



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Dirección de Meteorología y
Evaluación Ambiental
Atmosférica
Subdirección de Evaluación del
Ambiente Atmosférico

Monitoreo de la atmósfera en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha

Octubre – Diciembre 2025



PRESENTACIÓN

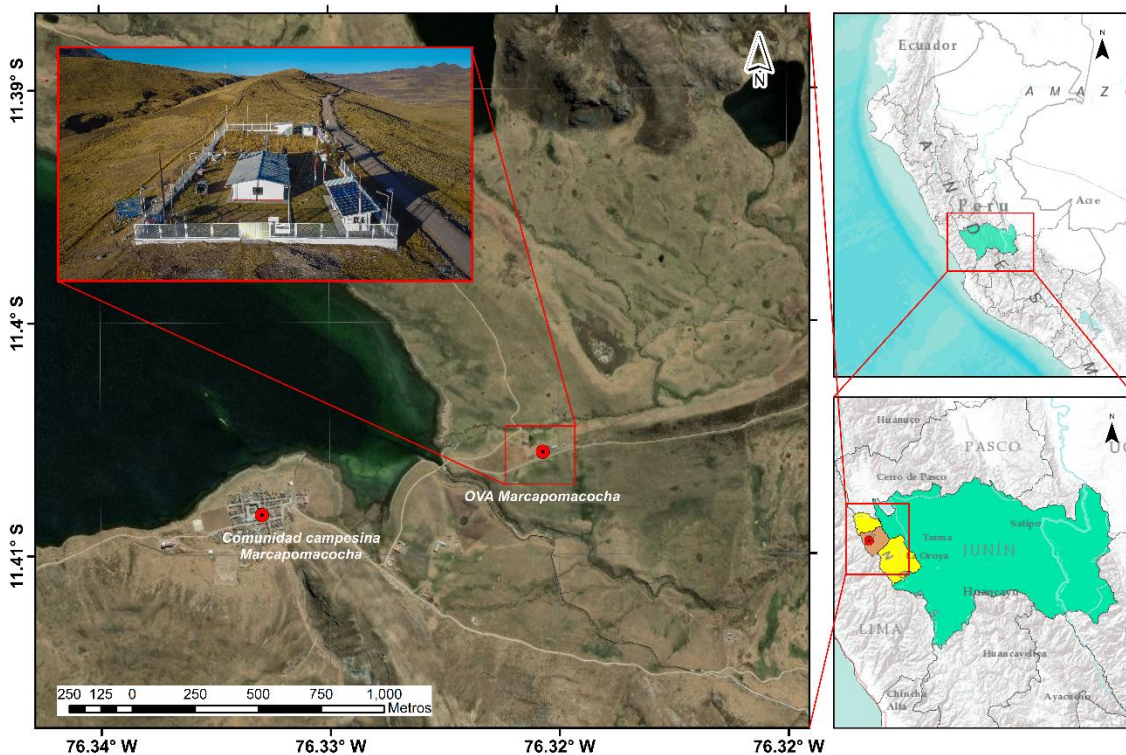
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) a través de la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA) de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA) publica el boletín trimestral de Monitoreo de la Atmósfera en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha) con la finalidad de informar a las autoridades, agricultores, profesionales y población en general sobre el comportamiento de las variables meteorológicas, así como, de las propiedades físicas y la composición química de la atmósfera en la sierra central del Perú durante el cuarto trimestre del 2025.

OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCHA

El Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha), se encuentra ubicado políticamente en el departamento de Junín, provincia de Yauli y distrito de Marcapomacocha, asimismo, geográficamente se ubica en las coordenadas 11.4044°S, 76.3250°W y a una altitud de 4443 m s.n.m. (ver Figura N° 1).

En el OVA Marcapomacocha, se cuenta con una Estación Meteorológica Automática (EMA) que registra la temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar global y vientos. Por otro lado, el OVA Marcapomacocha forma parte de la red de estaciones del programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y es del tipo regional¹. Actualmente, cuenta con las seis (06) áreas focales que estudia el programa VAG, las cuales son: Ozono, Gases Reactivos, Gases de Efecto Invernadero, Deposición Atmosférica Total, Radiación Ultravioleta y Aerosoles.

Figura N° 1 Mapa de ubicación del OVA Marcapomacocha



¹ GAW Regional station in WMO Region III - South America: (<https://gawis.meteoswiss.ch/GAWIS/#/search/station/stationReportDetails/0-20008-0-MPO>)

I. ANÁLISIS SINÓPTICO

En octubre², en niveles altos, se observó una circulación anticiclónica con una configuración más zonal. Asimismo, se observó, al Jet Subtropical (JS) al sur de los 25°S, con velocidades que alcanzaron valores cercanos a 35 m/s, manteniendo una configuración zonal bien definida sobre el Pacífico Sur y extendiéndose hacia latitudes altas (Ver Figura N°2a). En niveles medios (500 hPa), predominó una circulación zonal del oeste desde los 25°S hacia el sur, asociada al paso de ondas de escala sinóptica que dominaron gran parte del mes sobre latitudes altas. Se observaron vaguadas de onda corta extendiéndose sobre Chile y Argentina, que favorecieron el avance de frentes fríos y el transporte de aire más seco hacia el interior del continente. En el Atlántico se distinguieron dos núcleos anticiclónicos, uno tropical, al este de Brasil, que impulsó flujos húmedos del este hacia la Amazonía y promovió convección en la franja ecuatorial; y otro subtropical, más al sur (Ver Figura N°2d).

En noviembre³, en niveles altos, predominaron vientos del oeste con una fuerte componente zonal, especialmente desde los 30°S hacia el sur. Se destaca la presencia del Jet Polar (JP) entre los 40°S y 60°S, alcanzando velocidades cercanas a los 30 m/s, mientras que el Jet Subtropical (JS) se presentó acoplado al ramal norte del JP sobre el sur y sudeste de Sudamérica, reforzando el flujo intenso en latitudes medias (Ver Figura N°2b). En niveles medios, se observa que gran parte de Sudamérica, especialmente sobre Perú, Brasil, Bolivia, Ecuador y Colombia, muestra un predominio de vientos del este, lo que sugiere un flujo de aire húmedo en esas regiones, favoreciendo la presencia de humedad elevada (60-70%). En el extremo sur del Perú, se puede notar una intrusión de aire seco. Además, se identifican dos sistemas anticiclónicos: uno sobre el Pacífico, que refuerza la presencia de aire seco en el flanco occidental de Sudamérica, y otro al noreste de Brasil, que promueve movimientos descendentes y la advección de aire seco desde el Atlántico, manteniendo bajos contenidos de humedad, especialmente en esa región (Ver Figura N°2e).

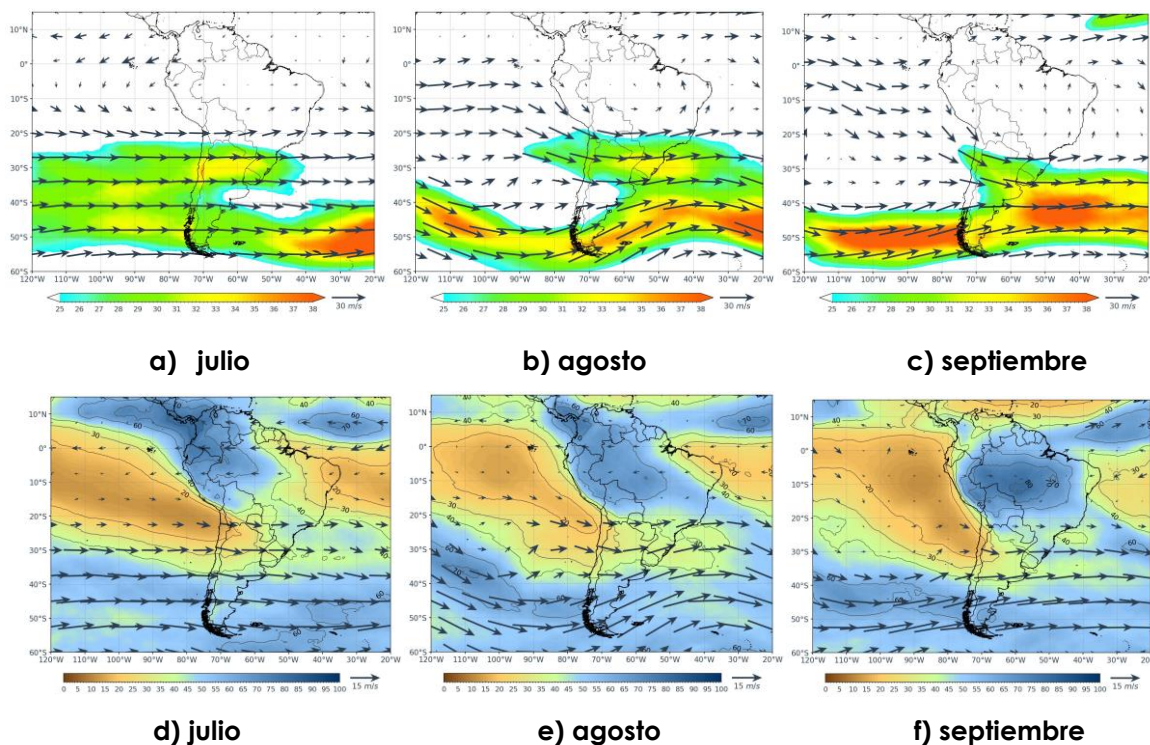
Durante diciembre⁴, en niveles altos, la Alta de Bolivia (AB) presentó una configuración débil, sin una estructura bien consolidada durante el periodo analizado. Desde aproximadamente los 15°S hacia latitudes mayores, predominan vientos del oeste con componente zonal, apreciándose una vaguada débil frente a la costa de Perú y norte de Chile, mientras que hacia el Pacífico oriental se mantuvo un flujo más anticiclónico (Ver Figura N°2c). En niveles medios se observó un alto contenido de humedad (60-90%) sobre el centro-norte de Sudamérica, con un núcleo bien marcado sobre Brasil, extendiéndose hacia Perú, Bolivia y la Amazonía occidental, favorecido por flujos del este. En contraste, sobre el Pacífico oriental frente a Perú y Chile predominó una masa de aire más seca. Al sur de los 25°S dominó el flujo del oeste, propio de latitudes medias, con un incremento de vientos sobre el sur del continente. Este patrón generó condiciones más inestables en el flanco sur de la Amazonía, mientras que sobre el centro-sur de Chile y Argentina prevalecieron condiciones más estables (Ver Figura N°2f).

² VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, OCTUBRE: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-128.pdf>

³ VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, NOVIEMBRE: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-129.pdf>

⁴ VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, DICIEMBRE: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-130.pdf>

Figura N° 2 Campos de viento en niveles altos de la atmósfera 250 hPa por mes (a, b y c) y Campos de humedad relativa y vientos en niveles medios de la atmósfera 500hPa por mes (d, e y f).



II. ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS

Con fines de analizar la predominancia de las masas de aire que llegan al OVA Marcapomacocha, se estimaron retrorrayectorias con el modelo Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPPLIT) y para lo cual se utilizó datos de reanálisis. Dichas retrorrayectorias para 500h Pa se analizaron por decadiarias mediante la estimación de clústeres o agrupamientos, donde la primera decadiaria del mes corresponde desde el día 1 al 10, la segunda decadiaria corresponde desde el día 11 al 20 y la tercera corresponde desde el día 21 hasta último día de cada mes.

Para el mes de octubre, se observó que, en las tres decadiarias analizadas, predominaron masas de aire provenientes del oeste (O), con origen principalmente marítimo. Para el mes de noviembre, durante la primera decadiaria se tuvieron influencias semejantes tanto del O como del este (E), contribuyendo condiciones marítimas como continentales, en la segunda decadiaria se tiene influencia principalmente de continente de dirección sur suroeste (SSO) y para la tercera decadiaria se tuvo una predominancia de masas de aire de dirección O, de carácter mayormente continental con un breve aporte marítimo. Finalmente, en diciembre se tuvieron trayectorias ligeramente más elongadas, en la primera decadiaria se tuvo una predominancia del sur (S), con influencia netamente continental, para la segunda decadiaria se tuvo una influencia principalmente del O con influencia netamente marítima y para la tercera decadiaria principalmente del E con influencia de la selva central.

Figura N° 3 Clúster de retro trayectorias por cada decadiaria y mes del cuarto trimestre del 2025



III. MONITOREO METEOROLÓGICO LOCAL

A partir de los datos de la Estación Meteorológica Automática del OVA Marcapomacocha, se llevó a cabo un análisis de la temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), precipitación (mm), radiación solar (W/m²), intensidad (m/s) y dirección (°) de vientos durante el cuarto trimestre del año 2025.

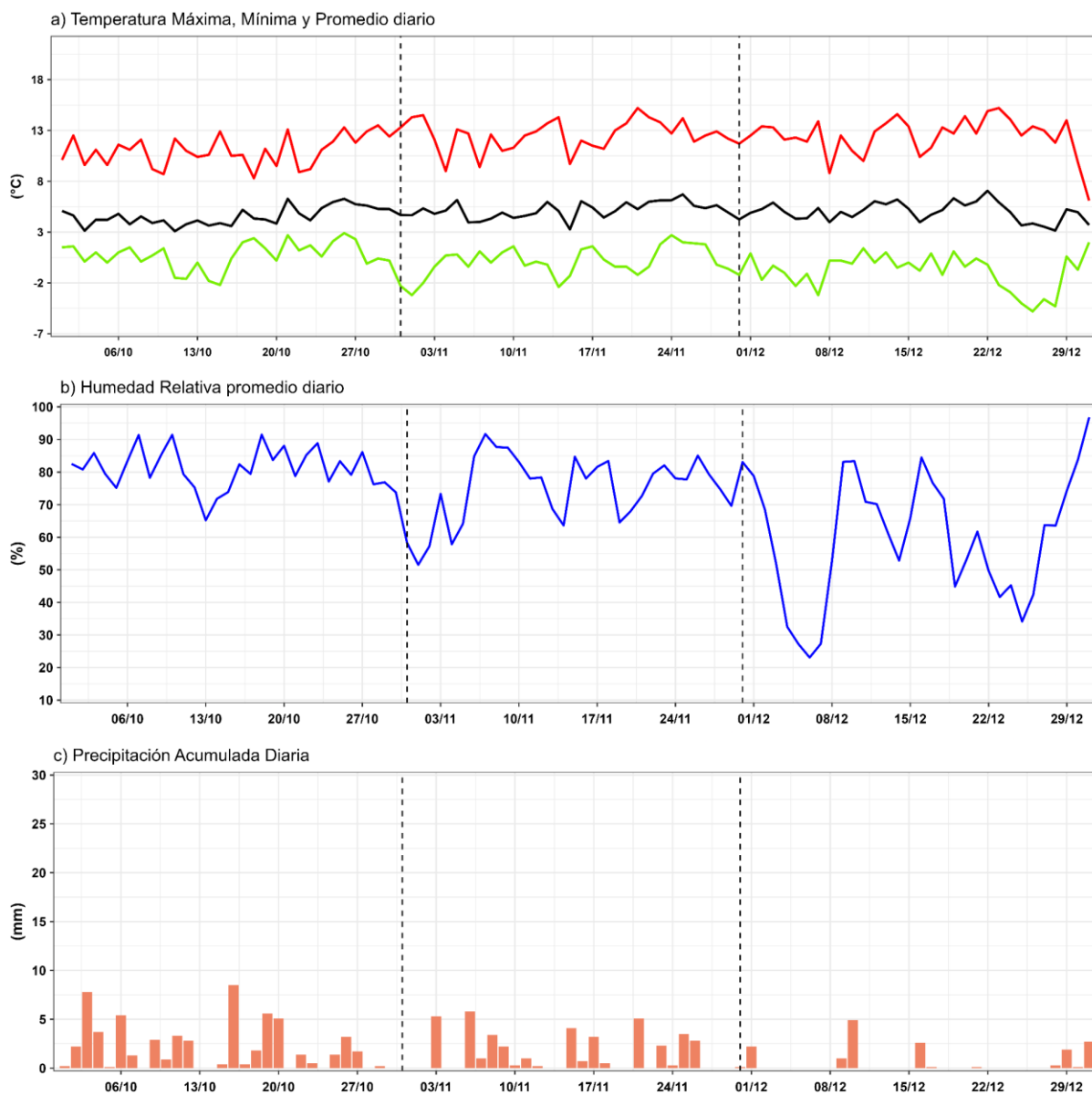
En octubre, la temperatura máxima promedio del aire fue de 11.1°C, mientras que la mínima promedio fue de 0.6°C. En noviembre, se registró una temperatura máxima promedio de 12.6°C y una mínima promedio de 0.1°C. Para diciembre, la temperatura máxima promedio fue de 12.4°C, mientras que la mínima promedio subió a -0.8°C (Figura N°4a).

En cuanto a la humedad relativa promedio diario, en octubre se alcanzó una máxima de 91.4%, una mínima de 58.2% y un promedio mensual de 80.3%. En noviembre, se registró una

máxima de 91.6%, una mínima de 51.5% y un promedio de 75.6%. En diciembre, se registró una máxima de 96.8%, una mínima de 23.1% y un promedio de 59.2% (Figura N°4b).

En relación con la precipitación acumulada diaria, en octubre se alcanzó un valor máximo de 8.5 mm y un acumulado mensual de 60.8 mm. En noviembre, se obtuvo un valor máximo de 5.8 mm y un acumulado mensual de 41.8 mm. En diciembre, se obtuvo un valor máximo de 4.9 mm y un acumulado mensual de 15.9 mm (Figura N°4c).

Figura N° 4 Series temporales de la temperatura, humedad relativa y precipitación

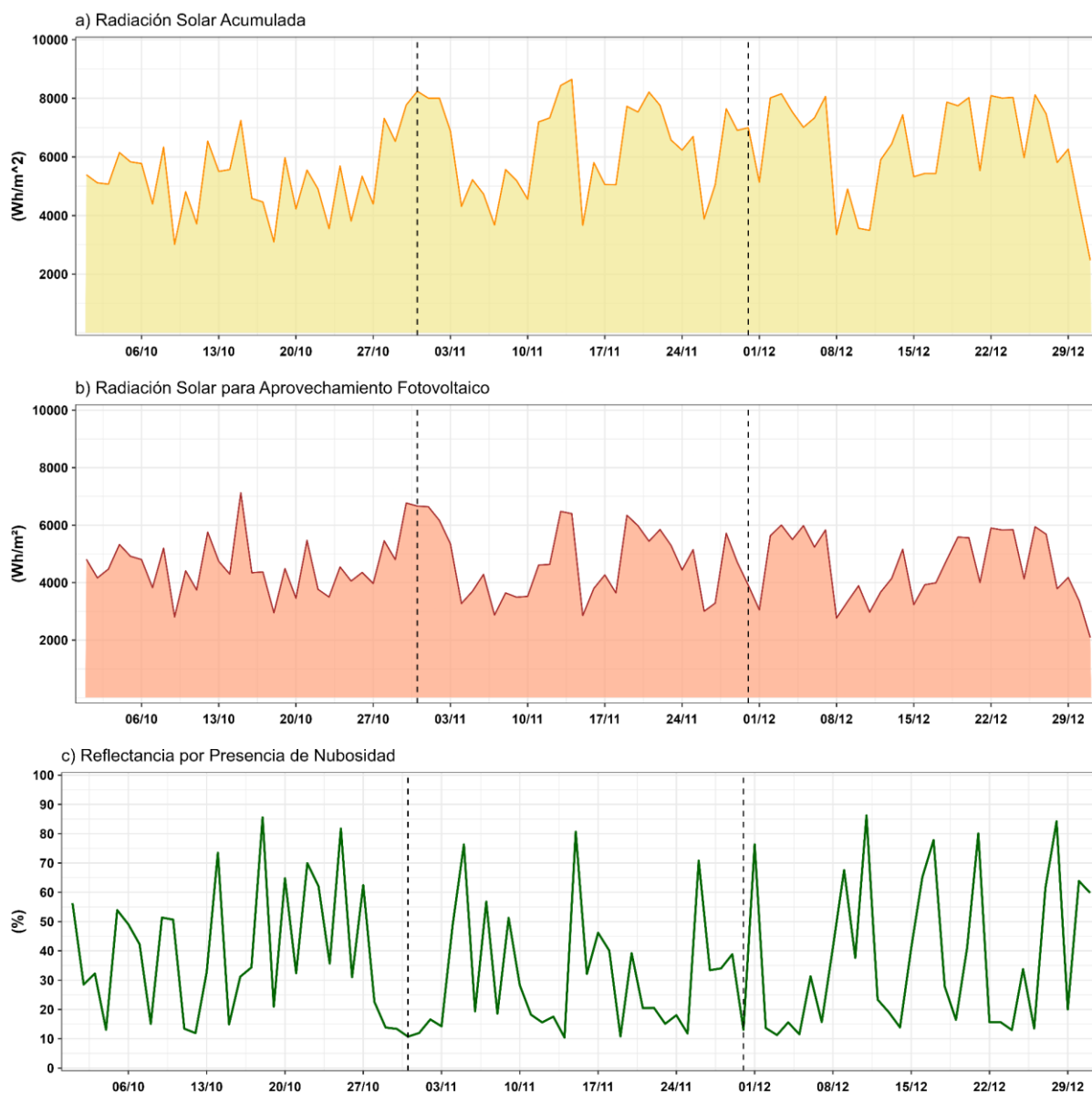


Respecto a la radiación solar global acumulada, en octubre se obtuvo una máxima de 8240 W/m² (día 31), mientras que el valor mínimo fue de 3017 W/m² (día 9). Durante noviembre, se alcanzó una máxima de 8646 W/m² (día 14), mientras que el valor mínimo fue de 3668 W/m² alcanzado el día 7. En diciembre, se alcanzó una máxima de 8155 W/m² (día 3), mientras que el valor mínimo fue de 2470 W/m² (día 31) (ver Figura N°5a).

Asimismo, respecto a la radiación solar para aprovechamiento fotovoltaico (con una inclinación de 30° al norte), se alcanzó un pico máximo de 7127 W/m² para el 15 de octubre. Para noviembre, se registró un valor máximo de 6642 W/m² (día 1) y finalmente, en diciembre se encontró un valor máximo de 6005 W/m² (día 3) (ver Figura N°5b).

Con respecto a la reflectancia por nubosidad, se observó que durante octubre se alcanzó un valor máximo de 85.5%, registrado el día 18, durante el mes de noviembre se alcanzó el valor máximo de 80.6% el día 15, en diciembre se registró el valor más alto alcanzando un 86.2% el día 11 (ver Figura N°5c).

Figura N° 5 Series temporales de radiación solar y reflectancia por nubosidad

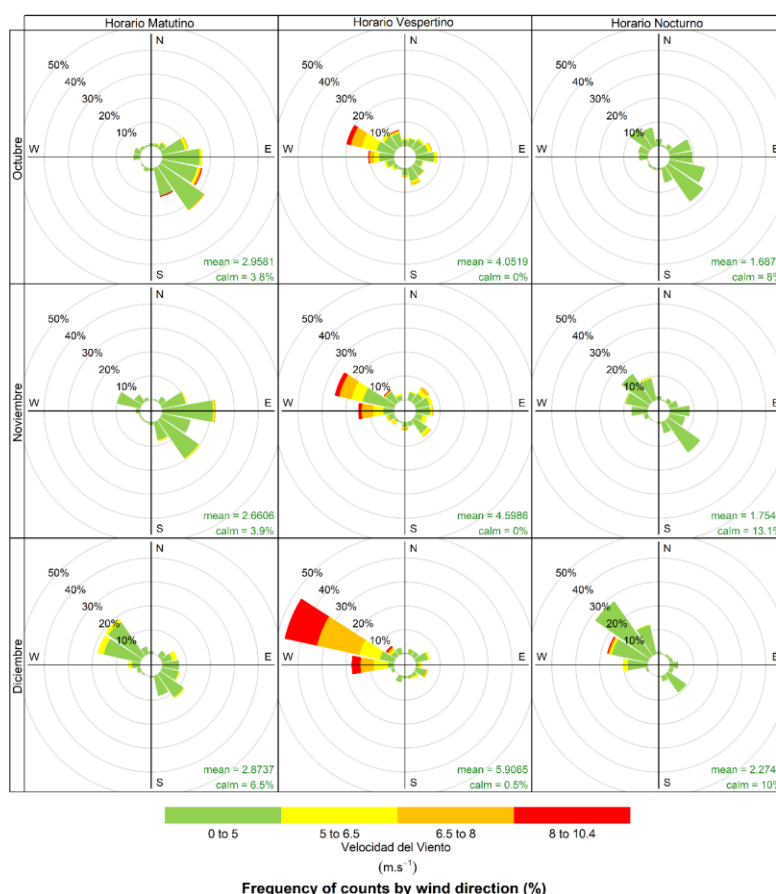


En la Figura N° 6, se observan las rosas de vientos para los horarios matutino (07:00 a 11:59 horas), vespertino (12:00 a 18:59 horas) y nocturno (19:00 a 06:59 horas) de los meses evaluados, en donde las categorías de la intensidad del viento corresponden a: débiles (0 – 5 m/s), moderados (5 – 6.5 m/s), fuertes (6.5 – 8 m/s) y extremos (>8m/s).

Durante el horario matutino, la dirección del viento predominante fue del sureste (SE) en octubre y con intensidad fuerte; mientras que para noviembre se tiene predominancia de vientos desde el este (E) con magnitud fuerte y para diciembre se tuvo una dirección predominante del noroeste (NO) con intensidad moderada. Por otra parte, en el horario vespertino, la dirección predominante fue del oeste noroeste (ONO) con una intensidad extrema. Finalmente, para el horario nocturno, en el mes de octubre y noviembre, los vientos tuvieron una dirección predominante del sureste (SO), con una intensidad débil; mientras que, para diciembre se observó una dirección predominante del noroeste (NO), con una intensidad débil.

Cabe resaltar que, el horario vespertino presentó durante los tres meses de estudio vientos con intensidades máximas dentro de la categoría de extremo.

Figura N° 6 Rosa de vientos por horario y mes del cuarto trimestre 2025



IV. MONITOREO DE FOCOS DE CALOR

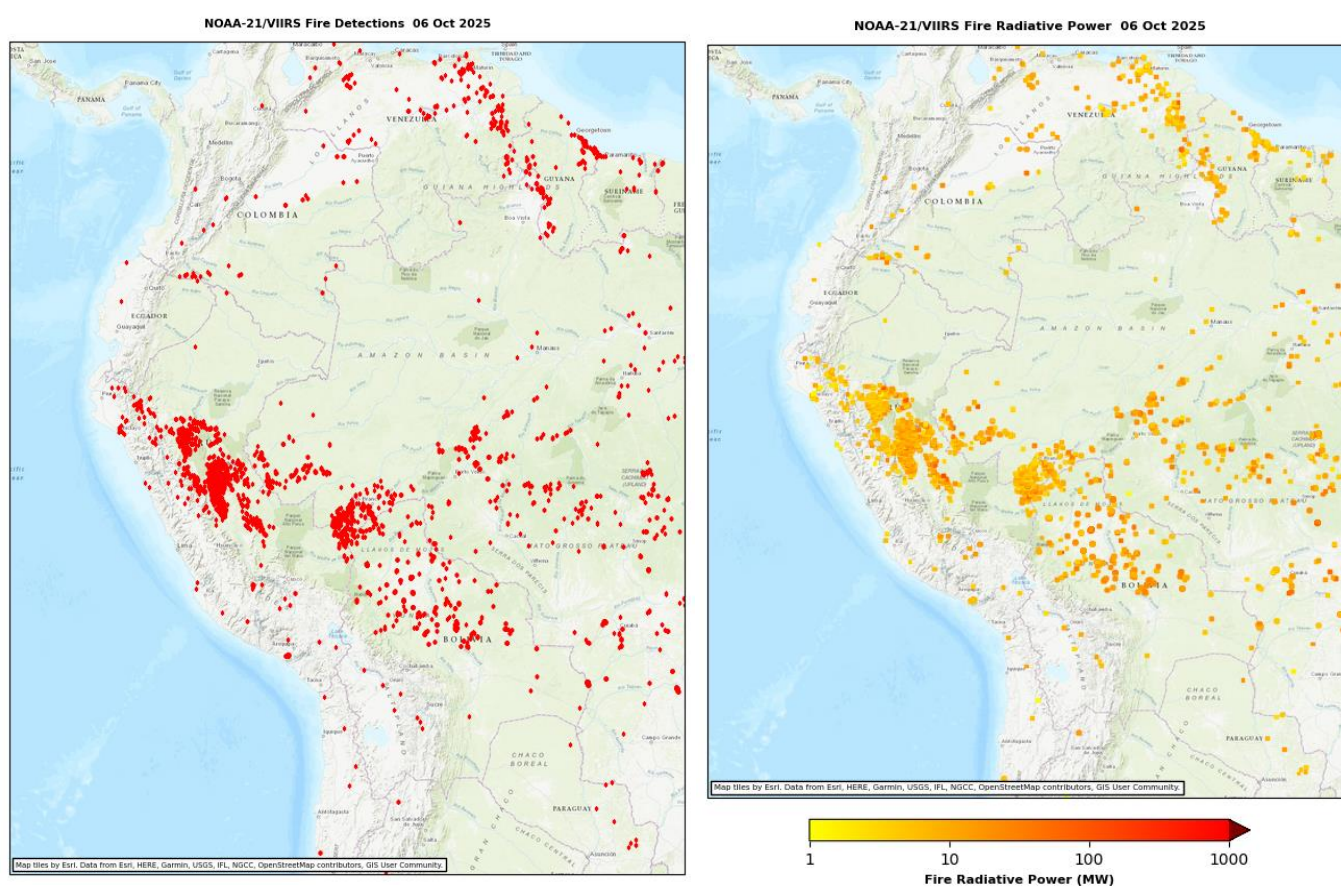
La quema de biomasa (vegetación viva o muerta) que se da durante los incendios en pastizales, bosques y residuos agrícolas constituye una importante fuente de emisiones gaseosas: gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O), gases reactivos (CO, NO₂, NO) e hidrocarburos que actúan como precursores de ozono troposférico, gases que agotan la

capa de ozono como cloruro y bromuro de metilo (CH_3Cl y CH_3Br); así como de material particulado⁵.

Por ello, es crucial realizar un seguimiento permanente de los focos de calor, no solo a nivel nacional, sino también en toda Sudamérica. Esto se debe a que los sistemas atmosféricos pueden transportar estos contaminantes desde países vecinos. Es así que, utilizando el producto VIIRS-EFIRE-VIIRS-EDR del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) del Satélite NOAA-21⁶, se realizó el seguimiento de los focos de calor durante el cuarto trimestre del 2025.

En la Figura N°7 se presentan los focos de calor y su potencial radiativo de fuego en Sudamérica durante el 6 de octubre del 2025, donde se destaca una importante presencia y energía térmica en la sierra central y norte del Perú y en países vecinos como Brasil y Bolivia.

Figura N° 7 Focos de calor en Sudamérica y su potencial radiativo de fuego (FRP)



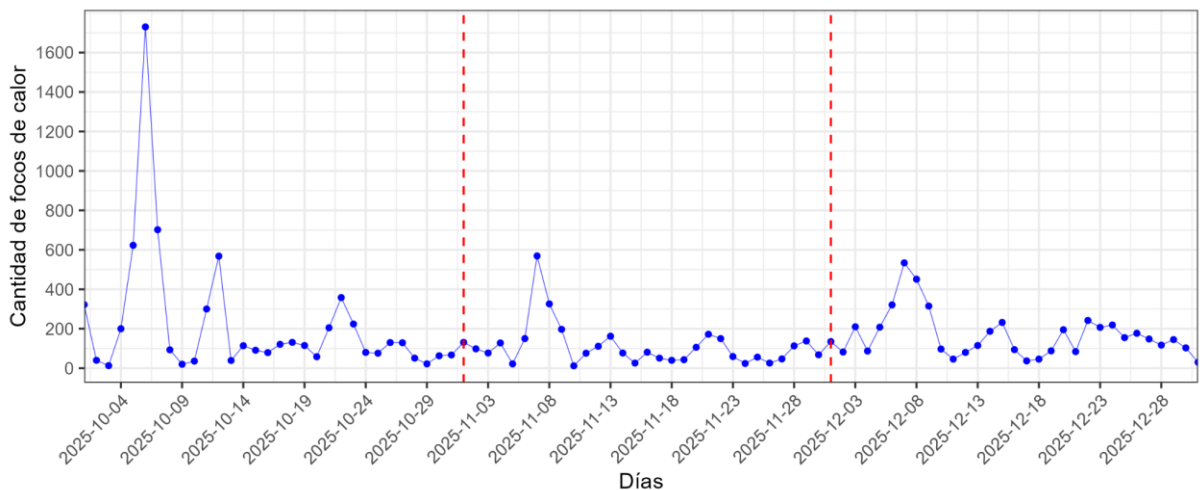
Por otro lado, en la Figura N° 8 se muestra una serie temporal de la cantidad diaria de focos de calor en el Perú durante el cuarto trimestre del año, evidenciándose el pico más alto en la primera decadiaria del mes de octubre (1710 focos de calor), seguida de una disminución significativa hasta el final del periodo de análisis, con algunos incrementos en días puntuales.

⁵ La quema de biomasa en Sudamérica vista desde el espacio. Obtenido de:

https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Canziani/publication/242093033_LA_QUEMA_DE_BIOMASA_EN_SUDAMERICA_VISTA_DESDE_EL_ESPACIO/links/00463528378a684dfd00000/LA-QUEMA-DE-BIOMASA-EN-SUDAMERICA-VISTA-DESDE-EL-ESPACIO.pdf

⁶ Datos VIIRS : <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>

Figura N° 8. Cantidad de focos de calor en el Perú durante el cuarto trimestre de 2025



V. MONITOREO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ATMÓSFERA

V.1 ÁREA FOCAL DE OZONO

En el OVA Marcapomacocha, se realiza el monitoreo de la Columna Total de Ozono (CTO), a través del Espectrofotómetro Dobson (Ver Figura N°9).

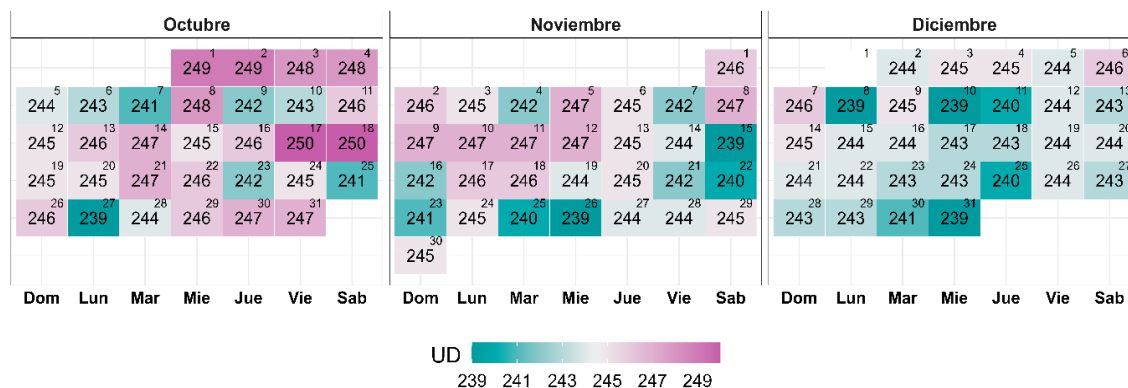
Figura N° 9 Espectrofotómetro Dobson N°087



En la Figura N° 10 se presentan los promedios diarios de la CTO en Unidades Dobson (UD) detallados en un calendario correspondiente al cuarto trimestre del 2025. De esta manera, en octubre se observa que los valores mínimos y máximos de la CTO varían entre 239 UD (día 27) y 250 UD (día 17 y 18). Para noviembre, los valores oscilaron entre 239 UD (día 26) y 247 UD (día 5, 8, 9, 10,11 y 12) y para diciembre, entre 239 UD (día 8, 10 y 31) y 246 UD (día 6 y 7). En general, los valores de CTO no estuvieron por debajo de 220 UD, por lo que no se observaron eventos de agujeros de ozono sobre el OVA Marcapomacocha. Cabe precisar que, los valores de la CTO en el observatorio son usualmente bajos en todas las estaciones del año en comparación con latitudes medias y altas. Un análisis detallado del comportamiento de la CTO se encuentra en

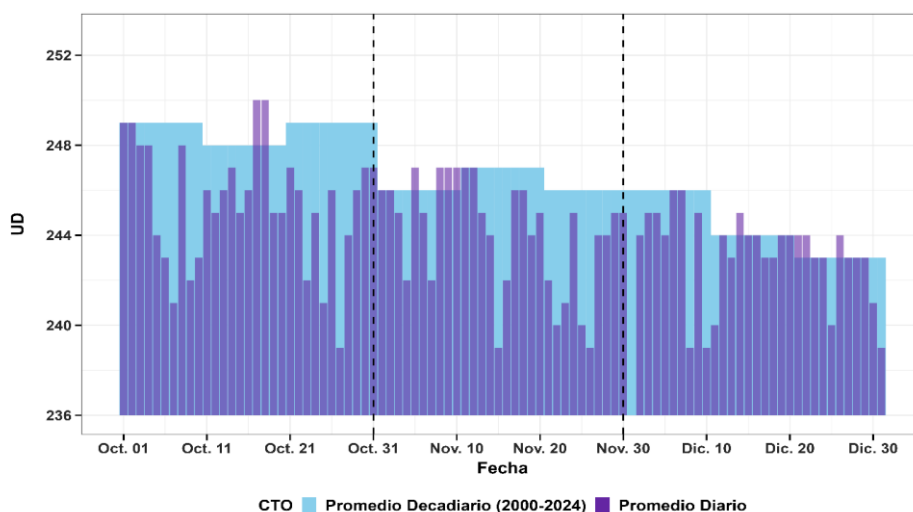
los boletines mensuales de vigilancia del ozono atmosférico realizados por el SENAMHI^{7, 8, 9}.

Figura N° 10 Calendario de promedios diarios de la CTO



Asimismo, se realizó una comparación de los valores promedio diarios de la CTO con respecto a los promedios decadiarios del periodo 2000- 2024 (Ver Figura N°11). En ese sentido, se evidencia que la mayoría de los valores diarios estuvieron por debajo de su promedio decadiario, a excepción de la segunda decadiaria de octubre, primera decadiaria de noviembre y tanto la segunda como tercera decadiaria de diciembre. Con respecto a las excedencias, se evidencia que los mayores incrementos con respecto a la normal decadiaria, se encuentran en la segunda decadiaria de octubre (día 17 y 18). En general, se observa una tendencia a la disminución hacia el mes de diciembre, ello acorde con el comportamiento estacional de esta variable, la cual alcanza su pico máximo en el mes de setiembre y comienza a descender los siguientes meses.

Figura N° 11 Variación de promedios diarios de la CTO



⁷ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DEL OZONO ATMOSFÉRICO EN EL OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCCHA, OCTUBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03203SENA-150.pdf>)

⁸ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DEL OZONO ATMOSFÉRICO EN EL OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCCHA, NOVIEMBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03203SENA-151.pdf>)

⁹ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DEL OZONO ATMOSFÉRICO EN EL OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCCHA, DICIEMBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03203SENA-152.pdf>)

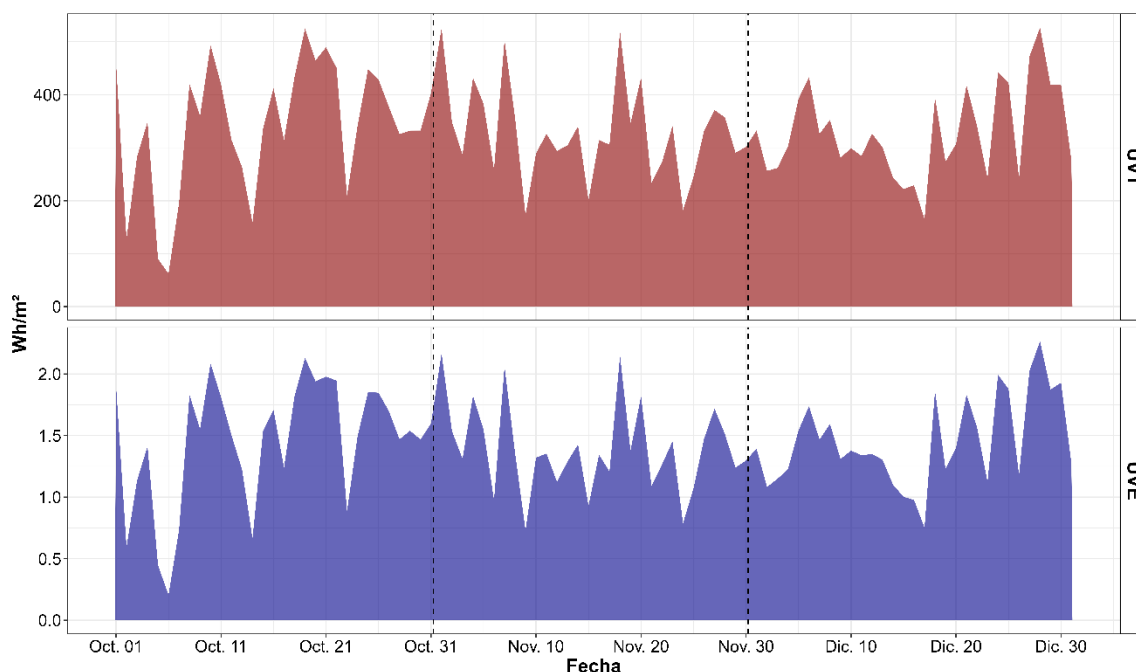
V.2 ÁREA FOCAL DE RADIACIÓN

A. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) se divide en tres bandas principales según la longitud de onda: UVC (100-280 nm), UVB (280-315 nm) y UVA (315-400 nm). La radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de radiación UVA con una pequeña parte de radiación UVB; en cambio, la radiación UVC es absorbida en la atmósfera por lo cual no alcanza a llegar a la superficie terrestre.¹⁰ Por su parte, La radiación ultravioleta eritemática (UVE) es una medida específica de la capacidad de la radiación UV para causar eritema, o enrojecimiento de la piel (quemaduras solares). No toda la radiación UV contribuye igualmente al eritema; la UVB tiene un impacto mucho mayor que la UVA. Por lo tanto, la radiación UVE pondera las diferentes longitudes de onda de la radiación UV según su capacidad para causar eritema.¹¹

En la Figura N°12, se muestra la variación de los valores diarios acumulados de la radiación ultravioleta eritemática (UVE) y de la radiación ultravioleta total (UVT) para el tercer trimestre de 2025. Durante el mes de octubre, se observaron valores acumulados entre 0.96 y 2.29 Wh/m² para el UVE y entre 232.5 y 532.6 Wh/m² para el UVT. Con respecto a noviembre, se encontraron entre 1.13 y 2.39 Wh/m² para el UVE y entre 252.1 y 553.2 Wh/m² para el UVT. Por su parte, diciembre presentó oscilaciones del UVE entre 0.82 y 2.38 Wh/m²; y del UVT entre 186.1 y 554.5 Wh/m². En general, el mayor valor de la UVE y la UVT se encontró en la tercera decadiaria de diciembre (día 28); mientras que, el menor valor en la primera decadiaria de octubre (día 6).

Figura N° 12 Variación de los acumulados diarios de la radiación UVE y UVT



¹⁰ Adaptado de Guía Práctica del Índice UV Solar Mundial. Obtenido de: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/d24c554a-aa30-4d9c-a6c0-df67484f7b7e/content>

¹¹ Adaptado de Nota Técnica N° 002-2016 SENAMHI. Obtenido de: <https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/pronostico/indiceuv/indiceuv.pdf>

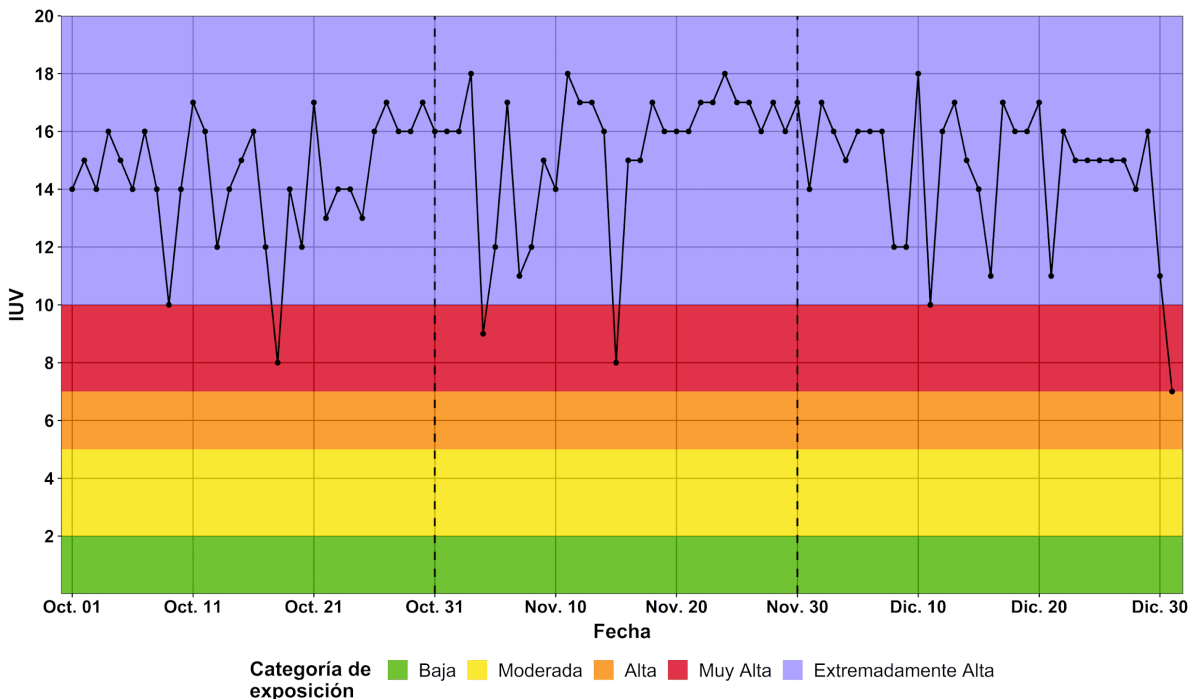
Asimismo, en promedio, la UVE representó el 0.4% de la UVT. Es importante señalar que el monitoreo de ambos tipos de radiación UV son complementarios y necesarios para una comprensión integral de la citada variable ambiental que contribuya al diseño de medidas adecuadas de protección a la salud de las personas ante los efectos nocivos por sobre exposición.

B. ÍNDICE ULTRAVIOLETA

El Índice Ultravioleta (IUV) es una magnitud adimensional que se expresa como un valor entero superior a cero; cuanto más alto es el valor, mayor es la probabilidad de sufrir lesiones cutáneas y oculares, y menos tiempo se necesita para que estas se produzcan.¹² De esta manera, al igual que la radiación ultravioleta eritemática, el índice UV pondera la radiación UV según su capacidad para causar daño a la piel, utilizando la curva de acción eritemática.¹³

En la Figura N°13 se muestra la variación de los valores máximos diarios del IUV (promedios de 30 minutos) para cada categoría de exposición según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para octubre, estos valores oscilaron entre 8 y 17; para noviembre, entre 8 y 18; y para diciembre, entre 7 y 18. Los valores del IUV más altos se presentaron principalmente en el mes de noviembre y primera decadiaria de diciembre; mientras que en la tercera decadiaria de diciembre (día 31) se presentó el valor más bajo (IUV de 7) correspondiente a la categoría de exposición Alta.

Figura N° 13 Variación de los valores máximos diarios del IUV

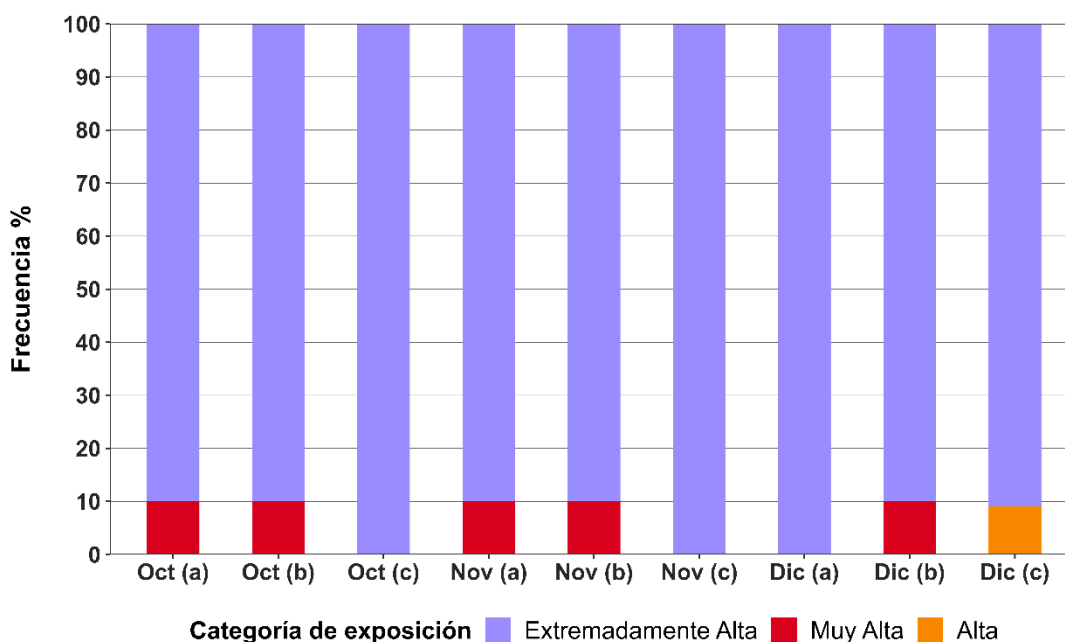


¹² Adaptado de Guía Práctica del Índice UV Solar Mundial. Obtenido de: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/d24c554a-aa30-4d9c-a6c0-df67484f7b7e/content>

¹³ Adaptado de Nota Técnica N° 002-2016 SENAMHI. Obtenido de: <https://idsep.senamhi.gob.pe/portaldesep/files/tematica/pronostico/indiceuv/indiceuv.pdf>

La Figura N° 14 presenta las frecuencias de las categorías de exposición de la OMS alcanzadas de acuerdo con los valores del IUV (máximos diarios) en el OVA Marcapomacocha durante la decadiaria primera (a), segunda (b) y tercera (c) de los meses de octubre, noviembre y diciembre. Durante el cuarto trimestre se evidencia una predominancia en la ocurrencia de la categoría de exposición Extremadamente Alta (por lo menos un 90%). En ese sentido, para la tercera decadiaria de octubre y noviembre, así como para la primera decadiaria de diciembre, se evidencia que todos los días presentaron una categoría de exposición Extremadamente Alta. Cabe resaltar que la exposición a valores del IUV por encima de la categoría “moderada” representa un riesgo para la salud de las personas. Un análisis detallado del comportamiento del IUV se encuentra en los boletines mensuales de vigilancia de la Radiación UV-B realizados por el SENAMHI^{14, 15, 16}.

Figura N° 14 Frecuencia de las categorías de exposición del IUV por decadiaria



En general, mayores valores del IUV diario en el OVA Marcapomacocha estarían asociados a una menor cantidad de ozono en la atmósfera, es decir, disminuye la CTO (Figura N°11) y se reduce la capacidad de la atmósfera para filtrar la radiación ultravioleta, y viceversa, cuando hay valores altos de la CTO tienden a reducirse los valores del IUV. Esto se puede evidenciar en la segunda decadiaria de octubre (día 17), la tercera decadiaria de octubre (día 27) y la primera decadiaria de diciembre (día 9).

Por otro lado, las condiciones meteorológicas también influyen en los valores altos del IUV, por ejemplo, a partir de una menor presencia de cobertura nubosa, que puede

¹⁴ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, OCTUBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-119.pdf>)

¹⁵ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, NOVIEMBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-120.pdf>)

¹⁶ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, DICIEMBRE, 2025 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-121.pdf>)

evidenciarse con menores valores de reflectancia de la banda 2 del satélite GOES16 (Figura N°5c) y viceversa, cuanto hay mayor nubosidad, ello se traduce en menores valores del IUV. Dicha asociación se presenta en gran medida en la segunda decadiaria de octubre (día 18) y la segunda decadiaria de noviembre (día 14).

V.3 ÁREA FOCAL DE GASES REACTIVOS

Durante el cuarto trimestre del año, se ha realizado la vigilancia ambiental atmosférica del Ozono Troposférico (O₃) mediante el equipo monitor de marca 2B Technologies modelo 205 (ver Figura N°15) del OVA Marcapomacocha.

Figura N° 15 Monitor de O₃ troposférico del OVA Marcapomacocha



Asimismo, se ha utilizado imágenes satelitales obtenidas mediante el instrumento TROPOMI del satélite Sentinel-5 Precursor, parte del programa Copernicus, para los siguientes gases reactivos: Compuestos Orgánicos Volátiles - Formaldehído (HCHO), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y Dióxido de Azufre (SO₂). El análisis decadiario de los mencionados gases se desarrolla a continuación:

A. OZONO TROPOSFÉRICO (O₃)

El ozono troposférico no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma a partir de reacciones químicas entre óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Esto ocurre cuando los contaminantes emitidos por automóviles, centrales eléctricas, entre otras fuentes, reaccionan químicamente en presencia de luz solar.¹⁷ La velocidad y el grado de formación de O₃ troposférico depende fuertemente de la radiación solar, de las emisiones antropogénicas de precursores y del ciclo biogénico de los COV. Sus concentraciones suelen ser mayores en zonas rurales o en la periferia urbana, ya que la generación fotoquímica de O₃ requiere cierta distancia desde las fuentes de emisión. Asimismo, en áreas urbanas con altos niveles de NO, el O₃ se destruye rápidamente al oxidar NO a NO₂, lo que explica sus bajas concentraciones. Por el contrario, en entornos menos contaminados, donde no hay suficiente NO para consumirlo, se puede observar mayores niveles de O₃ generado o transportado desde áreas urbanas e industriales.¹⁸

La Figura N° 16 presenta la evolución temporal de O₃ troposférico, expresada en microgramos por metro cúbico (µg/m³), durante el cuarto trimestre de 2025. Los valores corresponden a promedios móviles de 8 horas, empleado para su comparación con el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-aire), establecido en 100 µg/m³.

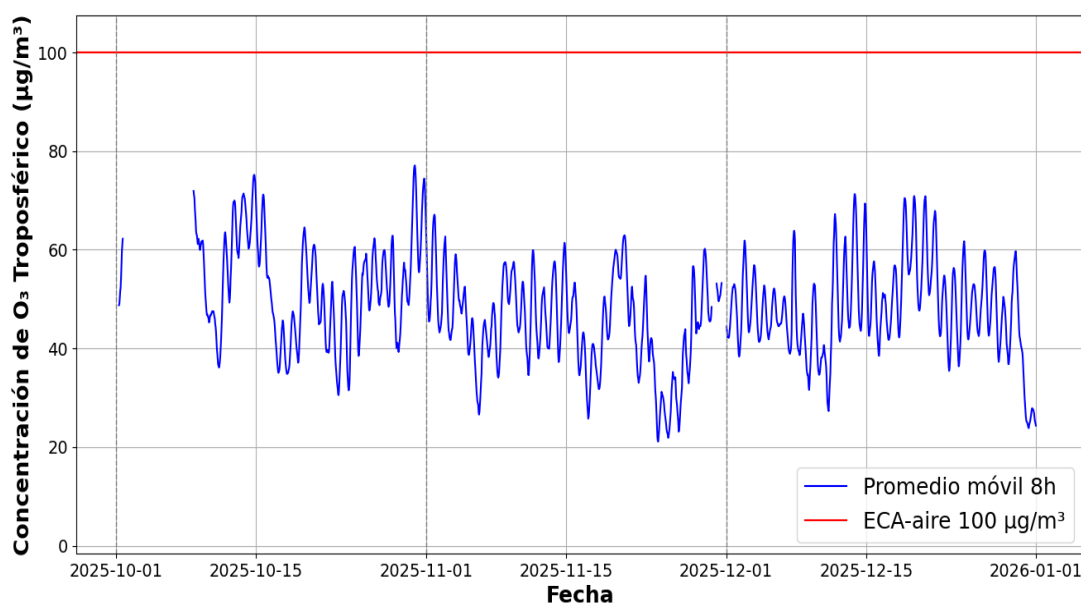
En octubre de 2025, las concentraciones de O₃ registraron un valor mínimo de 30.5 µg/m³ (día 23) y un valor máximo de 77.1 µg/m³ (día 30), con un promedio mensual de 53.1 µg/m³ y un percentil 90 de 67.6 µg/m³. En noviembre de 2025, el valor mínimo

¹⁷ Ground-level Ozone Basics. Obtenido de: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>

¹⁸ Ozono. Obtenido de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/glosario-de-terminos/glosario-contaminantes/ozono.html>

fue de 21.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (día 24) y el máximo de 67.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (día 01), alcanzando un promedio mensual de 44.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un percentil 90 de 57.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, en diciembre de 2025, las concentraciones presentaron un valor mínimo de 23.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (día 31) y un valor máximo de 71.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (día 13), con un promedio mensual de 48.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un percentil 90 de 61.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, durante el periodo evaluado no se registraron excedencias al ECA-aire.

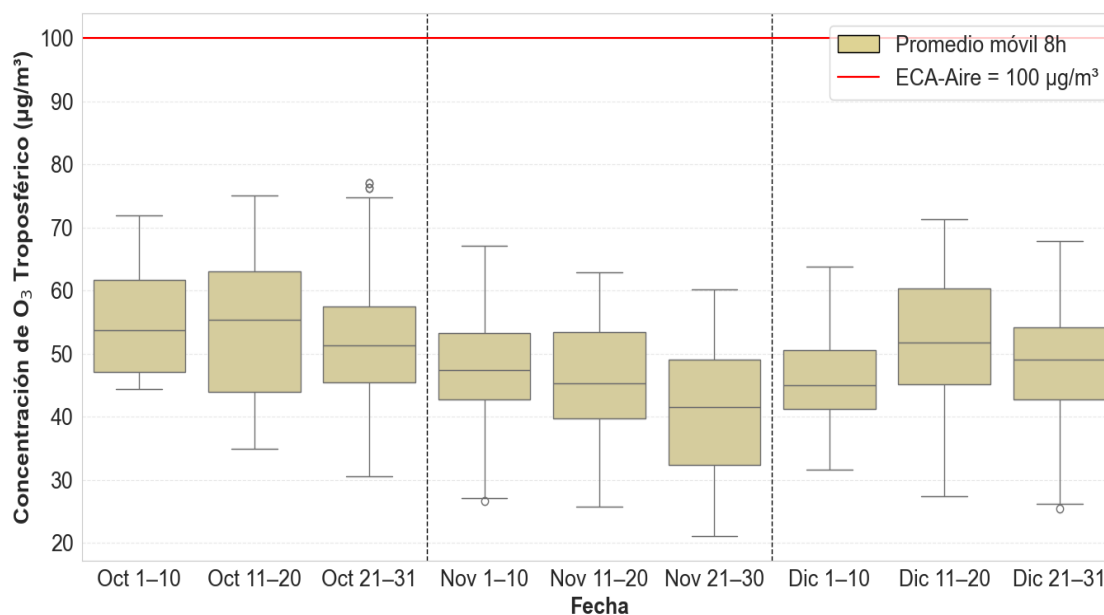
Figura N° 16 Comportamiento del O₃ troposférico durante el cuarto trimestre (promedio móvil de 8h)



En el análisis decadiario de los promedios móviles de 8 horas del O₃ troposférico (Figura N°17), durante este trimestre se observaron variaciones entre las decadiarias de los meses analizados. En octubre, la primera presentó una mediana de 53.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un rango intercuartílico (IQR) de 14.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y valores entre 44.3 y 71.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La segunda decadiaria registró la mediana más alta del mes (55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la mayor variabilidad (IQR de 19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), con concentraciones entre 34.9 y 75.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, la tercera decadiaria mostró una disminución en la mediana (51.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y un IQR de 12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores comprendidos entre 30.5 y 74.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durante noviembre, la primera decadiaria registró una mediana de 47.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un IQR de 10.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre 27.1 y 67.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La segunda decadiaria presentó una mediana de 45.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un IQR de 13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con concentraciones entre 25.8 y 62.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En la tercera decadiaria registró la mediana más baja del trimestre (41.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y un IQR de 16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre 21.1 y 60.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En diciembre, la primera decadiaria registró una mediana de 45.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un IQR de 9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre 31.6 y 63.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La segunda decadiaria registró un incremento en las concentraciones, con una mediana de 51.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un IQR de 15.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con concentraciones entre 27.3 y 71.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, la tercera decadiaria presentó una mediana de 49.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un IQR de 11.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores comprendidos entre 26.2 y 67.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En general, las concentraciones de O₃ mostraron una tendencia a la disminución durante octubre y noviembre, seguida de un ligero incremento durante la segunda decadiaria de diciembre.

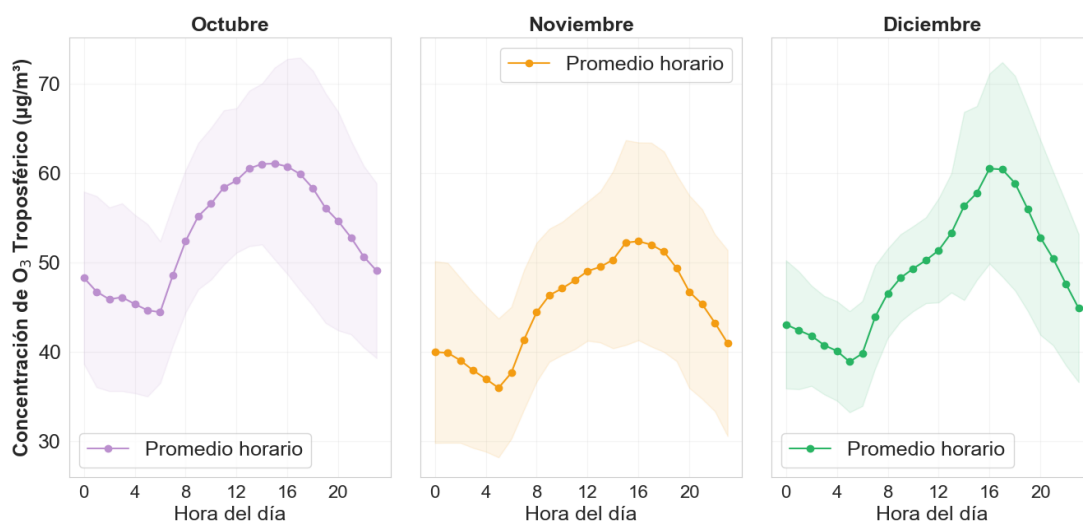
Figura N° 17 Variabilidad de las concentraciones de O₃ troposférico por decadiaria


Respecto al ciclo horario de las concentraciones de O₃ troposférico (ver Figura N°18), en octubre se registró un promedio horario mínimo de 44.45 µg/m³ a las 6:00 h y un promedio horario máximo de 61.09 µg/m³ a las 15:00 h. El promedio mensual para este mes fue de 53.28 µg/m³. En cuanto a la variabilidad horaria, la desviación estándar mínima fue de 7.89 µg/m³ a las 7:00 h, mientras que la máxima alcanzó 13.15 µg/m³ a las 18:00 h. La desviación estándar mensual fue de 11.55 µg/m³.

Durante noviembre, el promedio horario mínimo fue de 35.98 µg/m³ a las 5:00 h y el promedio horario máximo de 52.39 µg/m³ a las 16:00 h, con un promedio mensual de 44.81 µg/m³. La desviación estándar mínima por hora se registró a las 6:00 h con un valor de 7.39 µg/m³, mientras que la máxima ocurrió a las 15:00 h con 11.47 µg/m³. La desviación estándar mensual fue de 10.62 µg/m³, inferior a la observada en octubre, lo que indica una menor variabilidad de las concentraciones durante noviembre.

En diciembre, el promedio horario mínimo fue de 38.91 µg/m³ a las 5:00 h y el promedio horario máximo de 60.53 µg/m³ a las 16:00 h, con un promedio mensual de 48.98 µg/m³. La desviación estándar mínima por hora se registró a las 10:00 h con un valor de 4.76 µg/m³, mientras que la máxima ocurrió a las 18:00 h con 12.02 µg/m³. La desviación estándar mensual fue de 10.43 µg/m³, inferior a la observada en octubre y noviembre, lo que indica una menor variabilidad de las concentraciones durante diciembre.

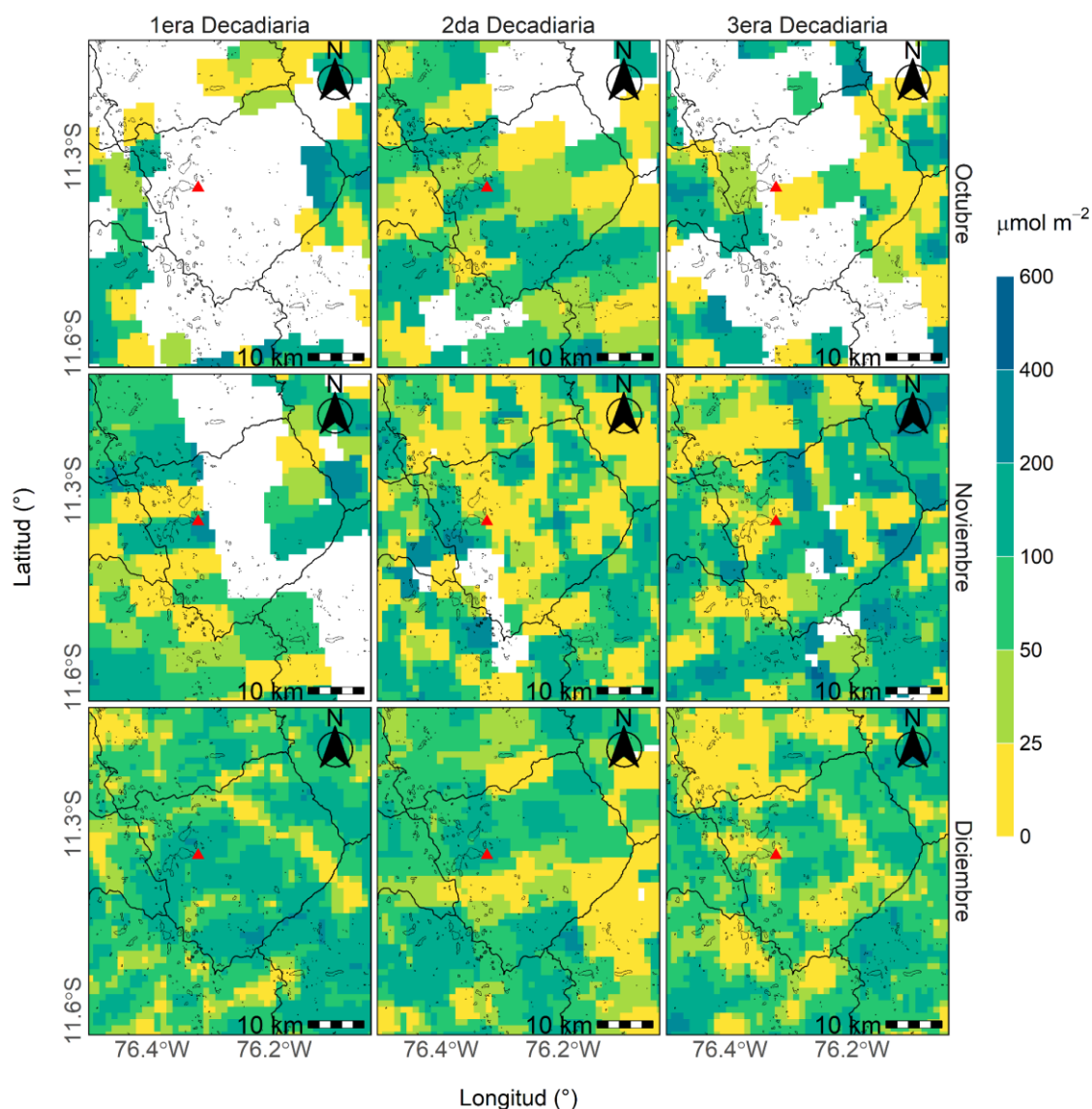
Figura N° 18 Ciclo horario promedio del O₃ troposférico por cada mes del trimestre



B. FORMALDEHIDO (HCHO)

En el distrito de Marcapomacocha la densidad de HCHO en la columna troposférica presentó diferencias entre las decadiarias analizadas (ver Figura N°19). El valor máximo distrital se registró en la tercera decadiaria de noviembre con 414.06 µmol/m², mientras que los promedios areales se ubicaron entre 68.57 µmol/m² en la tercera decadiaria de diciembre y 166.34 µmol/m² en la primera decadiaria de octubre. La desviación estándar alcanzó un máximo de 105.29 µmol/m² en la primera decadiaria de octubre y presentó un mínimo con 35.21 µmol/m² para la segunda decadiaria de diciembre. Asimismo, para la ubicación del OVA Marcapomacocha se alcanzó un valor máximo de 231.94 µmol/m² en la primera decadiaria de noviembre y un mínimo de 5.33 µmol/m² en la tercera decadiaria de diciembre.

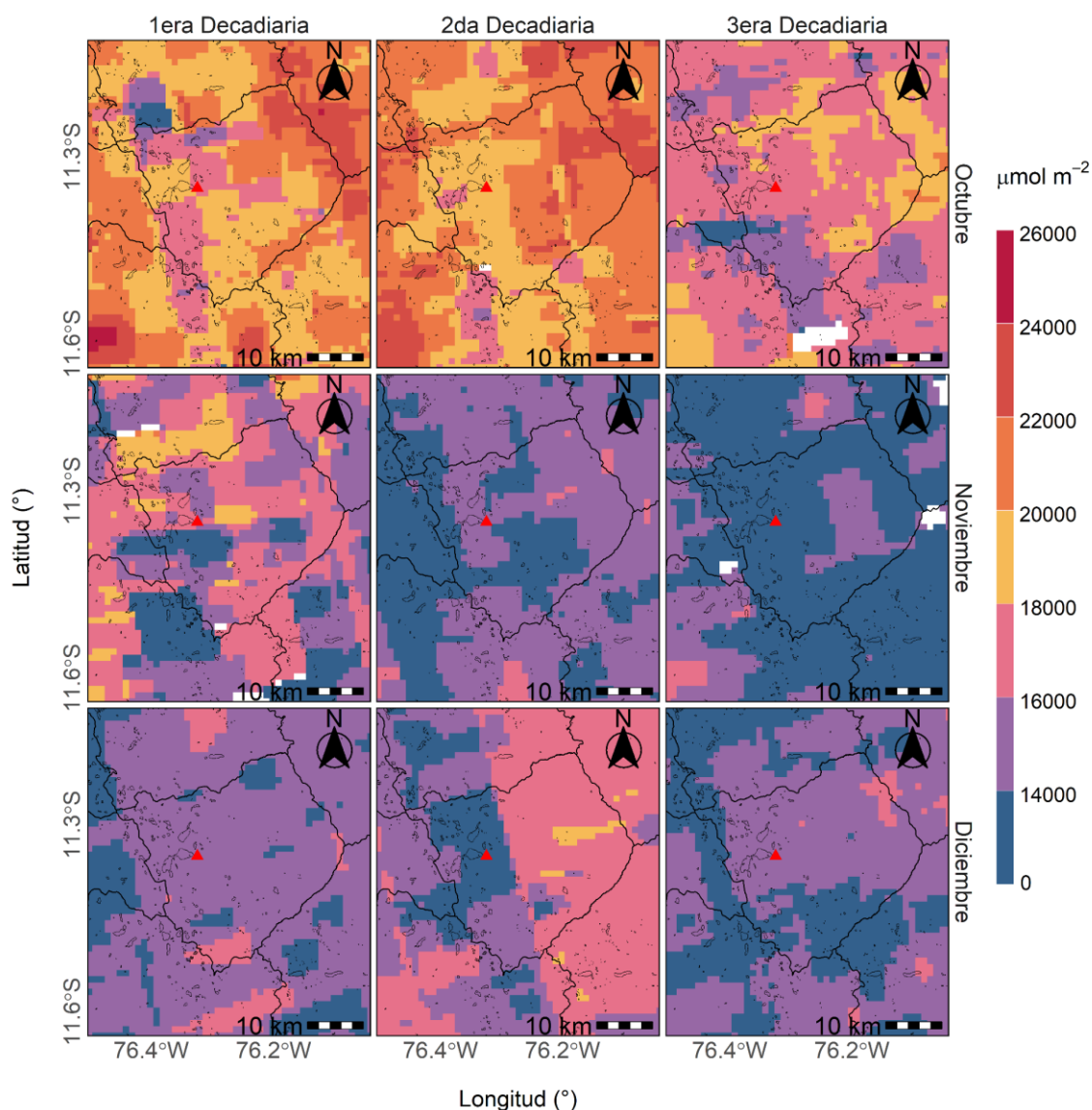
Figura N° 19 Variación espacial del HCHO por decadiaria del trimestre



C. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En relación a la variación espacial de la densidad de CO en la columna troposférica para el distrito de Marcapomacocha (ver Figura N°20), el valor máximo distrital se registró en la primera decadiaria de octubre con $23,767.74 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, mientras que los promedios areales se ubicaron entre $13,016.19 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la tercera decadiaria de noviembre y $20,391.11 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la segunda decadiaria de octubre. La desviación estándar alcanzó un máximo de $2,027.71 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la segunda decadiaria de diciembre y presentó un mínimo de $581.78 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ para la primera decadiaria del mismo mes. Asimismo, en el OVA Marcapomacocha se alcanzó un valor máximo de $19,571.01 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la segunda decadiaria de octubre y un mínimo de $11,254.82 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la tercera decadiaria de noviembre. En general, se evidencia una disminución de la densidad de columna de CO desde el mes de octubre hacia finales de noviembre.

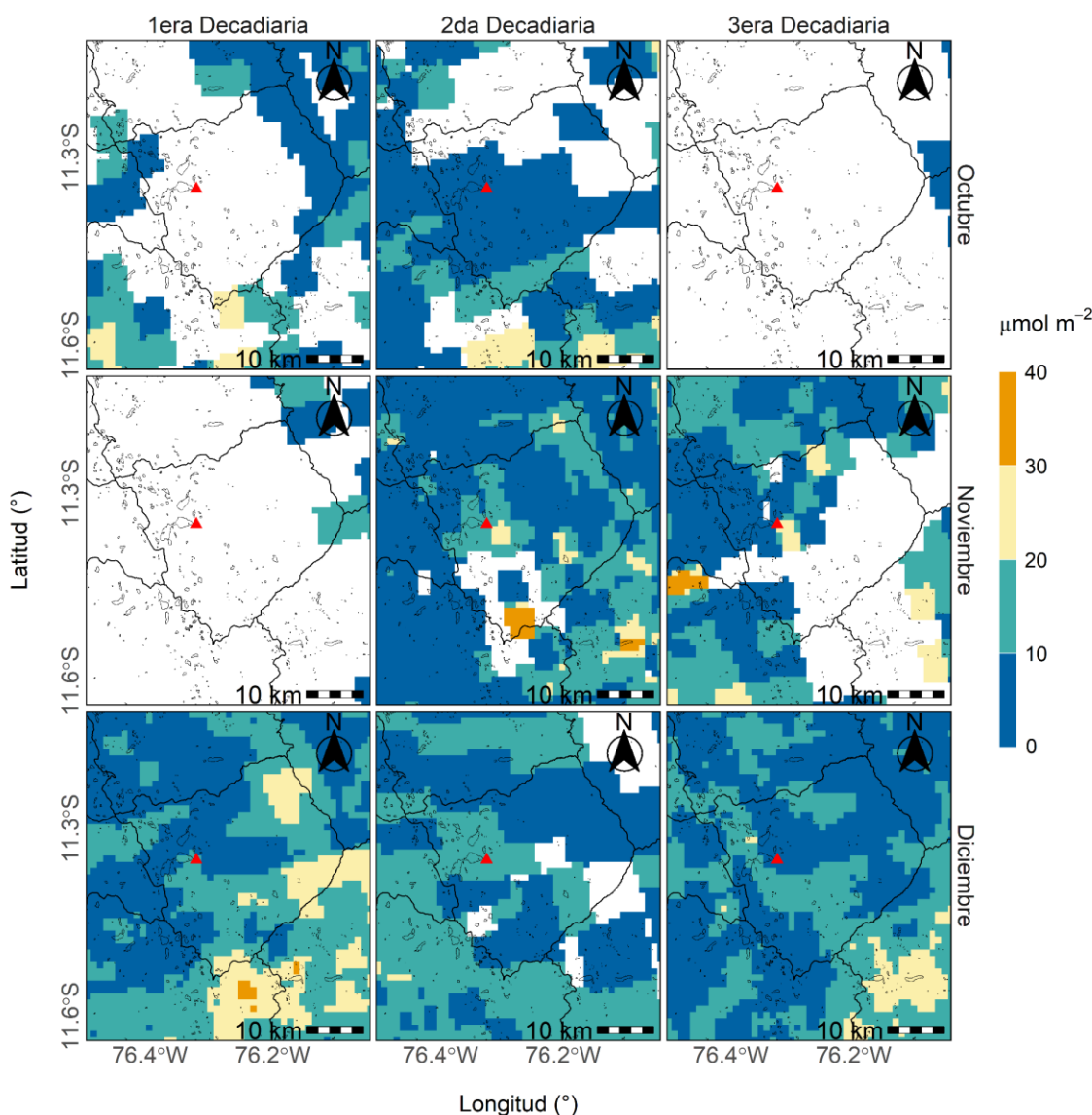
Figura N° 20 Variación espacial del CO por decadiaria del trimestre



D. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

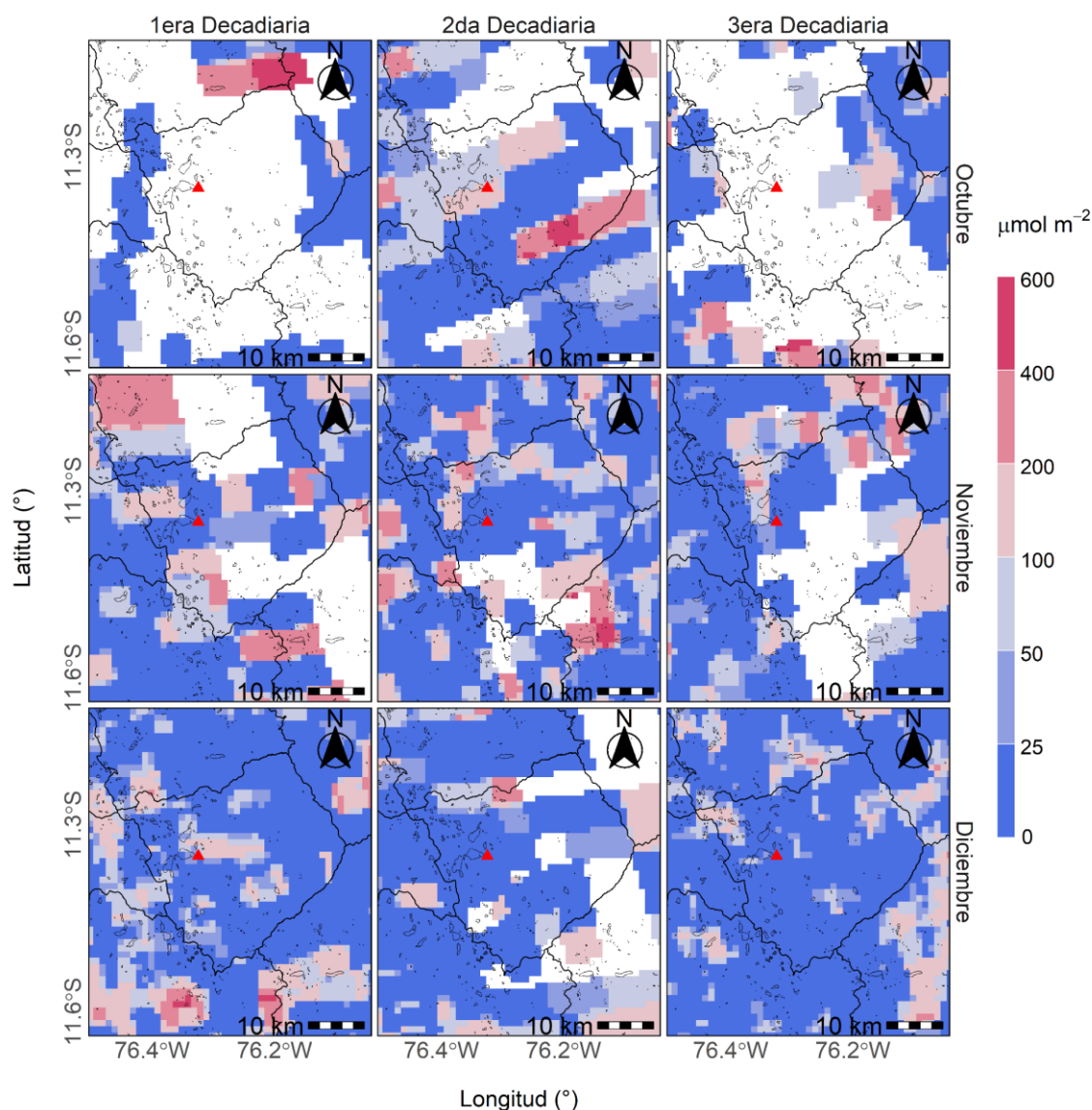
En relación a la variación espacial de la densidad de NO₂ en la columna troposférica para el distrito de Marcapomacocha (ver Figura N°21), el valor máximo distrital se registró en la segunda decadiaria de noviembre con 34.07 μmol/m², mientras que los promedios areales se ubicaron entre 6.10 μmol/m² en la segunda decadiaria de octubre y 16.91 μmol/m² en la primera decadiaria de noviembre. La desviación estándar alcanzó un máximo de 6.72 μmol/m² en la segunda decadiaria de noviembre y presentó un mínimo de 3.07 μmol/m² para la segunda decadiaria de octubre. Asimismo, para la ubicación del OVA Marcapomacocha, los valores máximos se observaron en la tercera decadiaria de noviembre con 21.96 μmol/m², mientras que el mínimo corresponde a la tercera decadiaria de diciembre con 0.84 μmol/m². En general, se evidencia un incremento de la densidad de NO₂ durante el mes de noviembre, seguido de una disminución gradual hacia finales de diciembre.

Figura N° 21 Variación espacial del NO₂ por decadiaria del trimestre



E. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

En relación a la variación espacial de la densidad de SO₂ en la columna troposférica para el distrito de Marcapomacocha (ver Figura N°22), el valor máximo distrital se registró en la primera decadiaria de octubre con 493.02 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, mientras que los promedios areales se ubicaron entre 46.68 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la segunda decadiaria de diciembre y 221.62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la primera decadiaria de octubre. La desviación estándar alcanzó un máximo de 180.04 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la primera decadiaria de octubre y presentó un mínimo de 40.03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ para la tercera decadiaria de diciembre. Asimismo, para la ubicación del OVA Marcapomacocha se registró un valor de 100.03 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la segunda decadiaria de octubre y de 50.44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en la primera decadiaria de diciembre. En general, se evidencia una disminución de la densidad de columna de SO₂ desde la segunda decadiaria de noviembre hacia el mes de diciembre.

Figura N° 22 Variación espacial del SO₂ por decadiaria del trimestre


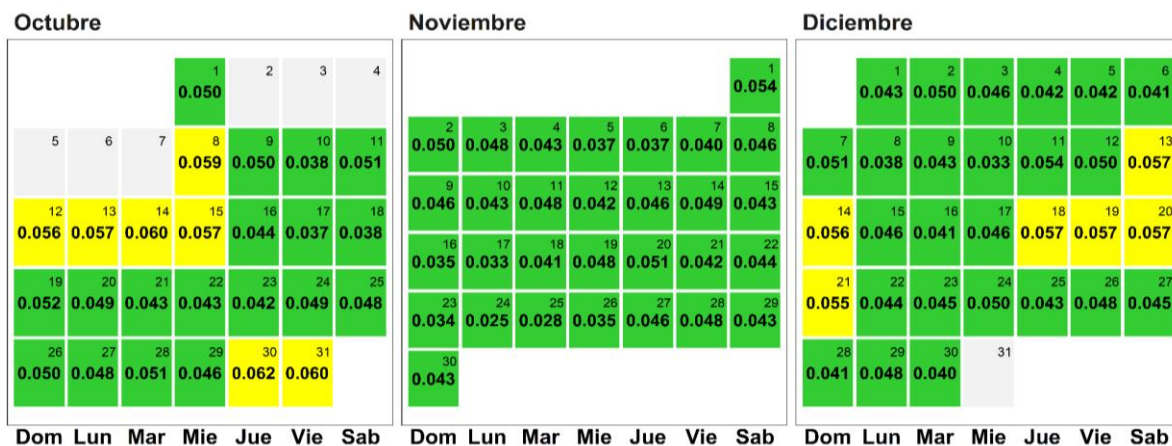
F. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE PARA O₃

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.¹⁹

La Figura N° 23 muestra los estados de calidad del aire para el O₃ troposférico a partir de máximos diarios de promedios de cada 8 horas. Se observa que durante el mes de octubre se presentó 18 días con una calidad del aire "Buena" y 7 días con una calidad del aire "Moderada". Para el mes de noviembre, se presentó 31 días una calidad del aire "Buena". Finalmente, en el mes de diciembre se presentó 24 días una calidad del aire "Buena" y 6 días con una calidad del aire "Moderada".

¹⁹ 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

Figura N° 23 Estados de calidad del aire para O₃ troposférico



| Concentración O ₃ (ppm) | | Estado | Índice de Calidad del Aire - EPA | |
|------------------------------------|-------|---------------------------------|----------------------------------|-----|
| 0 | 0.054 | Buena | 0 | 50 |
| 0.055 | 0.070 | Moderada | 51 | 100 |
| 0.071 | 0.085 | Insalubre para grupos sensibles | 101 | 150 |
| 0.086 | 0.105 | Insalubre | 151 | 200 |

V.4 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA TOTAL

Durante el cuarto trimestre del año 2025, se ha realizado la vigilancia ambiental atmosférica de la deposición atmosférica húmeda, a través de un muestreador semiautomático (ver Figura N°24) y posterior análisis de las muestras en laboratorio considerando lo estipulado en el Manual Técnico: MT-DMA-001²⁰.

Figura N° 24 Muestreador de deposición atmosférica



²⁰ MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA Manual Técnico: MT-DMA-001 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/007111SENA-93.pdf>)

Las variables más importantes para el monitoreo de la calidad del agua de lluvia son el pH y la conductividad eléctrica. Para su determinación, se utilizan equipos especializados que permiten realizar un monitoreo de frecuencia semanal siguiendo lineamientos técnicos establecidos por la OMM con fines de garantizar la representatividad y calidad de los datos obtenidos.

Para la determinación de la calidad del agua de lluvia, se emplean umbrales establecidos internacionalmente. Se considera lluvia ácida cuando la muestra posee un pH menor a 4.4²¹, mientras que, para la conductividad eléctrica, valores superiores a 20 µS/cm ²² indican también la presencia de lluvia ácida.

En el Cuadro N°1 y en la Figura N°25a, se observan los valores de pH de la deposición atmosférica húmeda recolectados por el muestreador, donde los valores mínimo y máximo fueron 8.2 y 11.1, respectivamente. Se puede observar que todos los valores de pH registrados se encontraron por encima del umbral de lluvia ácida (4.4).

Cuadro N°1 Resultados de pH y conductividad eléctrica de las muestras de deposición atmosférica húmeda

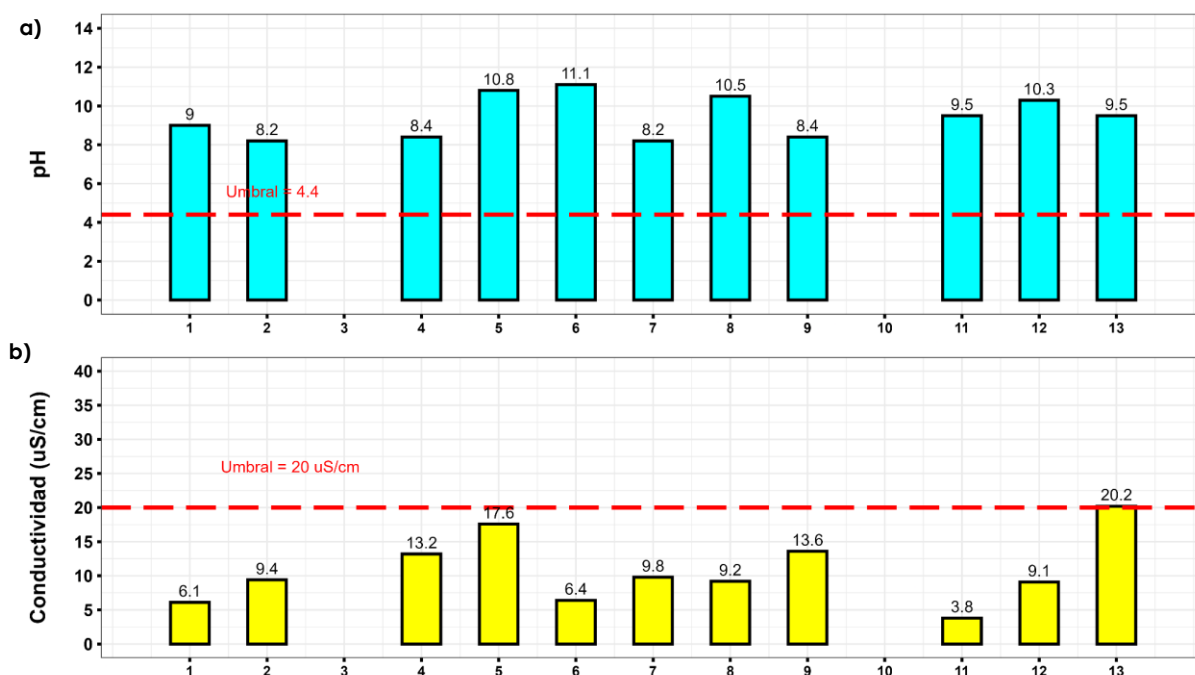
| Número de muestra | Periodo de muestreo | | Variables | |
|-----------------------|---------------------|------------|-----------------------------|-----------------------|
| | Inicio | Fin | Potencial de Hidrógeno (pH) | Conductividad (µS/cm) |
| 1 | 30/09/2025 | 7/10/2025 | 9 | 6.1 |
| 2 | 7/10/2025 | 14/10/2025 | 8.2 | 9.4 |
| 3 | 14/10/2025 | 21/10/2025 | * | * |
| 4 | 21/10/2025 | 28/10/2025 | 8.4 | 13.2 |
| 5 | 28/10/2025 | 4/11/2025 | 10.8 | 17.6 |
| 6 | 4/11/2025 | 11/11/2025 | 11.1 | 6.4 |
| 7 | 11/11/2025 | 18/11/2025 | 8.2 | 9.8 |
| 8 | 18/11/2025 | 25/11/2025 | 10.5 | 9.2 |
| 9 | 25/11/2025 | 2/12/2025 | 8.4 | 13.6 |
| 10 | 2/12/2025 | 9/12/2025 | * | * |
| 11 | 9/12/2025 | 16/12/2025 | 9.5 | 3.8 |
| 12 | 16/12/2025 | 23/12/2025 | 10.3 | 9.1 |
| 13 | 23/12/2025 | 30/12/2025 | 9.5 | 20.2 |
| Valor mínimo | | | 8.2 | 3.8 |
| Valor máximo | | | 11.1 | 20.2 |
| Valor promedio | | | 9.4 | 10.8 |

(*) Cantidad de muestra insuficiente para análisis de laboratorio

²¹ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>)

²² Antolínez, A. y Díaz, C. (2003) Lluvia Ácida en la zona norte de Bogotá.

Figura N° 25 Registros de pH y conductividad eléctrica de la deposición atmosférica húmeda



Respecto a la conductividad eléctrica de la deposición atmosférica húmeda, en el Cuadro N°1 y la Figura N°25b, se muestran los registros, donde los valores mínimo y máximo fueron 3.8 y 20.2, respectivamente. Asimismo, se observa que en el periodo del 23/12/2025 al 30/12/2025 (muestra número 13) se registró un valor de 20.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superando el umbral de lluvia ácida (20 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Considerando el análisis de la Figura 3, sobre retro trayectorias de la tercera decadiaria de diciembre, se aprecia que durante el periodo mencionado existió una influencia de masas de aire provenientes del este, tanto de sitios contiguos como de la selva centro sur del Perú, las cuales pudieron influir en el incremento de la conductividad.

V.5 ÁREA FOCAL DE AEROSOLES

En el OVA Marcapomacocha, se realiza el monitoreo de aerosoles mediante equipos automáticos (ver Figura N°26) para determinar la concentración en masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, ver Figura N° 26a, 26b, 26d) y en número de aerosoles (número de aerosoles/ m^3 , ver Figura N° 26c).

Figura N° 26 Equipamiento de medición para aerosoles en el OVA Marcapomacocha



Además, se complementa con el uso de imágenes satelitales sobre el Índice UV Aerosol derivadas del instrumento TROPOMI del satélite Sentinel-5 Precursor, parte del programa Copernicus, y sobre la profundidad óptica de aerosoles (AOD por sus siglas en inglés) a partir del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) a bordo de los satélites Terra y Aqua de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA por sus siglas en inglés).

A. CONCENTRACIONES EN MASA

Con los datos del monitor de partículas Beta, el equipo METONE - 412 y el monitor PurpleAir basado en sensores de bajo costo, se analizó la variabilidad diaria de las concentraciones de PM_{10} (Material Particulado con diámetro menor a 10 micras) y $PM_{2.5}$ (Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras) registradas en el OVA Marcapomacocha.

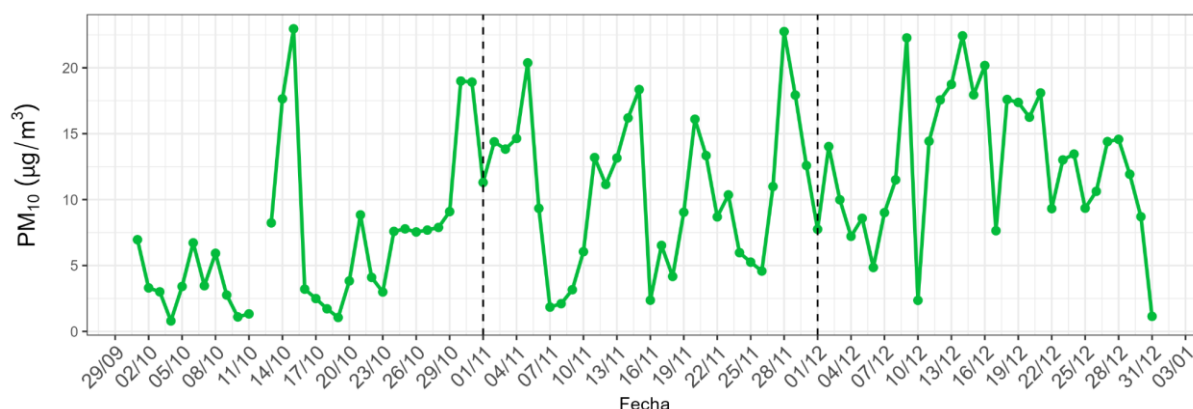
A.1. CONCENTRACIÓN EN MASA PARA EL PM_{10}

La Figura N° 22 muestra la evolución temporal de las concentraciones de PM_{10} registradas en el OVA Marcapomacocha durante el periodo de análisis, a partir de mediciones provenientes del perfilador de partículas METONE – 412. En particular, se destaca episodios de incremento entre el 28 y el 30 de noviembre, alcanzándose el 28 de noviembre el valor promedio diario de $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; así como, el incremento registrado entre el 11 y 15 de diciembre, alcanzando el 14 de diciembre el valor de $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El incremento de las concentraciones observado durante el último mes del periodo estaría asociado a la reducción en la ocurrencia de precipitaciones lo cual favorecería la resuspensión de polvo por acción del viento. Finalmente, se resalta que durante todo el periodo de análisis no se registraron concentraciones diarias de PM_{10} superiores al ECA – aire de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (como promedio diario)²³. En general, se presentó una mayor frecuencia

²³ De acuerdo con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (DS N° 010-2019-MINAM), para que un procedimiento alternativo automático – como el perfilador METONE-412 o el sensor PurpleAir – pueda ser comparados con los ECA correspondientes, es necesario que pase por un proceso de intercomparación. En este sentido, los procedimientos alternativos automáticos utilizados en el OVA para la medición de PM_{10} y $PM_{2.5}$, se encuentran actualmente en proceso de intercomparación; por ello, la comparación con los ECA presentada en este Boletín debe considerarse únicamente de carácter referencial.

de incrementos hacia la el mes de diciembre, donde se alcanza el promedio mensual más alto del periodo, con $12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura N° 27 Variación de la concentración promedio diaria de PM₁₀

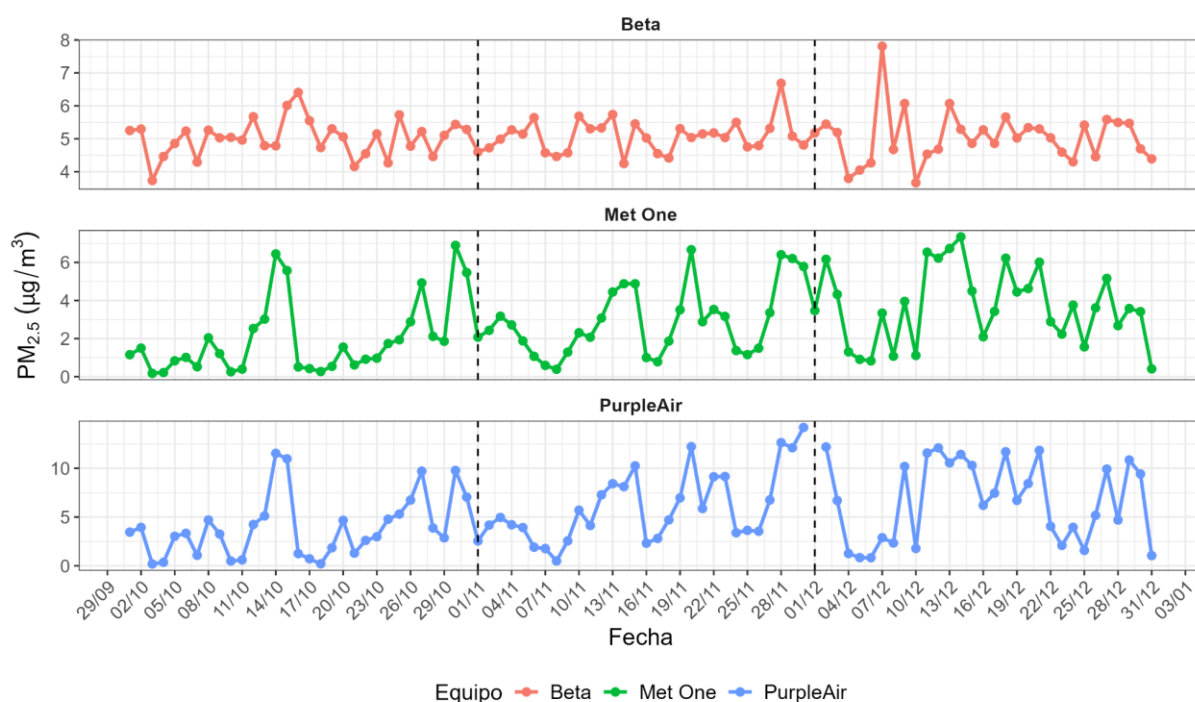


A.2. CONCENTRACIÓN EN MASA PARA EL PM_{2.5}

La Figura N° 28 presenta la evolución temporal de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registradas en el OVA Marcapomacocha durante el tercer trimestre del año, a partir de los datos obtenidos por el monitor de partículas Beta, el perfilador de partículas METONE – 412 y un sensor PurpleAir. Al respecto, se puede destacar los incrementos en las concentraciones registrados entre el 27 de noviembre y el 3 de diciembre, donde el 28 de noviembre se alcanzó el valor promedio diario de $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Beta), $6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (MetOne 412) y $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PurpleAir), así como, los incrementos registrados entre el 11 y 15 de diciembre, alcanzando el 13 de diciembre el valor de $6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Beta), $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (MetOne) y $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PurpleAir). Asimismo, el 7 de diciembre, se registró un incremento significativo de las concentraciones horarias de PM_{2.5} en los tres dispositivos de medición, alcanzándose a las 16:00 horas concentraciones de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el monitor Beta, $28.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MetOne 412 y $27.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el sensor PurpleAir; no obstante, este incremento no afectó significativamente el promedio diario, que se mantuvo en niveles bajos ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el monitor Beta, $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el equipo MetOne 412 y $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el equipo PurpleAir). Este episodio correspondió a un evento puntual, asociado a la ocurrencia de una humareda generalizada en la zona de Marcapomacocha, en combinación con vientos intensos con dirección oeste.

En general, se observan concentraciones bajas, con episodios de incremento que se presentan con mayor frecuencia hacia finales del período evaluado, lo cual estaría asociado a una reducción en la ocurrencia de precipitaciones. Finalmente, se resalta que durante todo trimestre no se registraron concentraciones diarias de PM_{2.5} superiores al ECA – aire de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (como promedio diario).

Figura N° 28 Variación de la concentración promedio diaria de PM_{2.5}



En la mayoría de los casos, las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en esta zona son bajas, lo cual es atribuible a la limitada actividad antropogénica en las inmediaciones del observatorio. Las concentraciones más elevadas de PM₁₀ están asociadas principalmente a procesos de resuspensión de polvo, generados por la acción del viento, y de manera puntual, por el paso de animales o vehículos en las proximidades del observatorio. Por otro lado, los incrementos en las concentraciones de PM_{2.5} se vinculan principalmente con la ocurrencia de incendios forestales, incluso aquellos localizados en regiones alejadas, así como, de forma episódica, con quemas reducidas a nivel local.

B. CONCENTRACIÓN EN NÚMERO DE AEROSOLES

La mayoría de los estudios sobre la concentración de contaminantes atmosféricos se enfocan en la medición en masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). No obstante, existe evidencia que sugiere que las concentraciones basadas en el número de partículas y su composición química tienen mayor relevancia para evaluar ciertos impactos en la salud que las concentraciones en masa^{24 25}. Para describir el comportamiento de la concentración en número de partículas en el OVA Marcapomacocha se han establecido rangos (R), los cuales están categorizados de acuerdo al diámetro aerodinámico (d)²⁶: R1 ($0,3 \mu\text{m} \leq d < 0,5 \mu\text{m}$), R2 ($0,5 \mu\text{m} \leq d < 0,7 \mu\text{m}$), R3 ($0,7 \mu\text{m} \leq d < 1,0 \mu\text{m}$), R4 ($1,0 \mu\text{m} \leq d < 2,0 \mu\text{m}$), R5 ($2,0 \mu\text{m} \leq d < 3,0 \mu\text{m}$), R6 ($3,0 \mu\text{m} \leq d < 5,0 \mu\text{m}$), R7 ($5,0 \mu\text{m} \leq d < 10,0 \mu\text{m}$) y R8 ($10,0 \mu\text{m} \leq d < 20,0 \mu\text{m}$)²⁷. En este contexto, la

²⁴ "[...] Dado que la concentración de masa de las partículas ultrafinas es insignificante en comparación con la de las partículas de mayor tamaño, parece más adecuado correlacionar su concentración numérica con los efectos sobre la salud en lugar de su concentración de masa [...]". Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231097002604>

²⁵ UK AIR Air Information Resource (2022). Particle Numbers and Concentrations Network. Revisado el 1 de octubre del 2022 desde: <https://bit.ly/3D80Ap4>

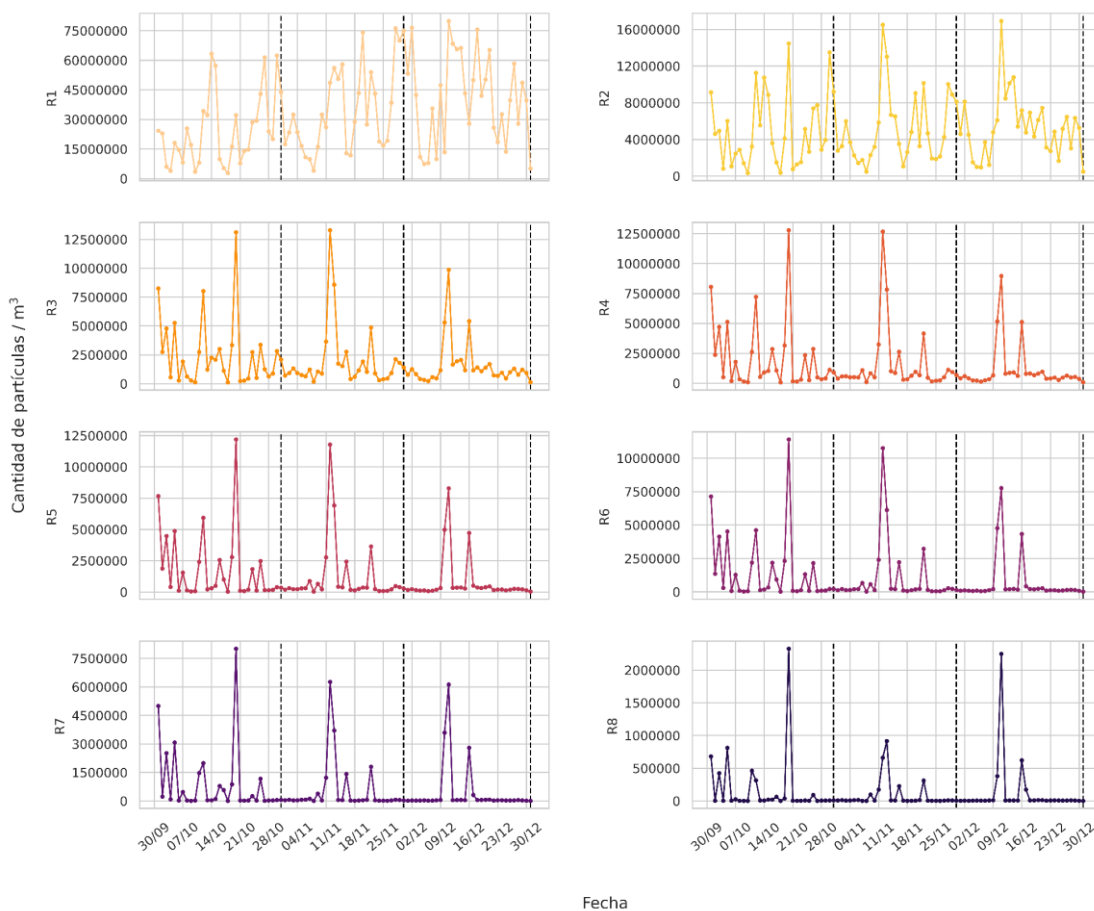
²⁶ El diámetro aerodinámico es un indicador del tamaño de la partícula (World Health Organization Europe, 2005).

²⁷ Cangiamila, S. (2019). Utilizzo e prestazioni di sensori low-cost per il monitoraggio di varie frazioni dimensionali di particolato atmosferico. Universidad de Bologna.

concentración en número de partículas se expresa como el total de partículas por unidad de volumen de aire.

Durante el cuarto trimestre (ver Figura N°25), las mayores concentraciones promedio diarias en número de partículas se observaron en el rango R1 y R2, alcanzando un máximo de 79938201 y 16930853 partículas/m³ el 11 de diciembre. Por otro lado, el rango R3 alcanzó un máximo de 13291369 el 12 de noviembre. Finalmente, los rangos R4, R5, R6, R7 y R8 registraron valores máximos de 12790970, 12192504, 11400258, 8008626 y 2327053 partículas/m³ el 20 de octubre.

Figura N° 29 Variación del promedio diario de la concentración en número de aerosoles



Para la ubicación del OVA Marcapomacocha, las partículas finas (diámetro menor a 2.5 micras, R1, R2, R3 y R4) están asociadas a la ocurrencia de incendios, incluyendo los incendios forestales ocurridos en otras latitudes. Por otro lado, las partículas en el rango de la fracción gruesa (diámetro entre 2.5 y 10 micras, R5, R6, R7 y R8) provienen del polvo resuspendido por efecto de la actividad vehicular en caminos de trocha o por acción de los vientos.

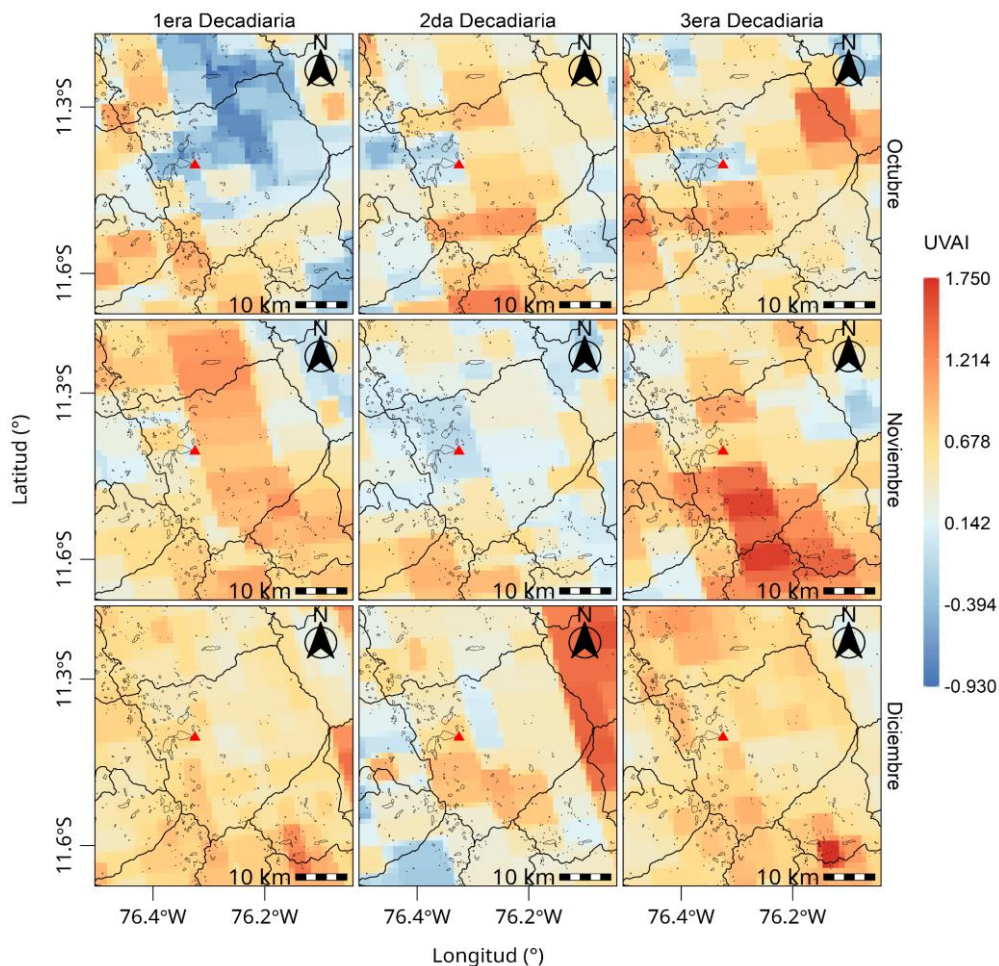
C. INDICE UV DE AEROSOL

El índice UV Aerosol (UVAI), es una medida de la prevalencia de los aerosoles en la atmósfera, el cual se basa en la diferencia entre la reflectancia observada y la modelada para un par de longitudes de onda (354 y 388 nm) en el rango espectral

ultravioleta (UV) que genera un valor residual. Cuando este valor residual es positivo, indica la presencia de aerosoles que absorben los rayos UV, como el polvo y el humo (p.ej. debido a la quema de biomasa), y a menudo se denomina índice de aerosoles absorbentes (IAA).²⁸ Las nubes generan valores residuales cercanos a cero, y los valores residuales muy negativos pueden indicar la presencia de aerosoles no absorbentes, incluidos los aerosoles de sulfato.²⁹

En relación a la variación espacial de los valores máximos del UVAI por cada decadiaria del cuarto trimestre para el distrito de Marcapomacocha (ver Figura N° 30), se observó que se alcanzaron valores máximos de hasta 1.68 en la tercera decadiaria de noviembre, y de 1.5 en la segunda decadiaria de diciembre. Asimismo, el promedio areal, indica que el mayor valor corresponde a la tercera decadiaria de noviembre (0.78) seguido de la primera decadiaria del mismo mes (0.68). En general, para la ubicación del OVA Marcapomacocha, se evidencia una tendencia al incremento, cuyo valor máximo se alcanzó en la segunda decadiaria del mes de diciembre (0.76).

Figura N° 30 Variación espacial del UVAI por decadiaria del trimestre



²⁸ European Space Agency & KNMI, Sentinel-5P Level-2 Product User Manual – Aerosol Index (AER_AI), S5P-KNMI-L2-0026-MA, 2022. Disponible en: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Aerosol-Index-product.pdf>

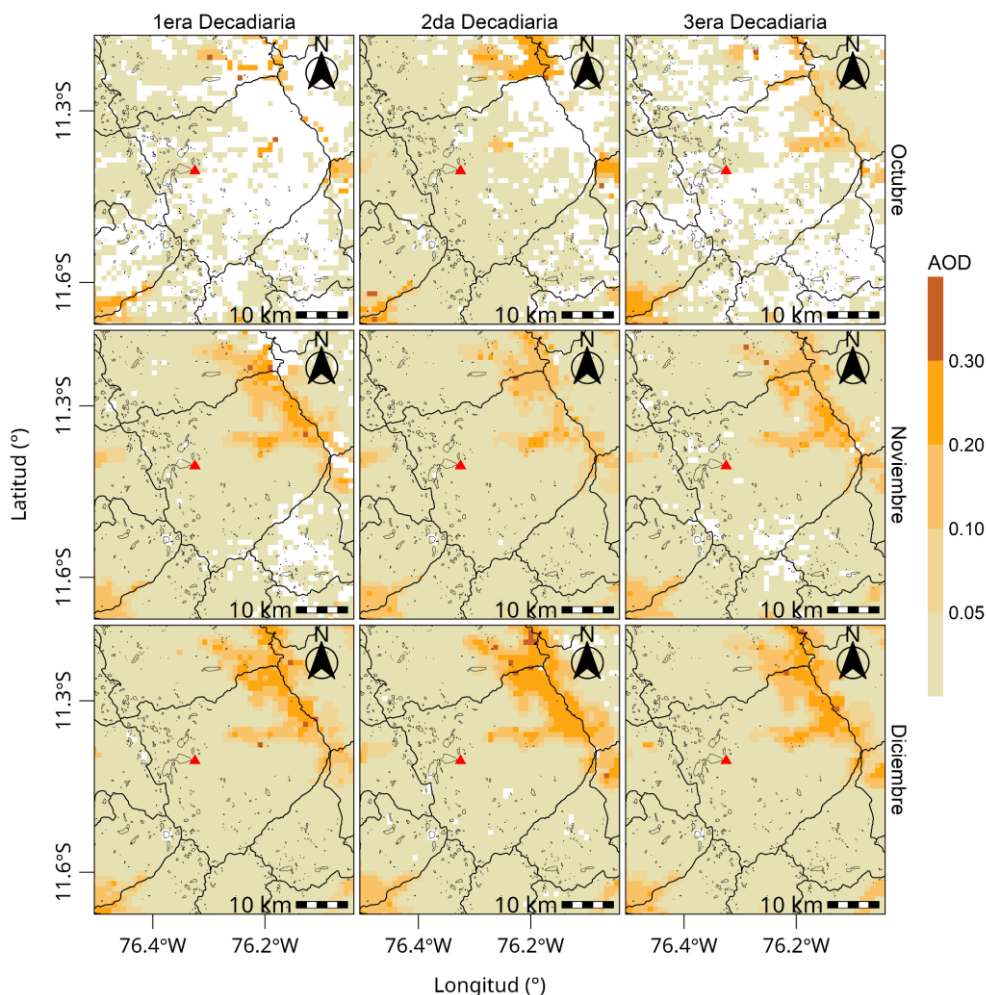
²⁹ European Space Agency (ESA) & KNMI, Sentinel-5P TROPOMI Algorithm Theoretical Basis Document: UV Aerosol Index (UVAI), S5P-KNMI-L2-0008-RP, 2018. Disponible en: <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/2476257/Sentinel-5P-TROPOMI-ATBD-UV-Aerosol-Index.pdf>

D. PROFUNDIDAD ÓPTICA DE AEROSoles

La profundidad óptica de aerosoles (AOD por sus siglas en inglés), es una medida de cuánto reducen las partículas en el aire el paso de la luz a través de la atmósfera. Los aerosoles absorben y dispersan la luz solar entrante, reduciendo así la visibilidad y aumentando la carga óptica. En términos generales, un AOD inferior a 0.1 indica un cielo cristalino con máxima visibilidad, mientras que valores cercanos a 1 indica la presencia de aerosoles tan densos que la gente tendría dificultades para ver el Sol incluso al mediodía.³⁰

En relación a la variación espacial de los valores máximos del AOD por cada decadiaria del cuarto trimestre para el distrito de Marcapomacocha (ver Figura N° 31), se observó que se alcanzaron valores máximos de hasta 0.324 en la segunda decadiaria de diciembre. Asimismo, el promedio areal, indica que la decadiaria con el mayor valor corresponde a la segunda decadiaria de diciembre (0.048). En general, se presenta una tendencia a la disminución hacia fines del trimestre.

Figura N° 31 Variación espacial del AOD por decadiaria del trimestre



30 Aerosol Optical Depth. Obtenido de: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MODAL2_M_AER_OD
https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2_M_AER_OD&date=2025-11-01

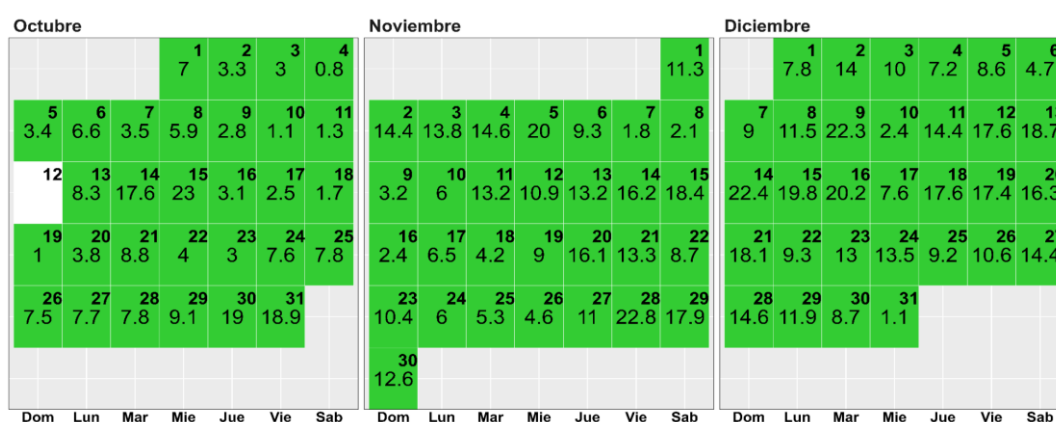
E. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE

La estimación del índice de calidad del aire (ICA) por material particulado ³¹ consideró los promedios diarios de los valores de concentración en masa registrados por el perfilador METONE – 412 para el caso de PM₁₀ y el monitor de partículas Beta para el caso del PM_{2.5}.

E.1. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM₁₀

La Figura N° 32 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM₁₀ asociados a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observa que todos los días de los meses de octubre, noviembre y diciembre presentaron una calidad del aire “Buena”.

Figura N° 32 Estados de calidad del aire para PM₁₀



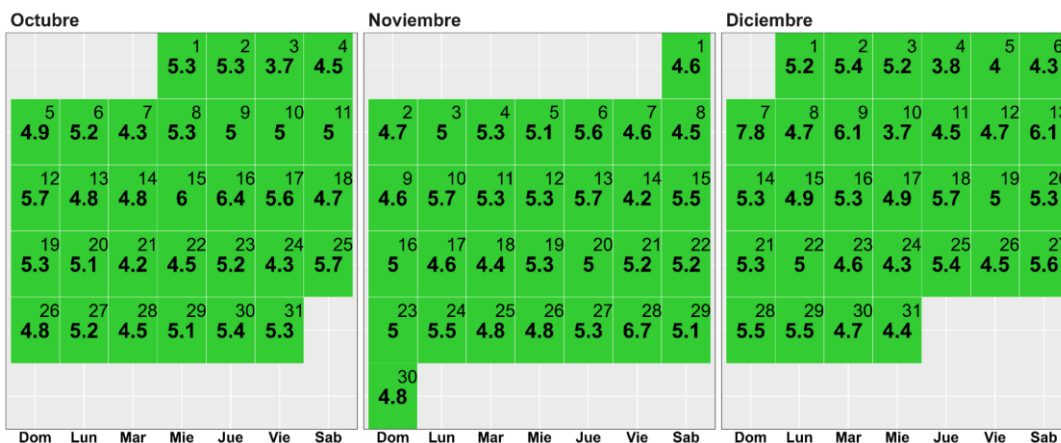
| Concentración PM ₁₀ (µg/m ³) | | Estado | Índice de Calidad del Aire - EPA | |
|---|-----|---------------------------------|----------------------------------|-----|
| 0 | 54 | Buena | 0 | 50 |
| 55 | 154 | Moderada | 51 | 100 |
| 155 | 254 | Insalubre para grupos sensibles | 101 | 150 |
| 255 | 354 | Insalubre | 151 | 200 |

E.2. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM_{2.5}

La Figura N° 28 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM_{2.5} asociados a su respectivo estado de la calidad del aire. Se observa que durante los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentaron días con una calidad del aire “Buena”.

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

Figura N° 33 Estados de calidad del aire para PM_{2.5}



| Concentración PM _{2.5} (µg/m³) | | 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 |

V.6 ÁREA FOCAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Durante el cuarto trimestre del 2025, se realizó la vigilancia de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el OVA Marcapomacocha mediante el equipo analizador de gases de la marca Picarro modelo G2401 (ver Figura N° 34). Dicho equipo tiene el principio de medición basado en la técnica de espectroscopía de cavidad "ring-down" (CDRS, por sus siglas en inglés) que permite medir las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)³², con una resolución temporal de 2.5 segundos.

Figura N° 34 Equipo analizador de GEI - Picarro G2401



³² Datos referenciales que se encuentran en proceso de adecuación a las Directrices de medición para las observaciones de CO₂, CH₄ y N₂O en las estaciones de vigilancia de la atmósfera global de la Organización Meteorológica Mundial.

Asimismo, la toma de muestra de GEI, se ubica a una altura de 11 m del suelo (ver Figura N° 35).

Figura N° 35 Ubicación de la toma de muestra del equipo Picarro G2401



A. DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El CO₂ es el gas de efecto invernadero o gas que atrapa el calor, más abundante en la atmósfera, contribuye en aproximadamente el 66 % al forzamiento radiativo producido por estos gases de larga vida. Asimismo, es responsable de alrededor del 79% del aumento del forzamiento radiativo durante la última década.³³

Este gas que tiene valores más elevados en primavera y más bajos en otoño, proviene de la extracción y quema de combustibles fósiles (como carbón, petróleo y gas natural), de incendios forestales y de procesos naturales como erupciones volcánicas.³⁴ Si bien las emisiones de CO₂ provienen de diversas fuentes naturales, las emisiones relacionadas con las actividades del ser humano son las responsables del aumento que se ha registrado en la atmósfera desde la revolución industrial. Estas actividades añaden más CO₂ a la atmósfera e influyen en la capacidad de los disipadores naturales (como los bosques) para eliminarlo de la atmósfera a través del almacenamiento de carbono en el suelo.³⁵

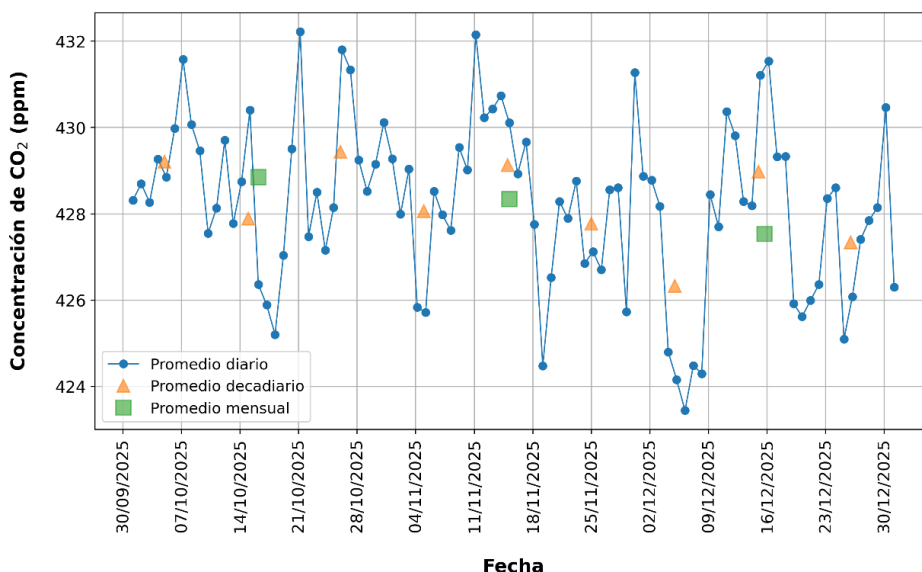
La Figura N° 36 muestra la evolución del promedio diario de CO₂ durante el cuarto trimestre, donde se destaca que los valores más altos se encontraron en la tercera decadiaria de octubre (día 21 - 432.2 ppm) y segunda decadiaria de noviembre (día 11 - 432.1 ppm). Por otro lado, los valores más bajos se encontraron en la primera decadiaria de diciembre (día 6 - 423.4 ppm, día 5 - 424.2 ppm y día 8 - 424.3 ppm). Asimismo, el promedio decadiario más alto corresponde a la tercera decadiaria de octubre con 429.4 ppm; mientras que, el valor más bajo corresponde a la primera decadiaria de diciembre con 426.3 ppm. En general, octubre presentó el promedio más alto (428.8 ppm) en comparación a los meses de noviembre y diciembre.

³³ WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 20. Obtenido de: https://wmo.int/sites/default/files/2025-10/GHG-21_en.pdf

³⁴ Dióxido de carbono. Obtenido de: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/dioxido-de-carbono/>

³⁵ Emisiones de dióxido de carbono. Obtenido de: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>

Figura N° 36 Evolución del promedio diario, decadiario y mensual de CO₂ durante el cuarto trimestre

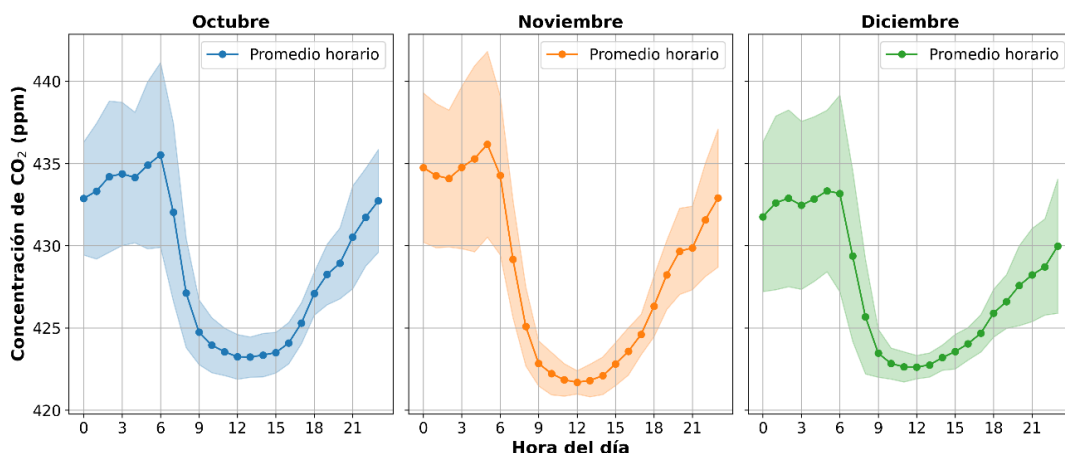


Respecto al ciclo horario de las concentraciones de CO₂ (ver Figura N° 37), se observa para cada mes del trimestre que, en promedio los mayores valores se dan durante el horario nocturno, alcanzando los mayores valores entre las 00:00 horas a 07:00 horas; mientras que entre las 10:00 a 16:00 horas se alcanzan los menores valores. Esto, puede deberse a la estabilidad atmosférica de horas de la noche, lo que provoca que el CO₂ no se mezcle en la atmósfera, a diferencia del horario matutino y vespertino. Los valores bajos de CO₂ durante el horario matutino y vespertino, puede deberse también al proceso de fotosíntesis de las plantas, por ello la menor concentración durante las horas de mayor radiación solar.

Durante octubre, el promedio horario de CO₂ osciló entre 423.2 ppm (13:00 horas) y 435.5 ppm (06:00 horas), con desviaciones estándar de 1.22 ppm a 5.62 ppm. En noviembre, el rango de los promedios horarios estuvo entre 421.7 ppm (12:00 horas) y 436.2 ppm (05:00 horas), con desviaciones estándar entre 0.71 ppm y 5.66 ppm. En diciembre, los promedios horarios se presentaron de 422.6 ppm (12:00 horas) a 433.3 ppm (05:00 horas), con desviaciones estándar de 0.71 ppm a 5.98 ppm.

En general, se puede apreciar que, para el trimestre, tanto los promedios horarios más altos como más bajos se encontraron en el mes de noviembre.

Figura N° 37 Ciclo horario promedio del CO₂ por cada mes del trimestre

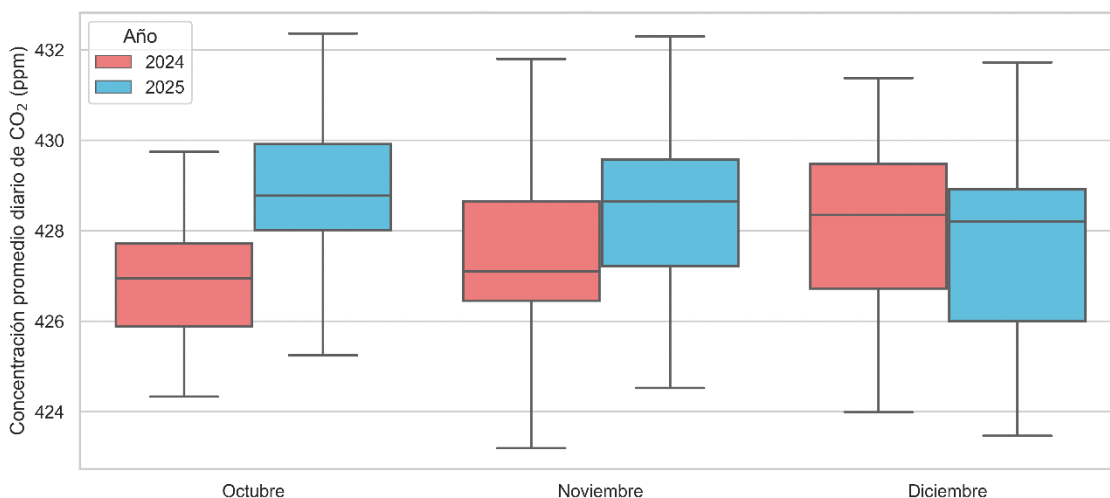


B. COMPARACIÓN INTERANUAL DE LOS NIVELES DE CO₂ PARA EL CUARTO TRIMESTRE

En la Figura N° 38 se muestra una comparación de la distribución mensual de la concentración promedio diaria de CO₂ (ppm) entre el cuarto trimestre del año 2024 con el mismo periodo del año 2025.

En ese sentido, se muestran concentraciones promedio diarias de CO₂ más altas en el 2025 respecto al 2024, particularmente durante octubre (428.78 ppm – mediana del 2025 y 426.95 ppm – mediana del 2024) y el mes de noviembre (428.65 ppm – mediana del 2025 y 427.1 ppm – mediana del 2024). Asimismo, durante el año 2025, se observa una mayor dispersión central de los datos, siendo diciembre el mes con el mayor rango intercuartílico (IQR) de 2.92 ppm. En cuanto a los valores máximos de CO₂ registrados en 2025, estos superan ligeramente a los de 2024, especialmente en octubre y noviembre, alcanzando concentraciones de 432.36 ppm y 432.29 ppm respectivamente. Por su parte, los promedios diarios más bajos se presentaron en los meses de octubre (424.33 ppm) y noviembre (423.19 ppm) del año 2024 en comparación a los mismos periodos del año 2025.

Figura N° 38 Variación mensual interanual de los promedios diarios de CO₂ para el cuarto trimestre



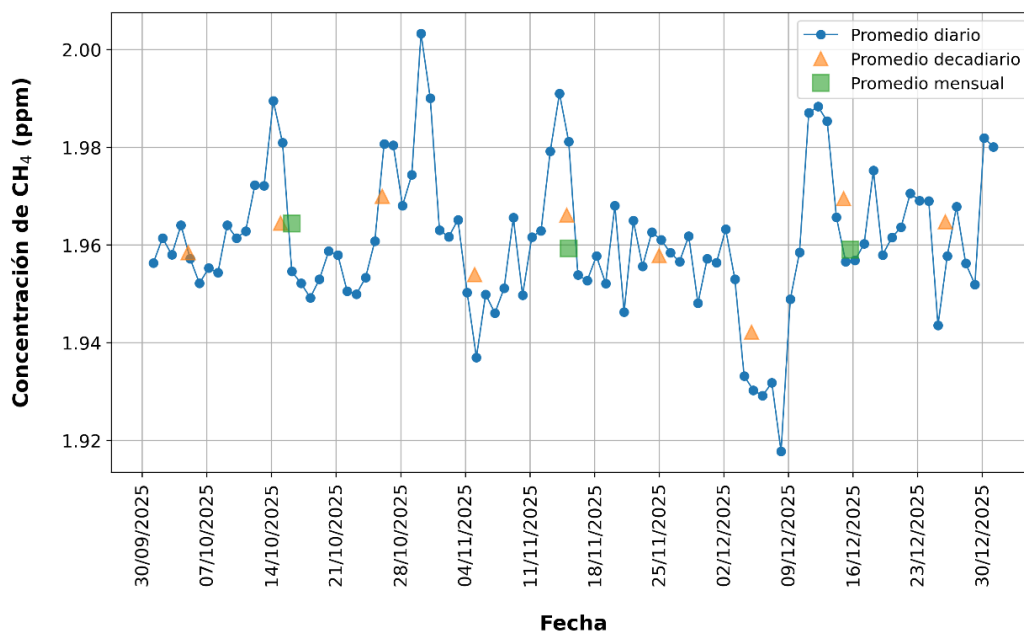
C. METANO (CH₄)

El CH₄ es un gas de efecto invernadero que contribuye con aproximadamente el 16% del forzamiento radiativo producido por estos gases de larga vida. Asimismo, alrededor del 40% del metano se emite a la atmósfera proviene de fuentes naturales (por ejemplo, humedales y descomposición por termitas), y alrededor del 60% proviene de fuentes antropogénicas (por ejemplo, rumiantes, agricultura del arroz, explotación de combustibles fósiles, vertederos, aguas residuales y quema de biomasa).³⁶

Este potente gas de efecto invernadero es el segundo contribuyente más grande al calentamiento climático después del dióxido de carbono (CO₂). Una molécula de metano atrapa más calor que una molécula de CO₂; no obstante, el metano tiene una vida relativamente corta de 7 a 12 años en la atmósfera, mientras que el CO₂ puede persistir durante cientos de años o más.³⁷

La Figura N° 39 muestra la evolución del promedio diario de CH₄ durante el cuarto trimestre, donde se destaca que el valor más alto se encontró en la tercera decadiaria de octubre (día 30 – 2.003 ppm). Por otro lado, los valores más bajos se encontraron en la primera decadiaria de diciembre (día 8 – 1.918 ppm y día 6 – 1.929 ppm). Asimismo, el promedio decadiario más alto corresponde a la tercera decadiaria de octubre con 1.97 ppm; mientras que, el valor más bajo corresponde a la primera decadiaria de diciembre con 1.942 ppm. En general, octubre presentó el promedio más alto (1.964 ppm) y en contraparte, diciembre presentó el promedio más bajo (1.959 ppm).

Figura N° 39 Evolución del promedio diario, decadiario y mensual de CH₄ durante el cuarto trimestre



³⁶ WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 20. Obtenido de: https://wmo.int/sites/default/files/2025-10/GHG-21_en.pdf

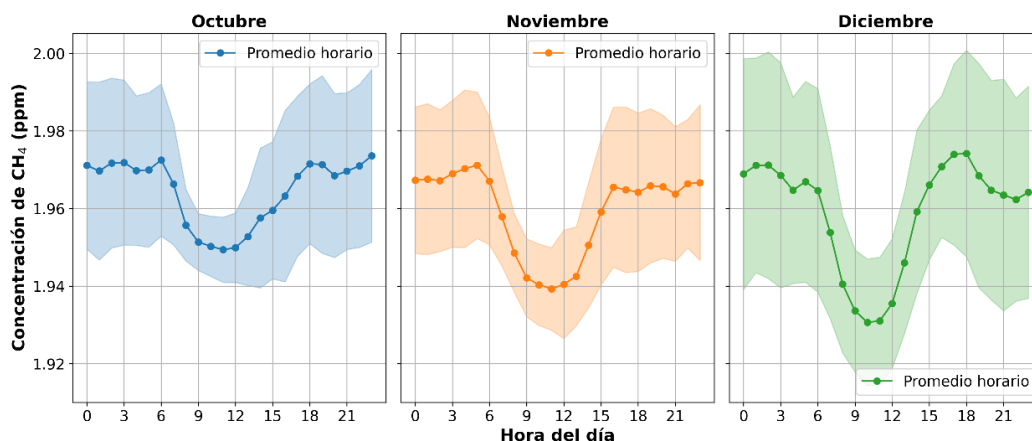
³⁷ Metano. Obtenido de: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/metano/>

Respecto al ciclo horario de las concentraciones de CH₄ (ver Figura N° 39), se observa para cada mes del trimestre que, en promedio los mayores valores se dan entre las 17:00 horas a 07:00 horas; mientras que entre las 09:00 a 14:00 horas se alcanzan los menores valores. Esto, puede deberse a la estabilidad atmosférica de horas de la noche, lo que provoca que el CH₄ no se mezcle en la atmósfera, a diferencia del horario matutino y vespertino.

Durante octubre, el promedio horario de CH₄ osciló entre 1.949 ppm (11:00 horas) y 1.974 ppm (23:00 horas), con desviaciones estándar de 0.007 ppm a 0.023 ppm. En noviembre, el rango de los promedios horarios estuvo entre 1.939 ppm (11:00 horas) y 1.971 ppm (05:00 horas), con desviaciones estándar entre 0.01 ppm y 0.021 ppm. En diciembre, los promedios horarios se presentaron de 1.931 ppm (10:00 horas) a 1.974 ppm (18:00 horas), con desviaciones estándar de 0.016 ppm a 0.03 ppm.

En general, se puede apreciar que, para el trimestre, los promedios horarios más altos se encontraron en el mes de octubre; mientras que, los promedios más bajos se encontraron en el mes de diciembre.

Figura N° 40 Ciclo horario promedio del CH₄ por cada mes del trimestre

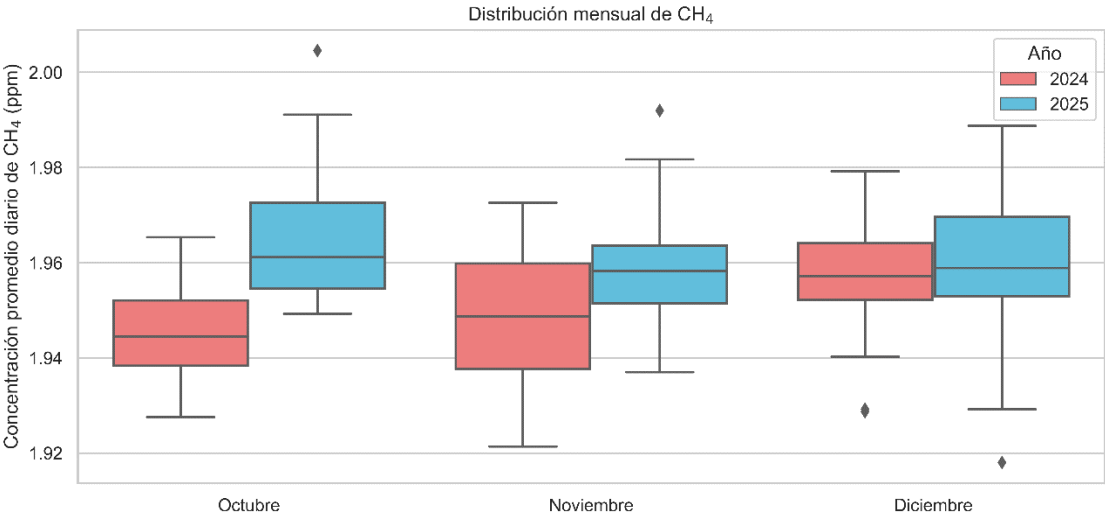


D. COMPARACIÓN INTERANUAL DE LOS NIVELES DE CH₄ PARA EL CUARTO TRIMESTRE

En la Figura N° 41 se muestra una comparación de la distribución mensual de la concentración promedio diaria de CH₄ (ppm) entre el cuarto trimestre del año 2024 con el mismo periodo del año 2025.

En ese sentido, se muestran concentraciones promedio diarias de CH₄ más altas en el 2025 respecto al 2024, particularmente durante octubre (1.961 ppm – mediana del 2025 y 1.944 ppm – mediana del 2024) y el mes de noviembre (1.958 ppm – mediana del 2025 y 1.948 ppm – mediana del 2024). Asimismo, durante el año 2025, se observa una mayor dispersión central de los datos, a excepción del mes de noviembre que presenta el mayor rango intercuartílico (IQR) de 0.022 ppm para el año 2024. En cuanto a los valores máximos de CH₄ registrados en 2025, estos superan a los registrados en el 2024, especialmente en octubre y noviembre, alcanzando concentraciones de 2.004 ppm y 1.992 ppm respectivamente. Por su parte, los promedios diarios más bajos se presentaron en los meses de octubre (1.927 ppm) y noviembre (1.921 ppm) del año 2024, a excepción del mes de diciembre que presentó el menor valor para el año 2025 (1.918 ppm).

Figura N° 41 Variación mensual interanual de los promedios diarios de CH₄ para el cuarto trimestre



VI. CONCLUSIONES

- Durante el cuarto trimestre del año, las masas de aire que llegaron al OVA Marcapomacocha para 500 hPa tuvieron una predominancia variable de procedencia, las cuales se encontraron principalmente entre el Oeste (O), Sur sureste (SSE) y Este (E).
- En cuanto a las condiciones meteorológicas locales, los vientos mostraron intensidades extremas y fuertes en el horario vespertino para todo el trimestre; así como en el horario matutino para el mes de octubre y nocturno en el mes de diciembre. Por su parte, la precipitación presentó una tendencia a la disminución hacia diciembre con un máximo acumulado diario de 4.9 mm, al igual que la humedad relativa que disminuyó a un promedio diario de 23.1%. Respecto a la temperatura, también se presentaron máximos diarios más altos hacia el mes de noviembre con un promedio de 12.6 °C. En cuanto al comportamiento de la radiación solar se presentó la misma tendencia con un pico máximo de acumulado diario de 8646 W/m² en noviembre.
- Durante el cuarto trimestre del año se tuvo menor ocurrencia y potencia radiativa de focos de calor en comparación con los meses anteriores, lo cual estaría asociado a una reducción en la ocurrencia de incendios forestales en el interior del país.
- Respecto a la Columna Total de Ozono, el mayor valor del trimestre (250 UD) se encontró en la segunda decadiaria de octubre (día 17 y 18), los cuales estuvieron por encima de su normal climática; mientras que, los valores más bajos (239 UD) se presentaron en los tres meses y estuvieron por debajo de su normal climática. En general, los valores diarios se mantuvieron por encima de 220 UD, indicando la ausencia de agujeros de ozono.
- La radiación UVE y UVT alcanzaron sus mayores valores en la tercera decadiaria de diciembre (día 28); mientras que, los menores valores en la primera decadiaria de octubre (día 6). Asimismo, en promedio durante el trimestre, la radiación UVE representó el 0.4% de la radiación UVT.
- Durante la tercera decadiaria de octubre y noviembre, así como en la primera decadiaria, predominó el IUV máximo diario de categoría Extremadamente Alta; mientras que, los menores valores del IUV máximo diario se encontraron en la tercera decadiaria de diciembre (categoría Alta).
- En relación al O₃ troposférico, los promedios móviles de 8 horas registraron el mayor valor del trimestre en la tercera decadiaria de octubre (77.1 µg/m³) y un mínimo en la tercera decadiaria de noviembre (21.1 µg/m³). En general, los niveles se mantuvieron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-aire, 100 µg/m³) durante todo el periodo evaluado. Por otro lado, octubre presentó 7 días con estado de calidad "Moderada" y 18 días como "Buena"; para noviembre, se alcanzaron 30 días con estado de calidad del aire "Buena". Finalmente, para el mes de diciembre, presentó 6 días con estado de calidad del aire "Moderada" y 24 días como "Buena".

- En cuanto a la vigilancia satelital de gases reactivos para el distrito de Marcapomacocha, las densidades de CO en la columna troposférica presentaron valores promedios decadiarios con una tendencia general a la disminución desde octubre hacia finales de noviembre. Por su parte, el HCHO mostró un incremento durante las decadiarias de noviembre, seguido de una disminución hacia el mes de diciembre. Respecto al NO₂, se evidenció un incremento durante el mes de noviembre, seguido de una disminución gradual hacia finales de diciembre. Finalmente, el SO₂ presentó una disminución desde la segunda decadiaria de noviembre hacia el mes de diciembre.
- Sobre la vigilancia de la deposición húmeda, los valores de pH no estuvieron por debajo del umbral de lluvia ácida, sin embargo, una de las muestras de Conductividad Eléctrica (correspondiente a la semana del 23/12/2025 al 30/12/2025) presentó un ligero incremento respecto al umbral de lluvia ácida, esto último pudo estar relacionado a presencia de sales marinas en la muestra.
- En relación a la vigilancia de aerosoles, las mayores concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} se registraron en los meses de noviembre y diciembre, siendo que los valores más elevados de concentración estarían mayormente vinculados a la resuspensión de polvo generada por el paso de vehículos y la acción de los vientos. Respecto al estado de la calidad del aire, durante todo el cuarto trimestre se presentaron días con calidad del aire "Buena".
- Por su parte la vigilancia satelital de aerosoles mostró que el UVAI alcanzó su máximo promedio areal para el distrito de Marcapomacocha en la tercera decadiaria de noviembre (0.78) y en cuanto a la ubicación del OVA se alcanzó un valor de 0.68 en la segunda decadiaria del mes de diciembre. Respecto al AOD, se obtuvieron máximos valores en la segunda decadiaria de diciembre (0.324).
- Por otro lado, en cuanto a los gases de efecto invernadero, se evidencia una disminución de las concentraciones de CO₂ en la primera decadiaria de diciembre, lo cual estaría asociado al mayor ingreso de radiación solar que aumenta la actividad fotosintética de las plantas y por ende, consume mayor CO₂. De manera similar, para el CH₄, dado que suelos más secos a consecuencia de mayor radiación solar, pueden inhibir la producción microbiana de este gas. Finalmente, de la comparación de los promedios diarios de CO₂ y CO₄ con respecto al trimestre del 2024, se evidencia incrementos principalmente para los meses de octubre y noviembre.

.....

Para más información sobre el presente boletín, contactar con:

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

Elaboración

José Hitoshi Inoue Velarde (jinoue@senamhi.gob.pe)
María Lourdes Isabel Urteaga Tirado
Brian Daygolo Chávez Lino
Steven Gilber Arce Quispe
Hanns Kevin Gómez Muñoz
Sháneri Sheyla Sánchez Calderón
Dayana Lucero Acuña Valverde

Apoyo

Juan Tacza Ordoñez
Julia Amelia Astudillo Capcha
Rosalinda Cedy Aguirre Almeyda

.....

Suscríbete al **BOLETÍN TRIMESTRAL DE MONITOREO DE LA ATMÓSFERA EN EL OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCHA** en el siguiente enlace:

https://docs.google.com/forms/d/1ep1Gdkz_s1W7L-xUbRJKjJs4LovFal85AbGaR7jskA/viewform?chromeless=1&edit_requested=true

Próxima actualización: Abril del 2026

Servicio Nacional de Meteorología e
Hidrología del Perú - SENAMHI
Jr. Cahuide 785, Jesús María Lima 11
- Perú

