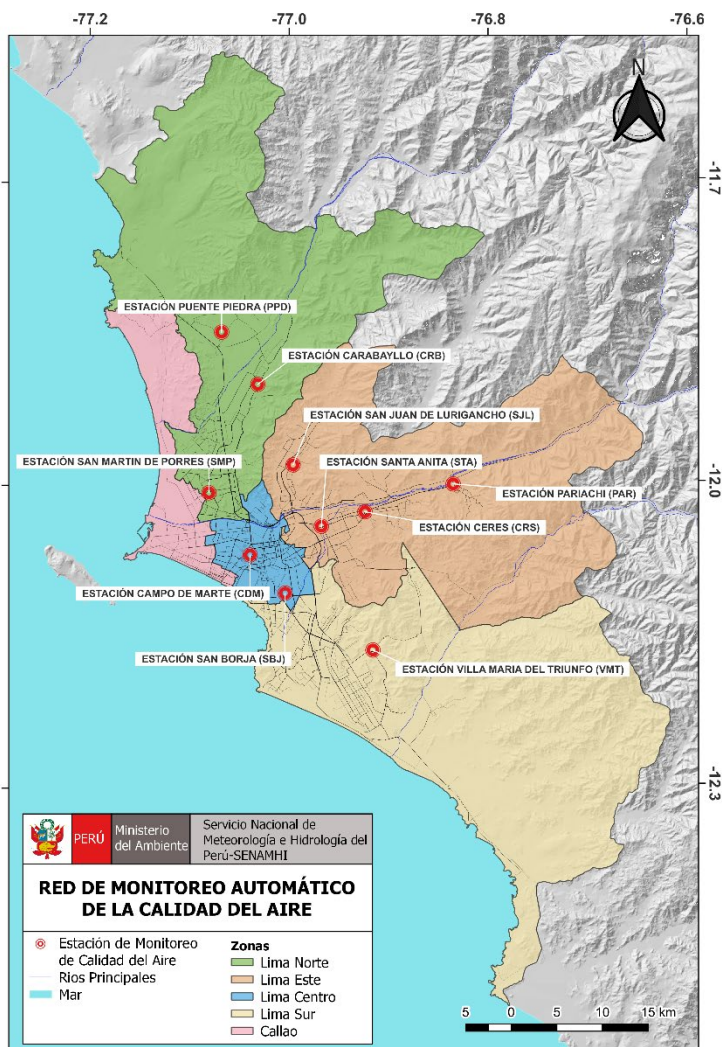
## 4. RED DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMLC

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 PM<sub>10</sub> (material particulado menor a 10 micras), PM<sub>2,5</sub> (material particulado menor a 2,5 micras), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), O<sub>3</sub> (ozono troposférico) y CO (monóxido de carbono).

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

ZONA	NOMBRE/UBICACIÓN
Norte	Estación Puente Piedra (PPD) Complejo Municipal "El gallo de oro" del distrito de Puente Piedra
	Estación Carabayllo (CRB) Piscina Municipal del distrito de Carabayllo
	Estación San Martín de Porres (SMP) Parque Ecológico del distrito de San Martín de Porres
Este	Estación San Juan Lurigancho (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 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°06. 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

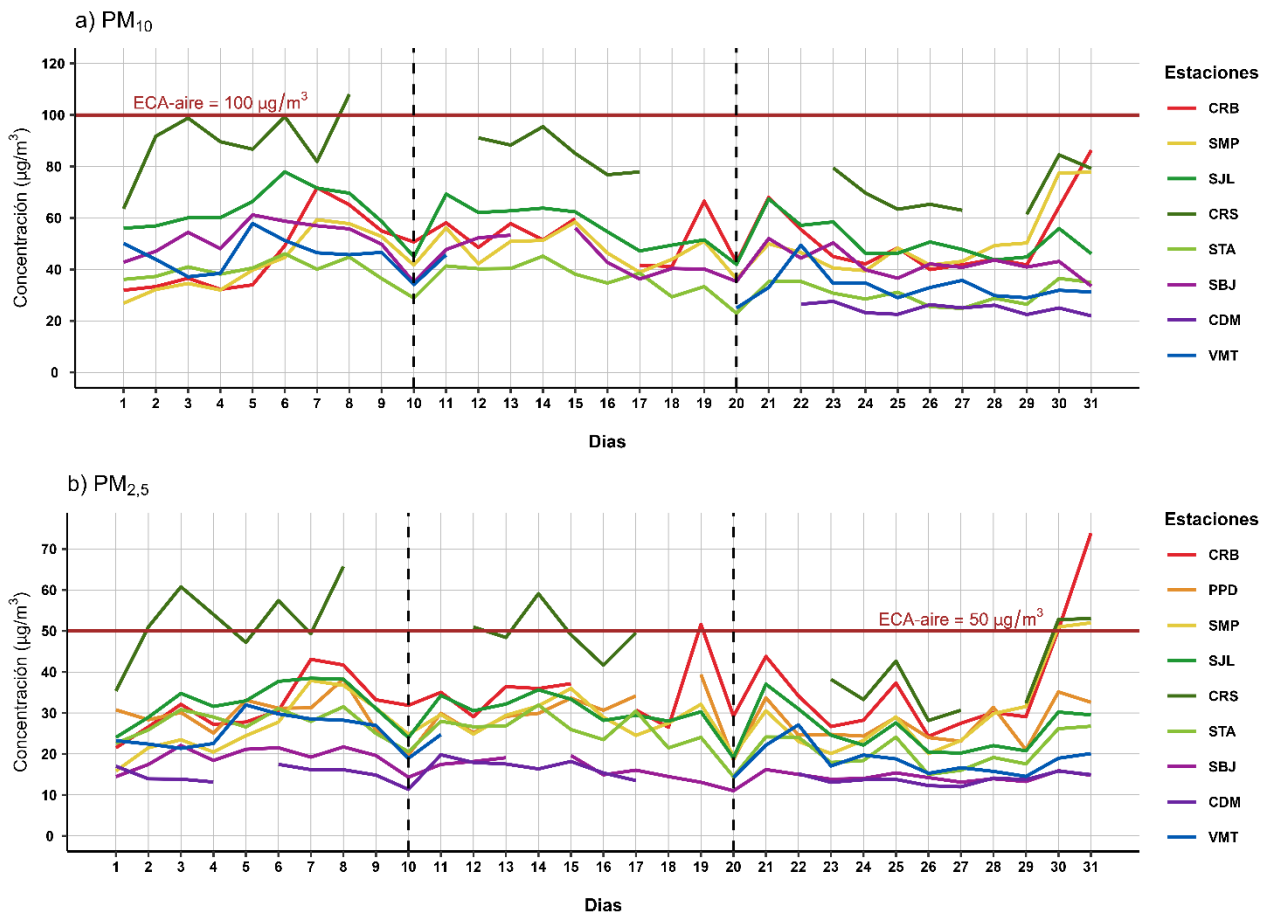
Con los datos de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMLC, se realizó un análisis de la variabilidad diaria de las concentraciones del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> durante el mes de diciembre. Los datos provinieron de las estaciones: Carabayllo (CRB), Puente Piedra (PPD), San Martín de Porres (SMP), San Juan de Lurigancho (S JL), Ceres (CRS), Santa Anita (STA), San Borja (SBJ), Campo de Marte (CDM) y Villa María del Triunfo (VMT).

### 4.1.1. MATERIAL PARTICULADO (PM)

En la figura N° 07a se observa que las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire (100 µg/m<sup>3</sup> como promedio diario) durante los días monitoreados, a excepción de la estación CRS en la primera decadiaria. Asimismo, se pudo destacar que, en la zona norte, la estación CRB alcanzó una concentración máxima de 86.3 µg/m<sup>3</sup> (domingo 31); en la zona este, la estación CRS una concentración máxima de 108 µg/m<sup>3</sup> (viernes 08); en la zona centro, la estación SBJ una concentración máxima de 61.2 µg/m<sup>3</sup> (martes 05) y en la zona sur, la estación VMT una concentración máxima de 57.8 µg/m<sup>3</sup> (martes 05).

Por otro lado, en la figura N° 07b, se observa que las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> registradas en las estaciones no superaron el ECA-aire para PM<sub>2.5</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> como promedio diario) durante los días monitoreados, a excepción de la estación SMP en la tercera decadiaria, la estación CRB en la segunda y tercera decadiaria; y la estación CRS durante las 3 decadiarias. Asimismo, se pudo destacar que, en la zona norte, la estación CRB alcanzó una concentración máxima de 73.9 µg/m<sup>3</sup> (domingo 31); en la zona este, la estación CRS una concentración máxima de 65.7 µg/m<sup>3</sup> (viernes 08); en la zona centro, la estación SBJ una concentración máxima de 22.1 µg/m<sup>3</sup> (domingo 03) y en la zona sur, la estación VMT una concentración máxima de 31.9 µg/m<sup>3</sup> (martes 05).

Figura N°07. Variación diaria del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en el AMLC.



---

Del comportamiento decadiario, se tiene que, para el PM<sub>10</sub>, se observaron los mayores valores de las concentraciones en la decadiaria 1, lo cual pudo estar relacionado a la disminución de la altura de la capa límite atmosférica (ver Figura N° 02d).

Con respecto al PM<sub>2,5</sub>, se observaron los mayores valores de las concentraciones en la decadiaria 1 y 3, los cuales pudieron estar asociados a incrementos en los valores de humedad relativa y a la disminución de la altura de la capa límite atmosférica (ver Figura N° 02a y 02d); así como a los incrementos en el tránsito vehicular lento (ver Figura N° 05) para los últimos días. Cabe precisar que para la tercera decadiaria, los valores altos de PM<sub>2,5</sub> de los últimos días también pueden estar relacionados a la quema de pirotécnicos por fiestas de navidad y de año nuevo.

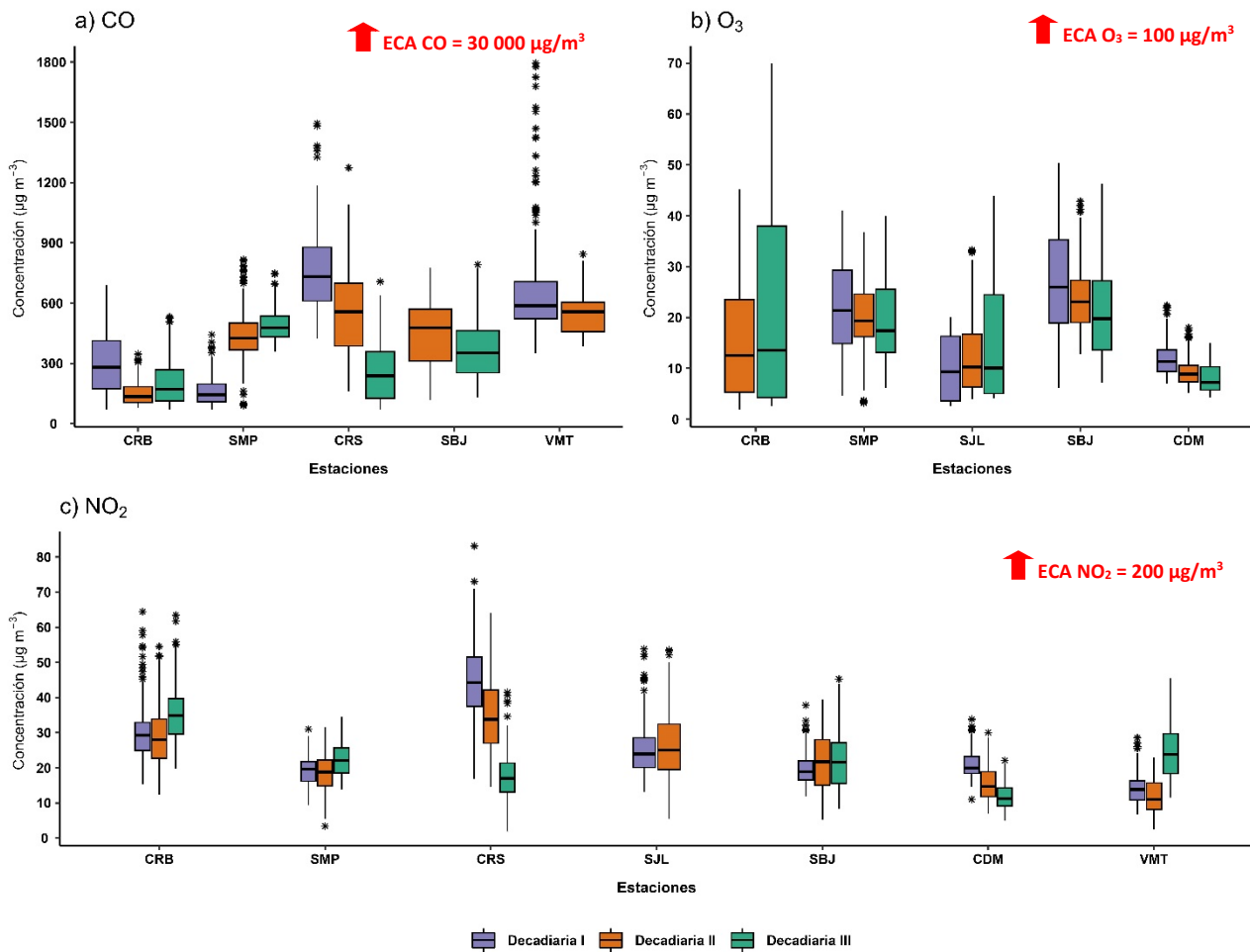
#### 4.1.2. GASES (CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>)

En la figura N° 08a se observa que las concentraciones horarias de CO registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire (30 000 µg/m<sup>3</sup> como promedio horario) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar que para la zona norte, la estación SMP presentó una concentración máxima de 816.7 µg/m<sup>3</sup> (12 de diciembre a las 11:00 horas); para la zona este, la estación CRS presentó una concentración máxima de 1495 µg/m<sup>3</sup> (07 de diciembre a las 23:00 horas); para la zona centro, la estación SBJ presentó una concentración máxima de 791.2 µg/m<sup>3</sup> (21 de diciembre a las 09:00 horas); y en la zona sur, la estación VMT presentó una concentración máxima de 1794 µg/m<sup>3</sup> (01 de diciembre a las 16:00 horas).

Respecto a la figura N° 08b se observa que las concentraciones promedio de cada 8 horas de O<sub>3</sub> registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire (100 µg/m<sup>3</sup> como máxima media diaria de 8 horas) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo apreciar que para la zona norte, la estación CRB presentó una concentración máxima de 69.9 µg/m<sup>3</sup> (22 de diciembre); en la zona este, la estación SJL una concentración máxima de 43.9 µg/m<sup>3</sup> (25 de diciembre); y en la zona centro, la estación SBJ una concentración máxima de 50.3 µg/m<sup>3</sup> (10 de diciembre).

Por otro lado, en la figura N° 08c, se observa que las concentraciones horarias de NO<sub>2</sub> registradas en las estaciones no superaron el valor de su ECA-aire (200 µg/m<sup>3</sup> como promedio horario) durante los días monitoreados. Asimismo, se pudo destacar que, en la zona norte, la estación PPD alcanzó una concentración máxima de 64.4 µg/m<sup>3</sup> (05 de diciembre a las 11:00 horas); en la zona este, la estación CRS alcanzó una concentración máxima de 83.1 µg/m<sup>3</sup> (08 de diciembre a las 08:00 horas); en la zona centro, la estación SBJ una concentración máxima de 45.3 µg/m<sup>3</sup> (21 de diciembre a las 08:00 horas); y en la zona sur, la estación VMT una concentración máxima de 45.5 µg/m<sup>3</sup> (28 de diciembre a las 12:00 horas).

Figura N°08. Variación de las concentraciones del CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) por decadiaria en el AMLC.



Durante el mes de diciembre, las mayores concentraciones del CO se registraron principalmente en horarios diurnos de mayor tránsito vehicular del AMLC (08:00 horas hasta las 12:00 horas). Asimismo, los valores más altos fueron registrados en la decadiaria 1, los cuales estarían asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (87% de las emisiones de CO provienen de los vehículos a gasolina/gasohol<sup>11</sup>) durante la segunda parte de la decadiaria 1 (ver Figura N° 05) y a episodios de disminución de la altura de la capa límite atmosférica en dicha decadiaria (ver Figura N° 02d).

Respecto al O<sub>3</sub> en el AMLC, se registraron las mayores concentraciones en los horarios posteriores al periodo de máxima radiación solar<sup>12</sup> (comprendido entre las 11:00 horas y 15:00 horas). Asimismo, las concentraciones más altas de O<sub>3</sub> fueron registradas en la decadiaria 1 y 3, cuya formación pudo estar condicionada al incremento de la actividad vehicular durante gran parte de la decadiaria 3 así como durante la segunda mitad de la decadiaria 1 (ver Figura N° 05).

Por otro lado, las concentraciones más altas del NO<sub>2</sub> fueron registradas durante la decadiaria 2 y 3, las cuales pudieron estar asociadas principalmente al incremento de la actividad vehicular (89% de las emisiones de NOX provienen de vehículos a diésel<sup>13</sup>) en ambas decadiarias (ver Figura N° 05); y de igual manera, pudo asociarse a episodios de disminución de la altura de la capa límite atmosférica (ver Figura N° 02d) en los mencionados periodos.

<sup>11</sup> 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>

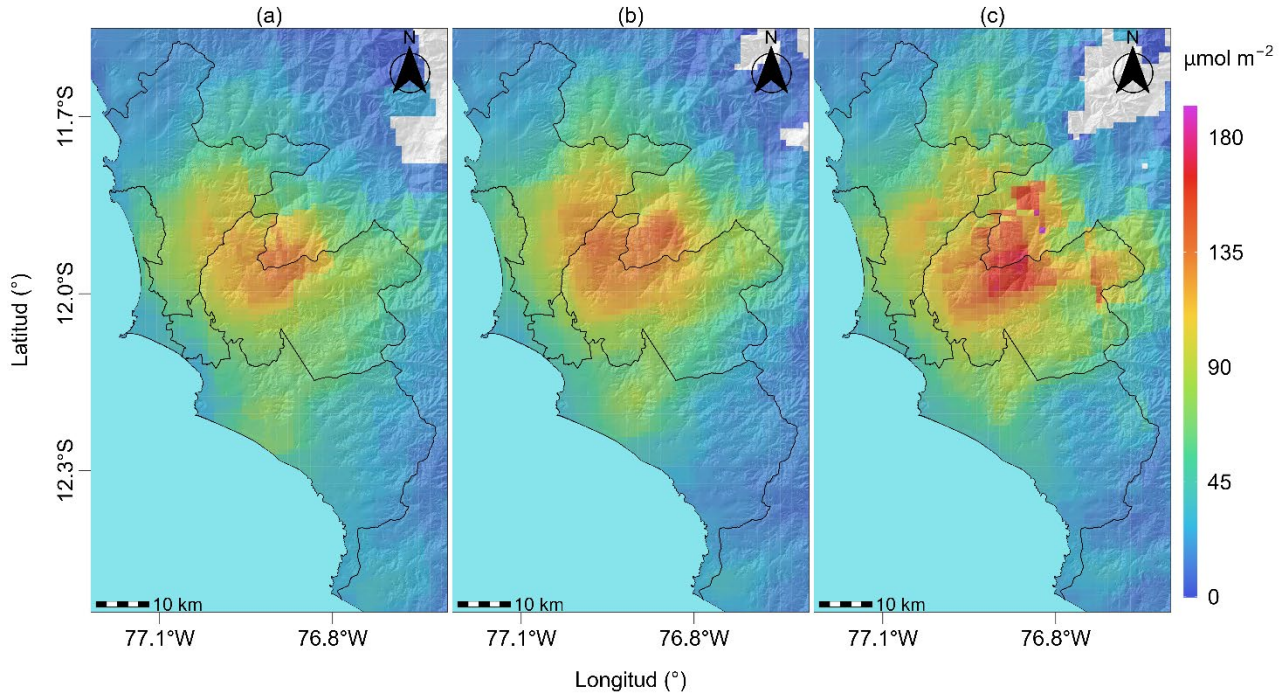
<sup>12</sup> Ozone and volatile organic compounds in the metropolitan área of Lima- Callao, Perú. Obtenido de: <https://rdcu.be/3z8c>

<sup>13</sup> 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>

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

La figura N° 09, muestra la distribución espacial de la densidad de la columna vertical troposférica del NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ), obtenidas del satélite Sentinel 5P (instrumento Tropomi) a una resolución aproximada de 5 km  $\times$  3.5 km durante el mes de diciembre. Es así que, la figura N°09a, muestra la distribución espacial promedio de NO<sub>2</sub> en la primera decadiaria (1 a 10 de diciembre), la figura N°09b, en la segunda decadiaria (11 al 20 de diciembre) y la figura N°09c en la tercera decadiaria (21 al 31 de diciembre).

Figura N°09. Distribución espacial de la columna del NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ) en la troposfera del AMLC.



Durante la primera decadiaria, la mayor densidad del NO<sub>2</sub> en la columna vertical troposférica se registró principalmente en la zona de Lima Norte y Este, alcanzando valores máximos entre 115 y 135  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ , lo cual pudo estar relacionado al incremento del tránsito vehicular lento durante la segunda mitad de esta decadiaria (ver Figura N° 05). Durante la segunda decadiaria se presentó un incremento de la densidad del NO<sub>2</sub> con respecto a la primera decadiaria de hasta 21.6%, alcanzando sus mayores valores principalmente en la zona de Lima Este con 139  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ , lo cual pudo estar relacionado a los altos valores del tránsito vehicular lento durante toda la decadiaria (ver Figura N° 05). Finalmente, para la tercera decadiaria hubo un nuevo incremento de los valores con respecto a la segunda decadiaria de hasta 24.9%, alcanzando sus mayores valores principalmente en la zona de Lima Este con 169  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ , lo cual pudo estar relacionado a incrementos del tránsito vehicular lento para los últimos días (ver Figura N° 05). 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>14,15</sup>

<sup>14</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>15</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>





---

## 7. CONCLUSIONES

- Las condiciones meteorológicas influyeron en el comportamiento diario de los contaminantes del aire en el AMLC durante el mes de diciembre. La disminución de la altura de la capa límite atmosférica en la decadiaria 1, favoreció al incremento del PM<sub>10</sub>. Asimismo, el incremento de los valores de humedad relativa y la disminución de la altura de la capa límite atmosférica en la decadiaria 1 y 3, generaron condiciones para un incremento del PM<sub>2.5</sub>.
- Los valores altos del tránsito vehicular lento que se presentaron en la decadiaria 2 y 3 influyeron en el incremento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> de acuerdo a los registros de la REMCA. En el caso de los contaminantes gaseosos como el CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> se presentaron altos registros de concentración para los horarios y días con incrementos del tránsito vehicular lento.
- Las concentraciones diarias del PM<sub>10</sub> mostraron en promedio sus mayores valores en la decadiaria 1 y 3 siendo la estación CRS la que superó su respectivo ECA-aire durante la decadiaria 1. Asimismo, las concentraciones diarias del PM<sub>2.5</sub> fueron mayores en promedio para la decadiaria 1 y 3; sin embargo, siendo la estación CRS superó su respectivo ECA-aire en las 3 decadiarias y la estación CRB durante las decadiarias 2 y 3. Cabe precisar que los incrementos de PM<sub>2.5</sub> en la decadiaria 3 para los días 25 y 31 pudieron estar influenciados por el uso de pirotécnicos en el contexto de las fiestas de navidad y año nuevo.
- La densidad de NO<sub>2</sub> en la columna vertical troposférica mostró sus mayores valores durante la decadiaria 2 y 3 principalmente en las zonas Norte y Este. Estos valores también se vieron reflejados en los valores altos de las concentraciones en superficie registradas por las estaciones de la REMCA.
- Con respecto a los estados de la calidad del aire para el contaminante PM<sub>10</sub>, se pudo apreciar que las estaciones CRS, SJL y CRB presentaron la mayor cantidad de días con estado de calidad del aire de “Moderado”. Por otro lado, para el contaminante PM<sub>2.5</sub>, la estación CRB y CRS alcanzaron 1 y 4 días con estado de calidad del aire de “Insalubre” y además presentaron la mayor cantidad de días con estado de calidad del aire de “Insalubre para grupos sensibles”, seguido de la estación SJL y SMP.

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

De acuerdo al pronóstico climático<sup>17</sup> para el mes de enero del 2024, 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 esperaría un ligero incremento de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> se estarían manteniendo en un rango similar a las registradas en el mes de diciembre de 2023, a excepción de los días en los cuales las mediciones posiblemente se vieron influenciadas por el uso de pirotécnicos en el contexto de las fiestas de navidad y año nuevo.

---

<sup>17</sup> Documento: Boletín climático nacional – diciembre 2023 SENAMHI. Obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-126.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. José Hitoshi Inoue Velarde ([jinoue@senamhi.gob.pe](mailto:jinoue@senamhi.gob.pe))  
Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio  
Ing. Dayana Lucero Acuña Valverde  
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 febrero del 2024

---

