



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

Abril – Junio 2024



PRESENTACIÓN

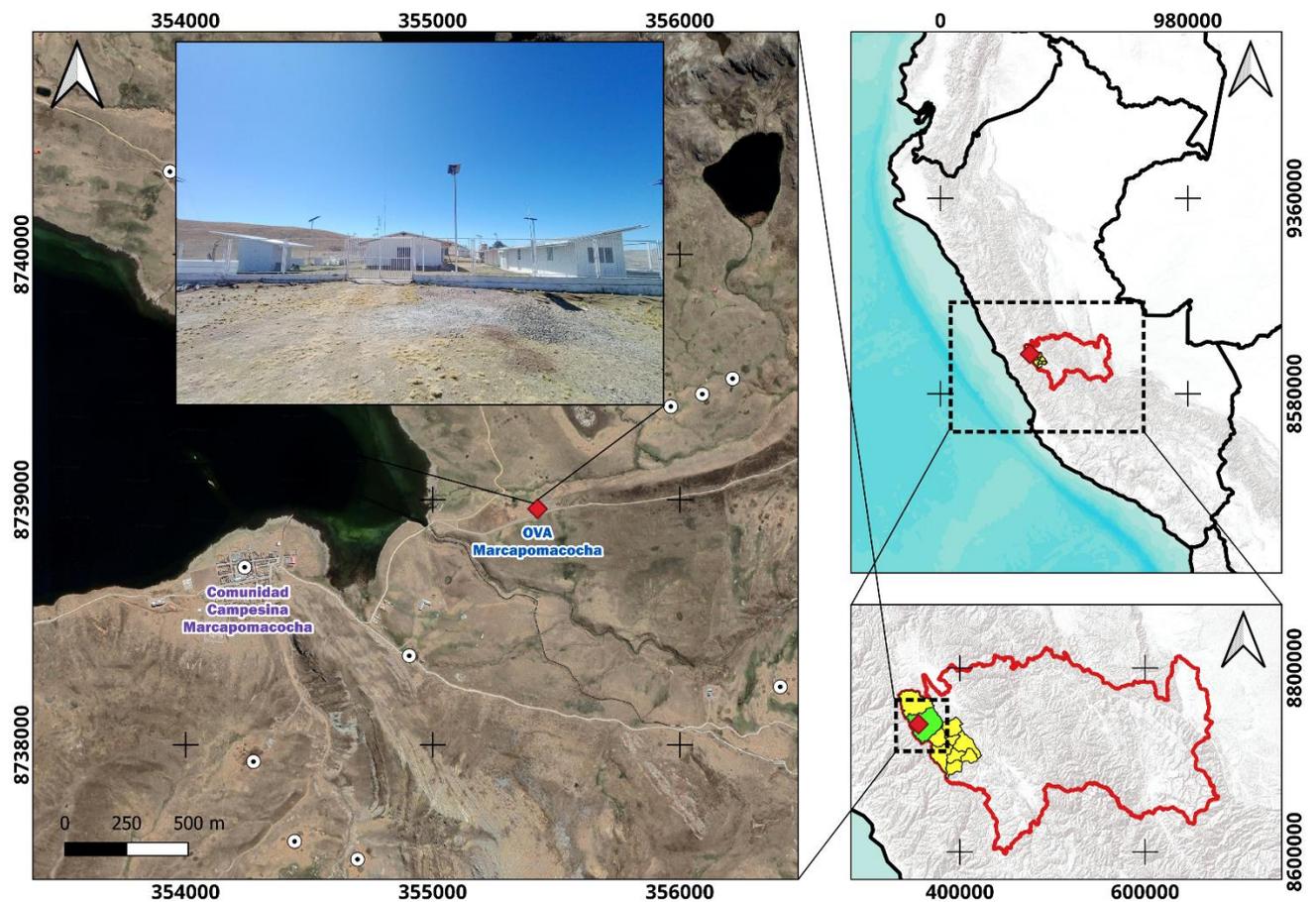
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) a través de la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA) de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA) publica el boletín trimestral de Monitoreo de la Atmósfera en el Observatorio de Vigilancia 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 segundo trimestre del 2024.

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 11.404433°S, 76.325083°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 precipitación, humedad relativa, radiación solar global, temperatura 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 cinco (05) de las seis (06) áreas focales que estudia el programa VAG, las cuales son: Ozono, Gases Reactivos, 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>)

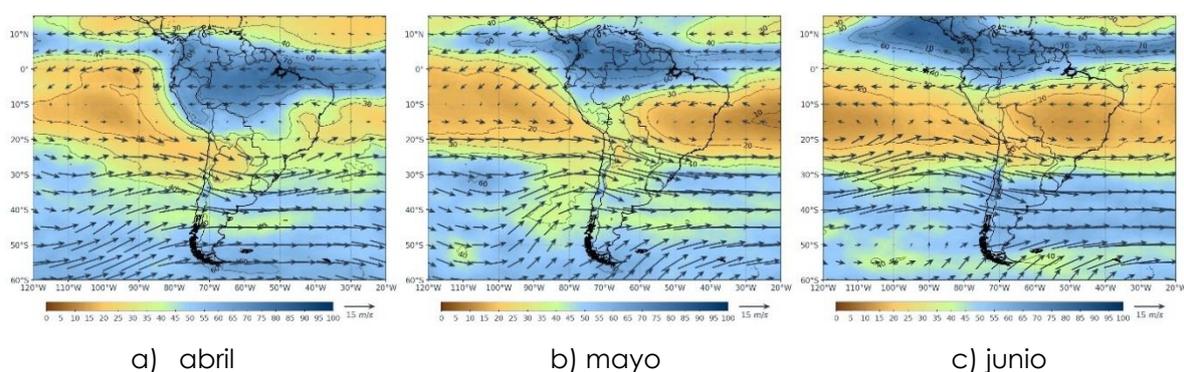
I. ANÁLISIS SINÓPTICO

En abril², en niveles altos, predominó una configuración anticiclónica que influyó sobre Bolivia, Perú y Brasil, con núcleo ubicado alrededor de los 15°S y 60°W, asimismo, a partir de los 10°S hacia latitudes mayores dominaron vientos del oeste asociados a una onda ligeramente pronunciada; estos sistemas atmosféricos asociados generaron condiciones de inestabilidad principalmente sobre Perú. En niveles medios los flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 25°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Bolivia y Brasil con núcleo en los 18°S y 55°W. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60-80%) hacia el territorio peruano (Ver Figura N°2a).

En mayo³, en niveles altos, se presentó una configuración anticiclónica débil sobre el noroeste de Brasil influyendo sobre Bolivia, Perú, Colombia y Brasil con núcleo no definido, asimismo, a partir de los 10°S hacia latitudes mayores dominaron vientos del oeste asociados a una onda no muy pronunciada; estos sistemas atmosféricos asociados generaron condiciones de inestabilidad principalmente sobre Perú, Colombia y Brasil. En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 15°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Brasil y Bolivia que extendió desde el Atlántico, y otro sobre el Pacífico alrededor de los 10°S. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60-80%) hacia el norte del Perú (Ver Figura N°2b).

Durante junio⁴, en niveles altos, se presentó una configuración anticiclónica débil sobre el noroeste de Brasil influyendo principalmente sobre Bolivia, Perú, Colombia y Brasil con núcleo no definido, asimismo, generando condiciones de inestabilidad principalmente sobre Perú, Colombia y Brasil. En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 20°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Brasil que se extendió desde el Atlántico y otro sobre el Pacífico alrededor de los 15°S. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con contenido humedad (entre el 40 y 80%) hacia el norte del Perú (Ver Figura 2c).

Figura N° 2 Mapas de campos de viento y humedad relativa en niveles medios de la atmósfera (500hPa)



² VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, ABRIL: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-110.pdf>

³ VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, MAYO: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-111.pdf>

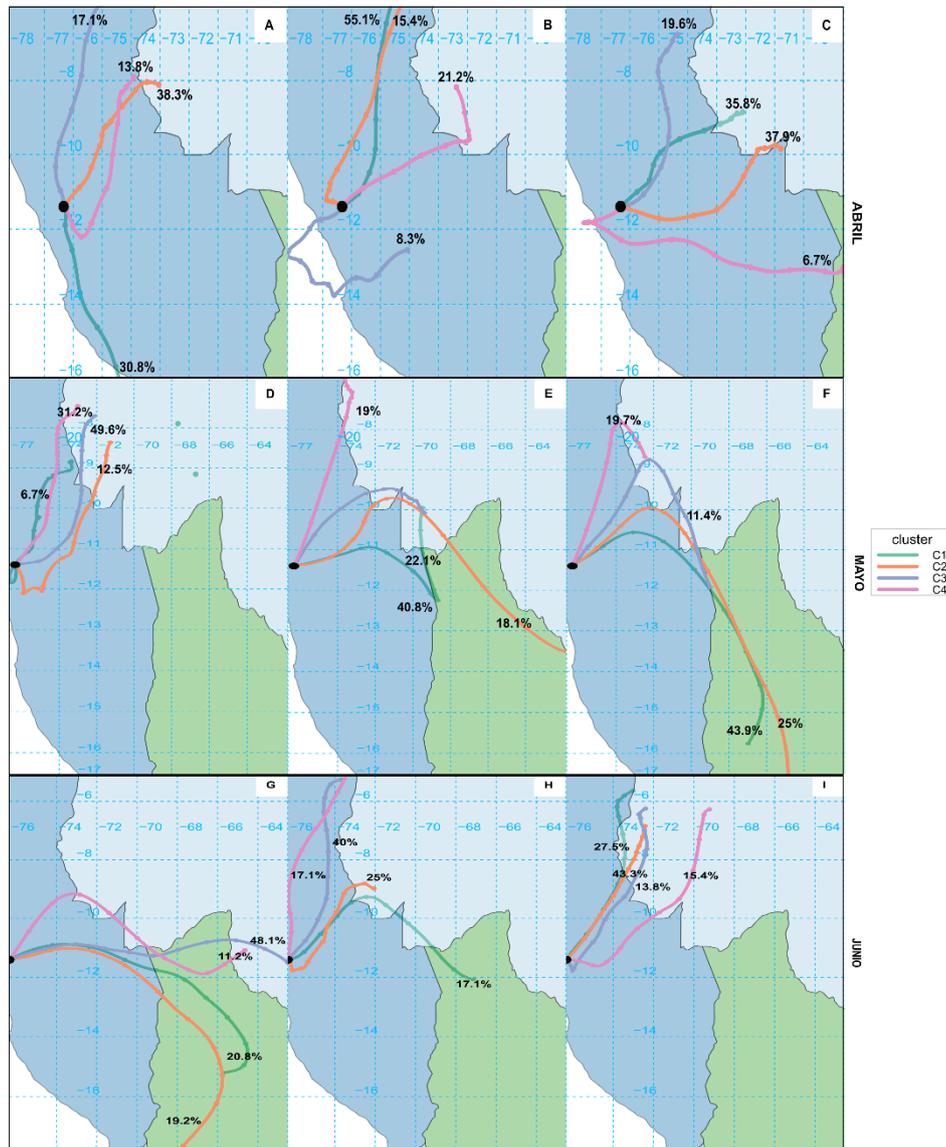
⁴ VIGILANCIA SINÓPTICA DE SUDAMÉRICA, JUNIO: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02214SENA-112.pdf>

II. ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS

Para un análisis a detalle del comportamiento y predominancia de las masas de aire sobre el OVA Marcapomacocha, se usó retrotrayectorias decadiarias, 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. Estas retrotrayectorias se generaron con el modelo Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) implementado en el lenguaje de programación R con datos de reanálisis.

Para abril (ver Figuras N° 3a, N° 3b y N° 3c), en las tres decadiarias, se observó que predominaron masas de aire que provinieron de direcciones entre este (E) y noreste (NE). En mayo (ver Figuras N° 3d, N° 3e y N° 3f), también se tuvo predominancia de masas de aire provenientes de la dirección este (E) y noreste (NE); sin embargo, la última decadiaria mostró masas de aire provenientes del sureste (SE). Finalmente, en junio (ver Figuras N° 3g, N° 3h y N° 3i), se pudo apreciar la predominancia del este (E) para la primera decadiaria, mientras que para la segunda y tercera se apreció una predominancia del noreste (NE).

Figura N° 3 Cluster de retrotrayectorias decadiarias mensuales



III. MONITOREO METEOROLÓGICO LOCAL

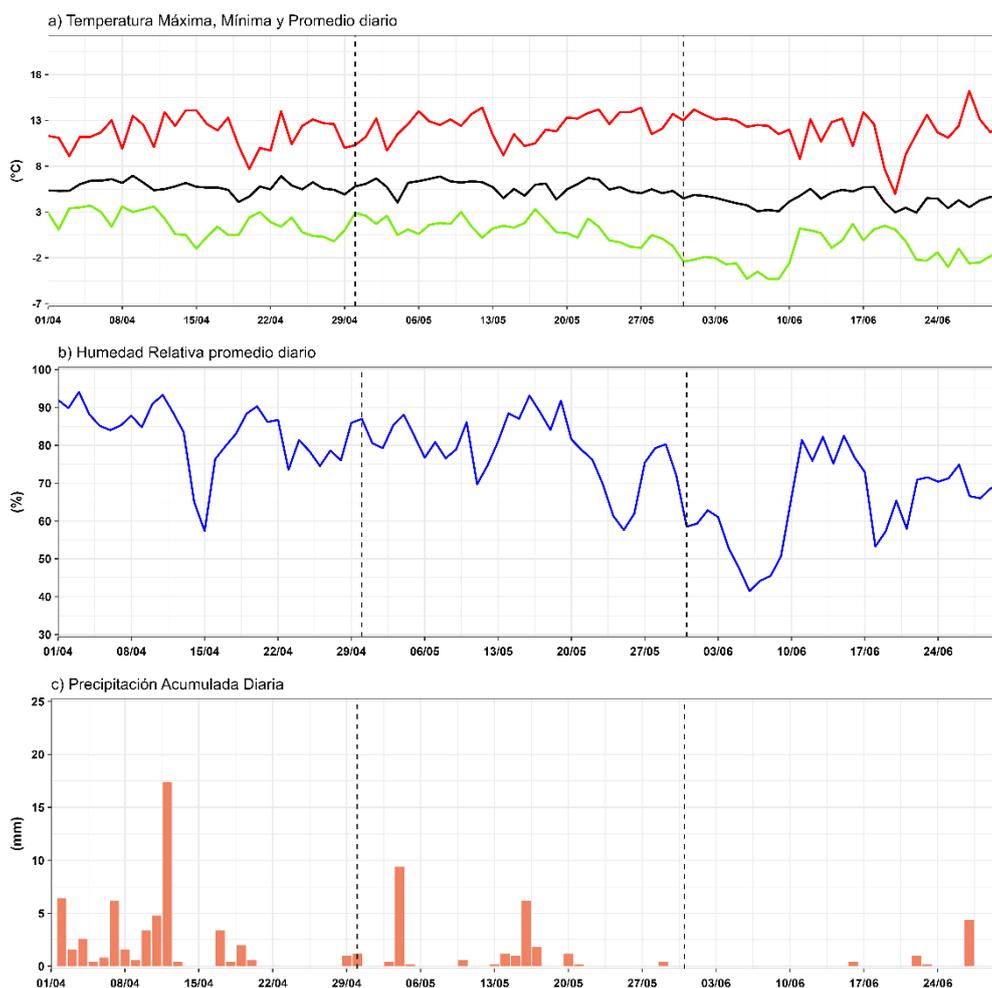
En el segundo trimestre del año, con los datos de la Estación Meteorológica Automática del OVA Marcapomacocha se llevó a cabo un análisis de la intensidad de los vientos (m/s), temperatura del aire (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm).

En abril, la temperatura máxima promedio del aire fue 11.6°C y la mínima promedio de 1.7°C. En mayo, se registró una máxima promedio de 12.4°C y una mínima promedio de 0.9°C. En junio, la temperatura máxima promedio fue de 11.9°C y la mínima promedio de -1.3°C (Figura N°4a).

En cuanto a la humedad relativa promedio diario, en abril se alcanzó una máxima de 94.0%, una mínima de 57.3% y un promedio de 85.2%. En mayo, se registró una máxima de 93.1%, una mínima de 57.6% y un promedio de 79.2%. En junio, se registró una máxima de 82.5%, una mínima de 41.5% y un promedio de 66.4% (Figura N°4b).

En relación con la precipitación acumulada diaria, en abril se alcanzó una máxima de 17.4 mm y un promedio de 2.2 mm. En mayo, se obtuvo una máxima de 9.2 mm y un promedio de 1.5 mm. En junio, se obtuvo un máximo de 4.4 mm y un promedio de 0.2 mm (Figura N°4c).

Figura N° 4 Series temporales de las variables meteorológicas

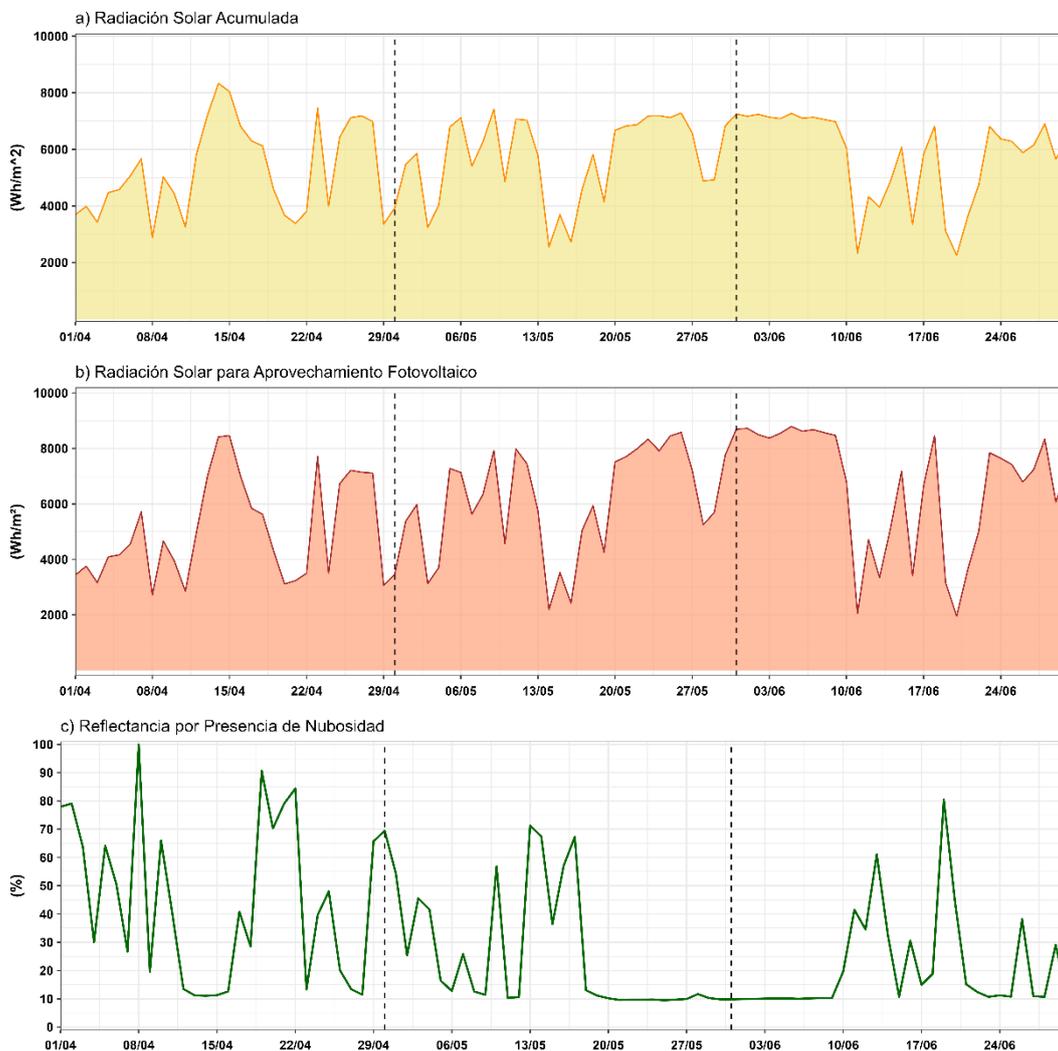


Respecto a la radiación solar global acumulada, para abril se obtuvo una máxima de 8334 W/m² el 14, mientras que el valor mínimo fue de 2875 W/m² alcanzado el 8. Para el mes de mayo, se alcanzó una máxima de 7423 W/m² para el día 9, mientras que el valor mínimo fue de 2245 W/m² alcanzado el 14. En junio se alcanzó una máxima de 7269 W/m² el día 5, mientras que el valor mínimo fue de 2263 W/m² alcanzado el día 20 (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 8466 W/m² para el 15 de abril, en cambio para mayo se encontró un valor máximo de 8697 W/m² el día 26 y finalmente para el mes de junio se encontró un valor máximo de 8795 W/m² el día 4 (ver Figura N°5b).

Con respecto a la reflectancia por nubosidad, se observó que durante abril se alcanzó un valor máximo de 100% el día 8 de abril. En mayo, el valor máximo fue de 71.2%, registrado el 13 de mayo. Por su parte, en junio se registró un valor máximo de 80.4% el 19 de junio (ver Figura N°5c).

Figura N° 5 Series temporales de radiación solar y reflectancia

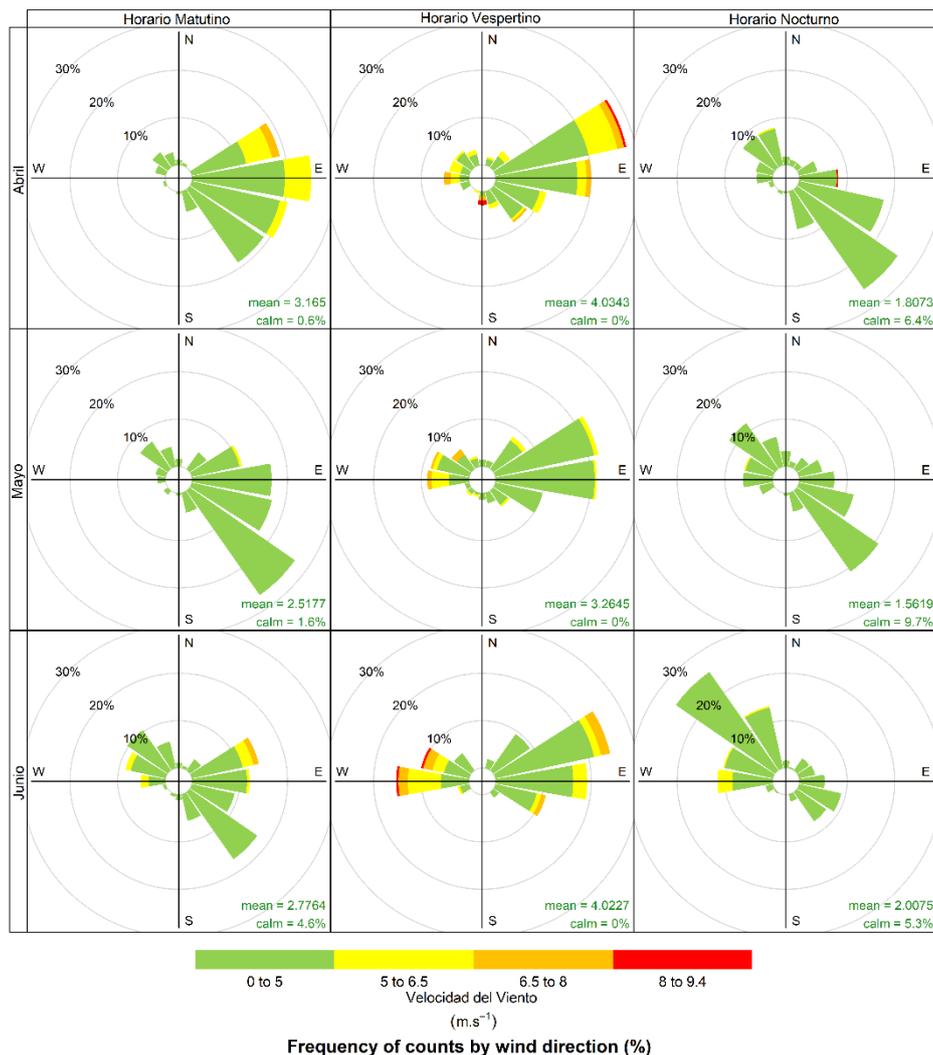


En la Figura N° 6, se observan las rosas de vientos para los periodos matutino (07:00 a 11:59 horas), vespertino (12:00 a 18:59 horas) y nocturno (19:00 a 06:59 horas) de los meses evaluados, en donde las categorías de la intensidad del viento corresponden a: débiles (0 – 5 m/s), moderados (5 – 6.5 m/s),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

Para el horario matutino, la dirección predominante del viento en abril fue del este (E), con una intensidad máxima de moderada; mientras que para mayo y junio se registró una dirección predominante del viento del sureste (SE), con una intensidad máxima de débil. Por otra parte, para el horario vespertino, se presentó una dirección predominante del noreste (NNE) para abril, mayo y junio, con una intensidad máxima de extrema, moderada y fuerte, respectivamente. Finalmente, para el horario nocturno, la dirección predominante fue del sureste (SE) para los meses de abril y mayo, con una intensidad máxima de débil; mientras que, para junio la dirección predominante fue del noroeste (NW) con una intensidad máxima de débil.

Las mayores intensidades del viento se alcanzaron en el horario vespertino durante el mes de abril, con una categoría de extremo.

Figura N° 6 Rosa de vientos



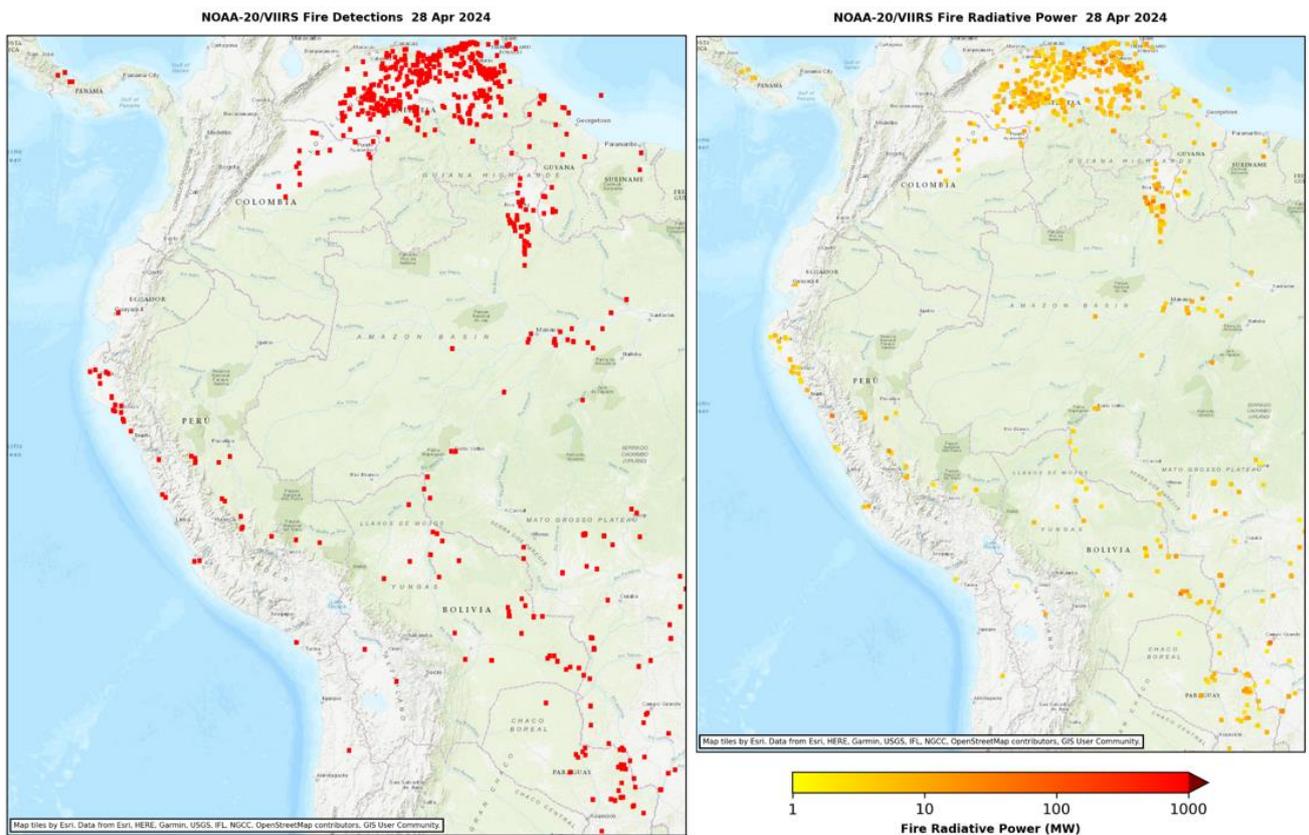
IV. MONITOREO DE FOCOS DE CALOR

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 (CO_2 , CH_4 y N_2O), gases reactivos (CO , NO_2 , 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 ABI Full Disk (ABI-L2-FDCF) del Geostationary Operational Environmental Satellite-16 (GOES-16)⁶ y el producto VIIRS-AF-Iband-EDR del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) del Satélite NOAA-20⁷, se realizó el seguimiento de los focos de calor durante el segundo trimestre del presente año.

En la Figura N° 7 se presentan los focos de calor y su potencia radiactiva durante el 28 de abril de 2024. Por otro lado, en la Figura N° 8 se muestra la serie de tiempo de la cantidad de focos de calor en Perú durante el segundo trimestre del año, alcanzando un máximo de 280 focos de calor en junio.

Figura N° 7 Focos de calor y potencia radiactiva



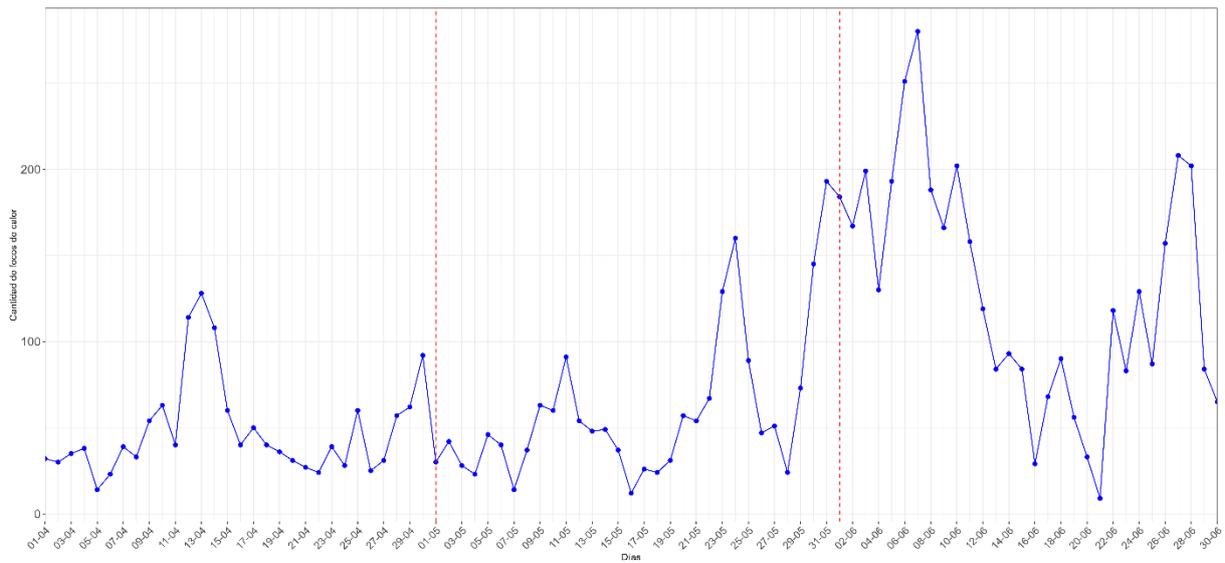
⁵ La quema de biomasa en Sudamérica vista desde el espacio. Obtenido de:

https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Canziani/publication/242093033_LA_QUEMA_DE_BIOMASA_EN_SUDAMERICA_VISTA_DESDE_EL_ESPACIO/links/00463528378a684dfc000000/LA-QUEMA-DE-BIOMASA-EN-SUDAMERICA-VISTA-DESDE-EL-ESPACIO.pdf

⁶ Documentación del GOES-16: https://www.star.nesdis.noaa.gov/atmospheric-composition-training/satellite_data.php#abi_documentation

⁷ Datos VIIRS : <https://noaa-nesdis-n20-pds.s3.amazonaws.com/index.html>

Figura N° 8. Cantidad de focos de calor en el Perú



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

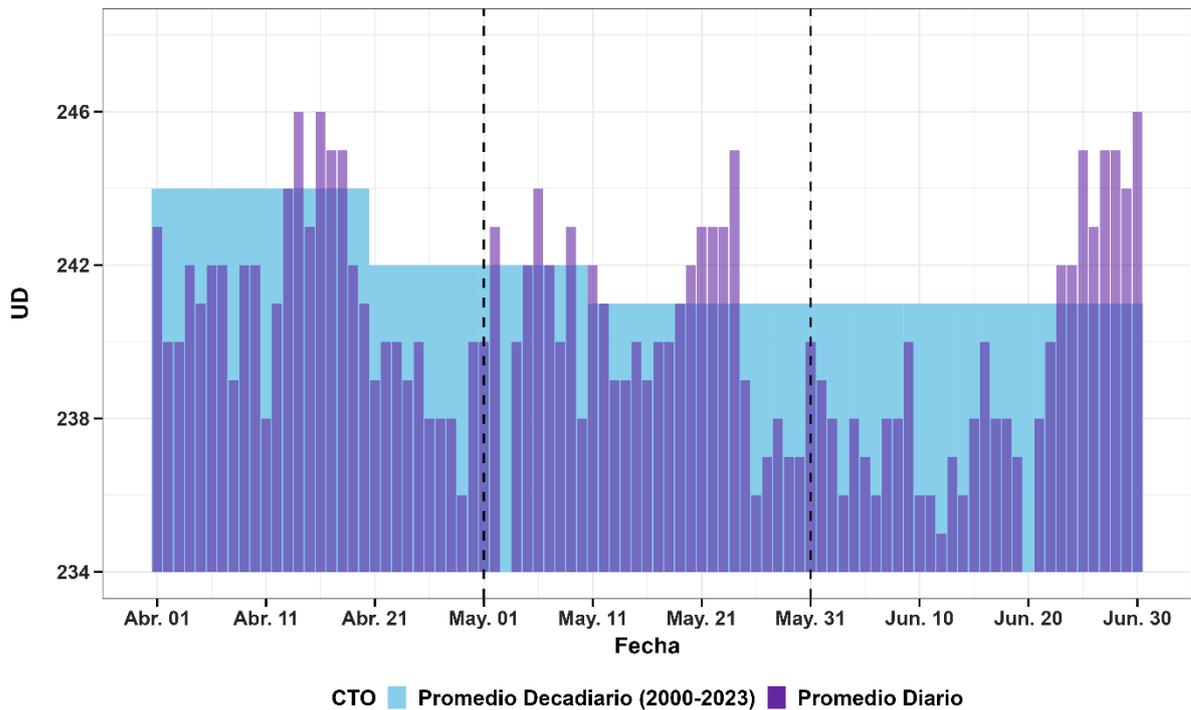
5.1 ÁREA FOCAL DE OZONO

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



Figura N° 11 Variación de promedios diarios de la CTO



5.2 ÁREA FOCAL DE RADIACIÓN

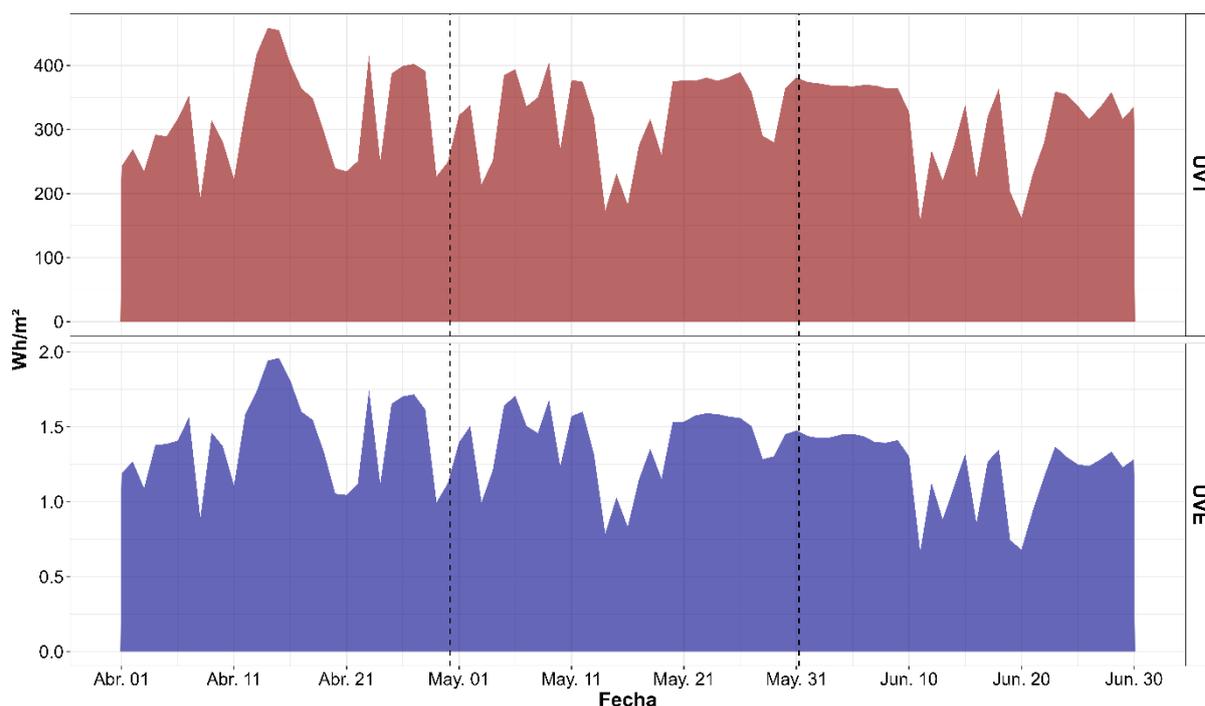
A. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) se divide en tres bandas principales según la longitud de onda: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 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.¹¹ 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.

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 segundo trimestre de 2024. Durante el mes de abril, se observaron valores acumulados entre 0.8 y 1.9 Wh/m² para el UVE y entre 192.6 y 458.6 Wh/m² para el UVT. Con respecto a mayo, se encontraron entre 0.7 y 1.7 Wh/m² para el UVE y entre 173.5 y 405.2 Wh/m² para el UVT. Por su parte, junio presentó oscilaciones del UVE entre 0.6 y 1.4 Wh/m²; y del UVT entre 157.8 y 373.9 Wh/m². En general, los mayores valores de la UVE y la UVT se encontraron en la segunda decadiaria de abril (día 14) y los menores valores en la segunda decadiaria de junio (día 11). Asimismo, se evidencia una tendencia a la disminución de los valores hacia el mes de junio dada la cercanía al comienzo de la estación de invierno.

¹¹ Organización Mundial de la Salud, 2003.

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



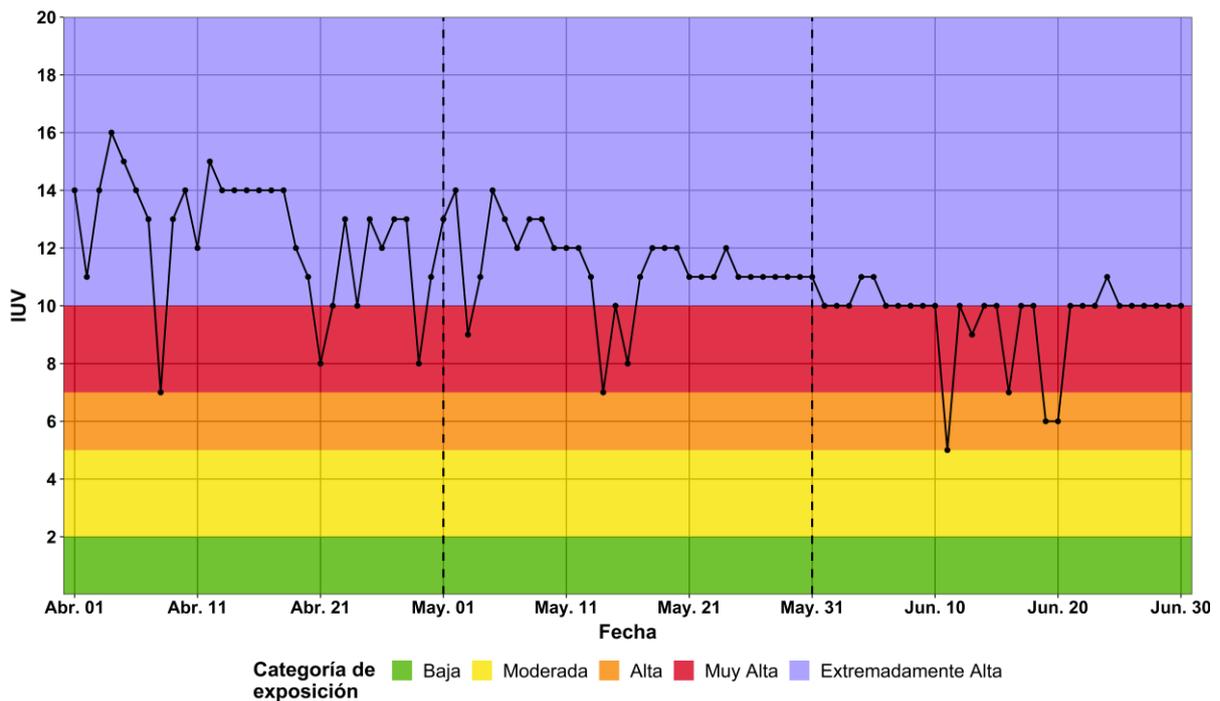
Asimismo, en promedio, la UVE representó el 0.42% de la UVT. Es importante señalar que el monitoreo de ambos tipos de radiación UV son complementarios y necesarios para una comprensión integral de los efectos de la radiación UV y para la implementación de medidas adecuadas de protección y mitigación.

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. De esta manera, al igual que la radiación ultravioleta eritemática (UVE), el índice UV pondera la radiación UV según su capacidad para causar daño a la piel, utilizando la curva de acción eritemática.

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 abril, estos valores oscilaron entre 7 y 16; para mayo, entre 7 y 14; y para junio, entre 5 y 11. La disminución de los valores máximos diarios del IUV se relacionan con la transición de la estación de otoño hacia el inicio del invierno en el hemisferio sur.

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



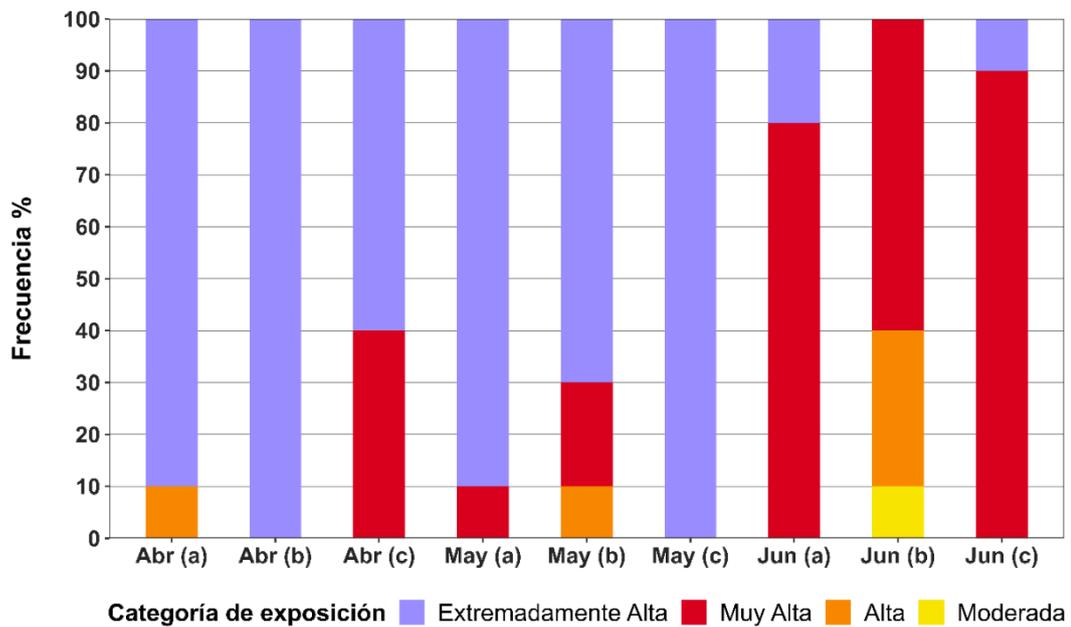
La Figura N° 14 presenta las frecuencias de las categorías de exposición de la OMS alcanzadas de acuerdo con los valores del IUV (máximos diarios) en el OVA Marcapomacocha durante las decadiarias (primera (a), segunda (b) y tercera (c)) de los meses de abril, mayo y junio. Durante cada una de las decadiarias de los meses de abril y mayo, se evidencia una predominancia en la ocurrencia de la categoría de exposición Extremadamente Alta (por lo menos un 60%), siendo la tercera decadiaria de mayo, aquella que la presenta en la totalidad de sus días. Asimismo, la segunda categoría en mayor ocurrencia (Muy Alta) se observa con mayor predominancia para las decadiarias de junio, teniendo mayor presencia (90%) en la tercera decadiaria de junio. Por otro lado, solo se alcanzó la categoría Alta en la primera decadiaria de abril y la segunda decadiaria de mayo y junio. Finalmente, en el caso de la categoría Moderada, solo fue alcanzada en la segunda decadiaria de junio. 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^{12, 13, 14}.

¹² BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, ABRIL, 2024 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-101.pdf>)

¹³ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, MAYO, 2024 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-102.pdf>)

¹⁴ BOLETÍN MENSUAL VIGILANCIA DE LA VIGILANCIA DE RADIACIÓN UV-B EN CIUDADES DEL PAIS, JUNIO, 2024 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-103.pdf>).

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), dado que se reduce la capacidad para filtrar la radiación ultravioleta, y viceversa, cuando hay valores altos de la CTO tienden a reducirse los valores del IUV. Esto se evidencia en mayor medida en la tercera decadiaria de junio, seguido de lo ocurrido en los primeros días de la tercera decadiaria de mayo (21, 22 y 23).

Por otro lado, altos valores del IUV también podrían estar asociados a condiciones meteorológicas. En ese sentido, podrían estar asociados a una menor presencia de cobertura nubosa, lo cual se traduce en menores valores de reflectancia de la banda 2 del satélite GOES16 (Figura N°5) y viceversa, a mayor nubosidad, se presentan menores valores del IUV. Dicha asociación se presenta en la mayoría de los días del trimestre evaluado, principalmente en el mes de abril, así como en la primera y segunda decadiaria del mes de mayo.

5.3 ÁREA FOCAL DE GASES REACTIVOS

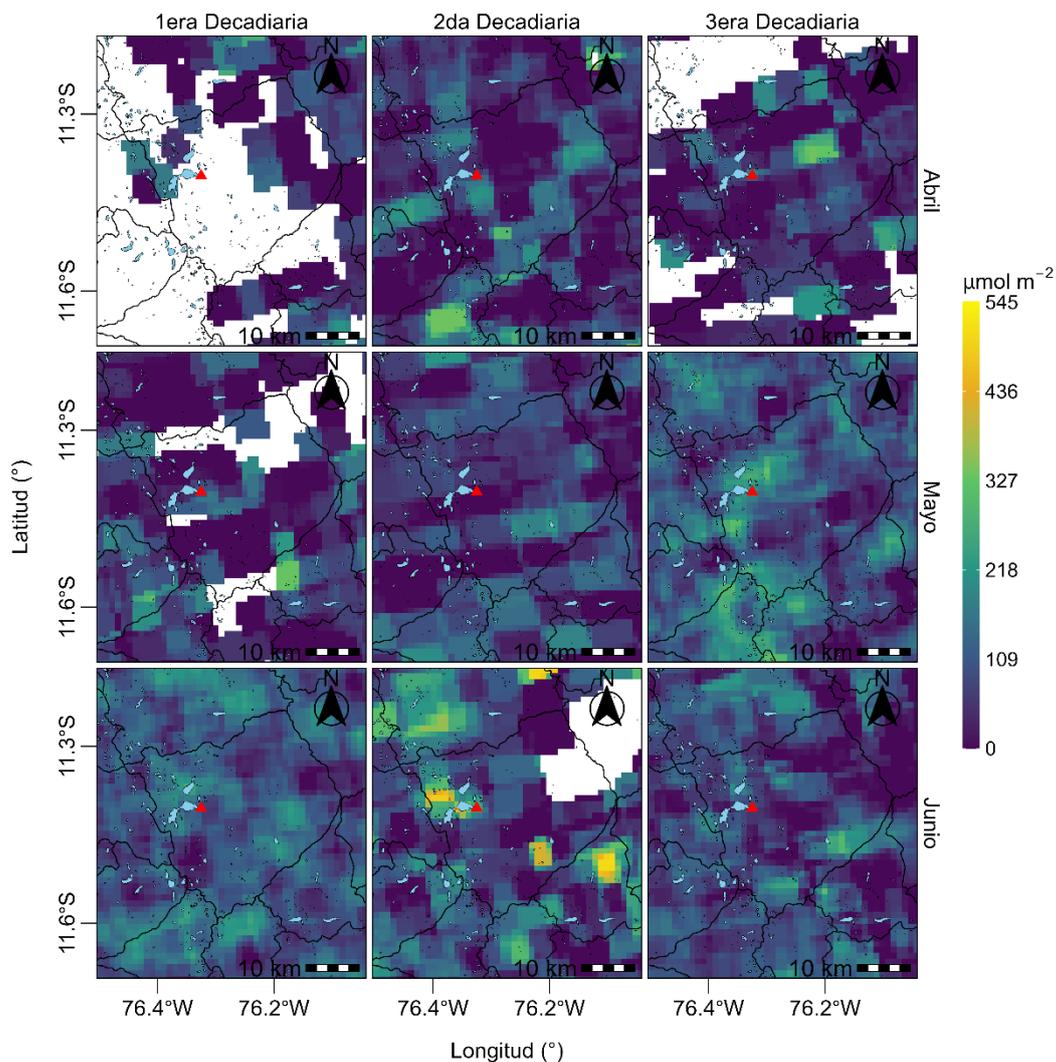
Durante el segundo trimestre del año, se ha realizado la vigilancia ambiental atmosférica de los gases reactivos Ozono Troposférico (O_3), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2) mediante equipos del OVA Marcapomacocha y el Instrumento de Monitoreo Troposférico Precursor Copernicus Sentinel-5 (S5p/TROPOMI).

El análisis decadiario de los mencionados gases se desarrolla a continuación:

A. FORMALDEHIDO (HCHO)

Durante el segundo trimestre, respecto al comportamiento de la densidad del HCHO, en casi todas las decadiarias de los meses de abril, mayo y junio (ver Figura N°15), se registraron densidades máximas menores a $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, las cuales afectaron al distrito de Marcapomacocha. En la segunda decadiaria de junio se presentaron los valores más altos, alcanzándose el valor de $485 \mu\text{mol}/\text{m}^2$. Además, en la primera decadiaria de abril no se presentaron densidades de HCHO que afectaran al distrito de Marcapomacocha.

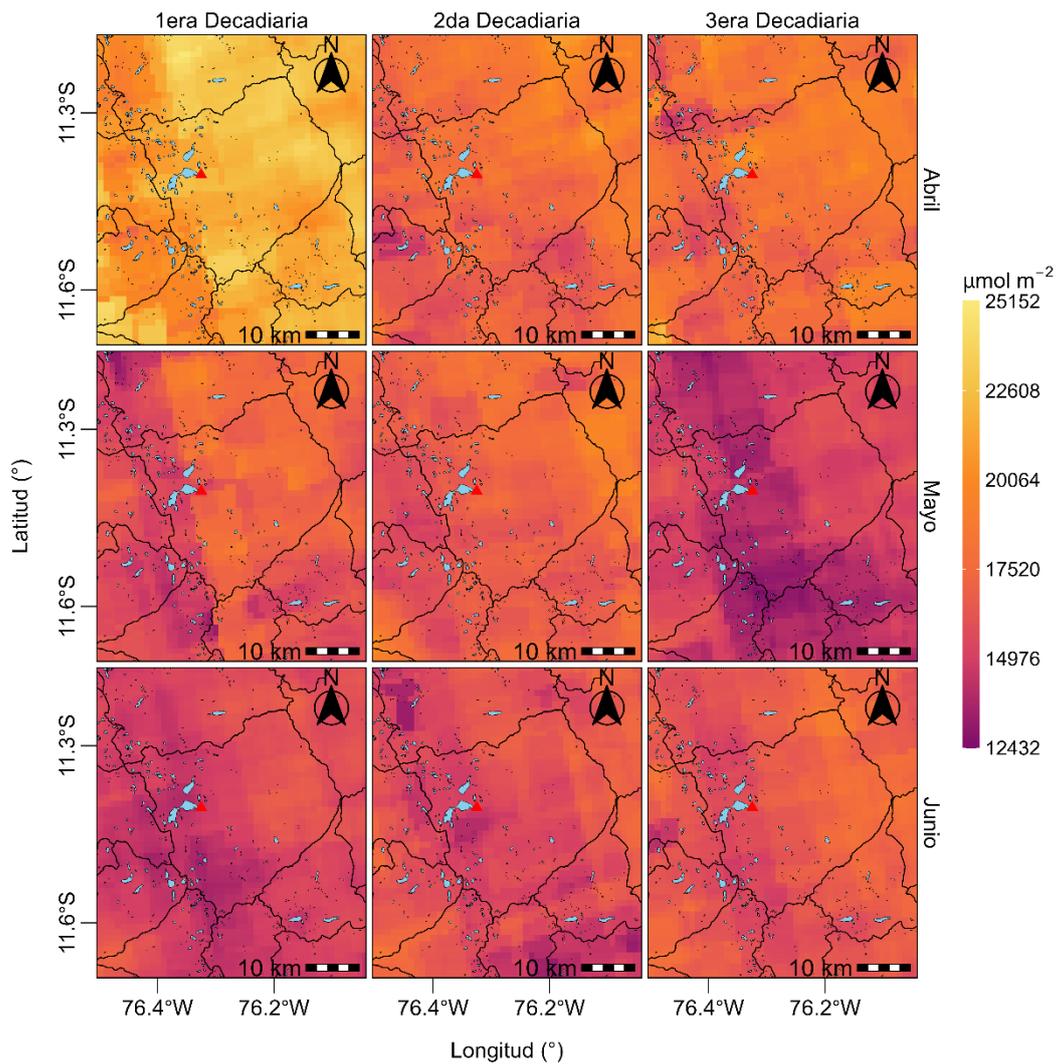
Figura N° 15 Variación espacial decadiaria mensual del HCHO



B. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Respecto al comportamiento de la densidad del CO, en todas las decadiarias de los meses de abril a junio (ver Figura N° 16), se registró valores menores a 25200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ que afectaron al distrito de Marcapomacocha. En el mes de abril durante la primera decadiaria se alcanzó el valor máximo de todo el trimestre, siendo este 23906 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Mientras que, el valor más bajo de todo el trimestre se alcanzó en la tercera decadiaria de mayo con 12688 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$.

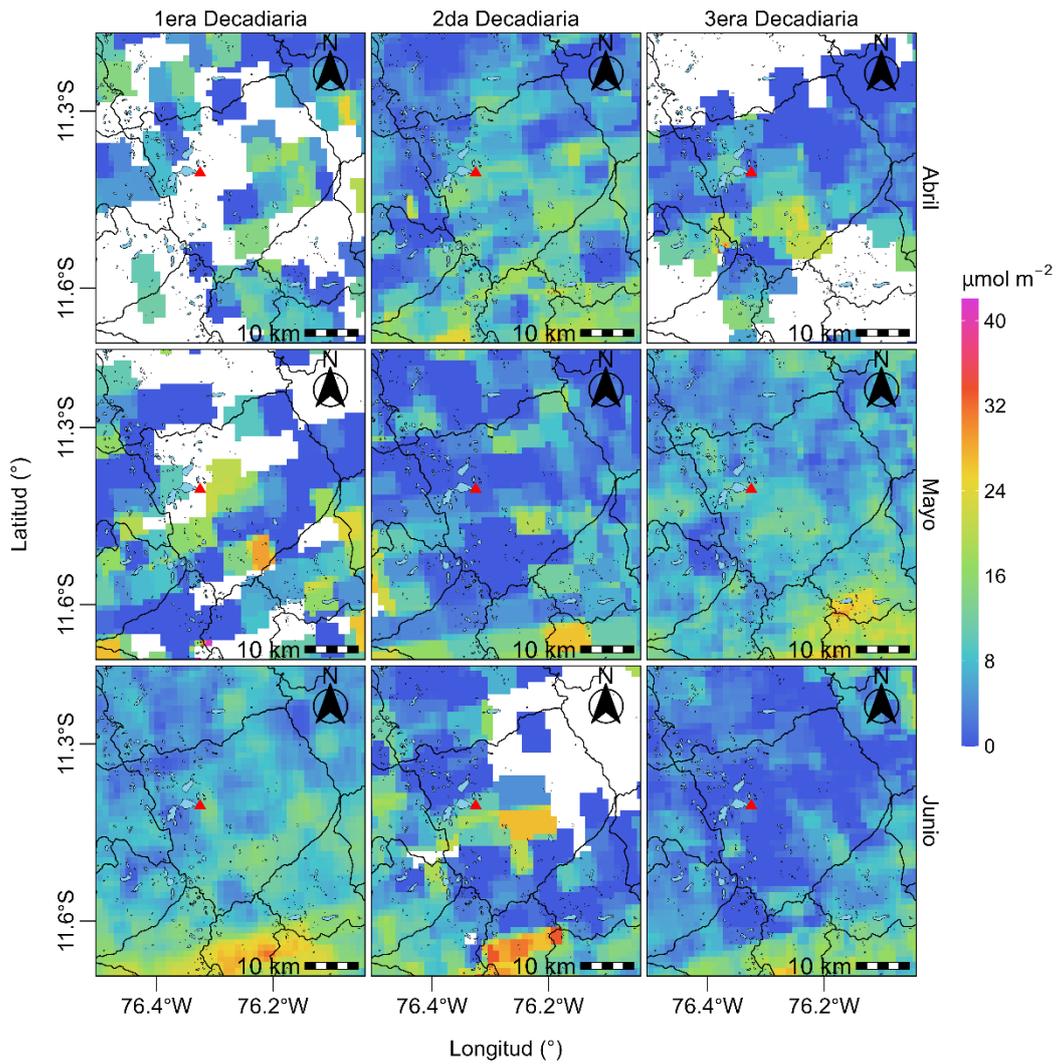
Figura N° 16 Variación espacial decadiaria mensual del CO



C. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

Respecto al comportamiento de la densidad del NO₂, en todas las decadiarias de los meses de abril, mayo y junio (ver Figura N°17), se tuvo máximas menores a 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ que afectaron al distrito de Marcapomacocha. En la primera decadiaria de mayo se presentó el valor más alto de 28.8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ al sur del distrito. Asimismo, los valores más bajos se presentaron en la tercera decadiaria de junio, seguida de la segunda decadiaria de mayo.

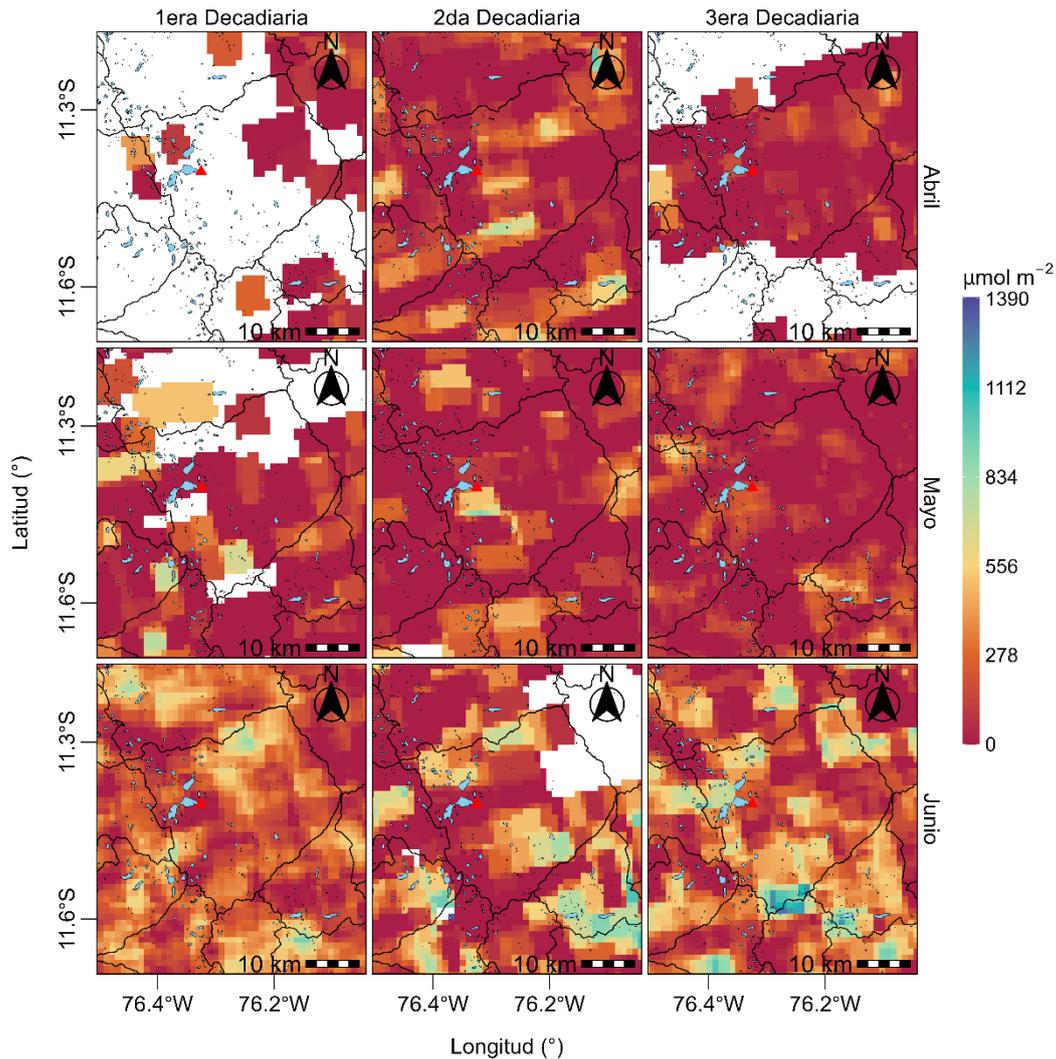
Figura N° 17 Variación espacial decadiaria mensual del NO₂



D. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

Respecto al comportamiento de la densidad del SO₂, todas las decadiarias de los meses de abril a junio (ver Figura N°18), tuvieron valores menores a 1300 μmol/m² que afectaron al distrito de Marcapomacocha. Los mayores valores se registraron en la tercera decadiaria de junio, alcanzándose un máximo de 1223 μmol/m² al sur del distrito de Marcapomacocha. Además, en la primera decadiaria de abril no se presentaron densidades de SO₂ que afectaran al distrito de Marcapomacocha.

Figura N° 18 Variación espacial decadiaria mensual del SO₂



5.4 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA TOTAL

Durante el segundo trimestre del año 2024, se ha realizado la vigilancia ambiental atmosférica de la Deposición Atmosférica Húmeda, a través de un muestreador semiautomático (ver Figura N°19) y posterior análisis de las muestras en laboratorio considerando lo estipulado en el Manual Técnico: MT-DMA-001¹⁵.

Figura N° 19 Muestreador de deposición atmosférica



En el Cuadro N°1 y en la Figura N°20a, se observan los valores de pH de la deposición atmosférica húmeda recolectados por el muestreador, donde los valores mínimo y máximo fueron 7.2 y 8.8, respectivamente. Se puede observar que todos los valores de pH registrados se encontraron por encima del umbral (<4.4)¹⁶ de lluvia ácida.

Cuadro N°1 Resultados del muestreo de deposición atmosférica húmeda

Número de muestra	Periodo de muestreo		Variables	
	Inicio	Fin	Potencial de Hidrógeno (pH)	Conductividad (µS/cm)
1	26/03/2024	2/04/2024	8.8	3.7
2	2/04/2024	9/04/2024	8.1	2.8
3	9/04/2024	16/04/2024	7.4	3.6
4	16/04/2024	23/04/2024	7.5	12.8
5	23/04/2024	30/04/2024		
6	30/04/2024	7/05/2024	7.2	19.4
7	7/05/2024	14/05/2024	7.7	14
8	14/05/2024	21/05/2024	8	7.1
9	21/05/2024	28/05/2024		
10	28/05/2024	4/06/2024		
11	4/06/2024	11/06/2024		
12	11/06/2024	18/06/2024		
13	18/06/2024	25/06/2024		
Valor mínimo			7.2	2.8
Valor máximo			8.8	19.4
Valor promedio			7.8	9.1

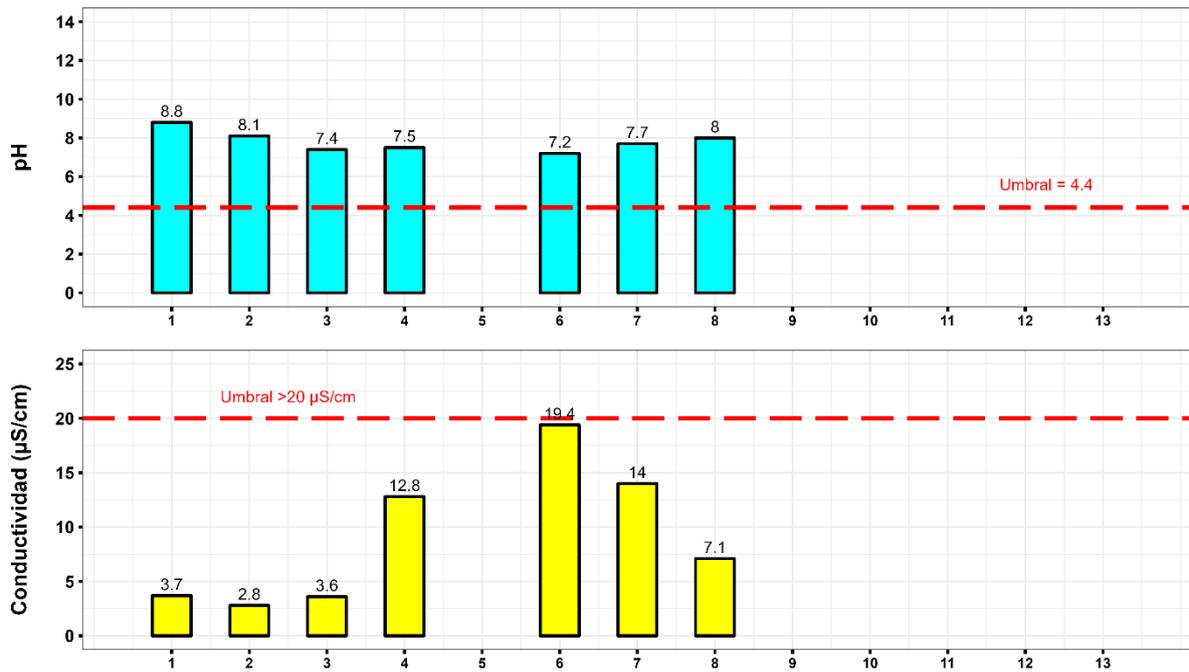
¹⁵ MONITOREO DE LA DEPOSICIÓN HÚMEDA Manual Técnico: MT-DMA-001 (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-93.pdf>)

¹⁶ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>)

Respecto a la Conductividad eléctrica de la deposición atmosférica húmeda, en el Cuadro N°1 y la Figura N°20b, se muestran los registros, donde los valores mínimo y máximo fueron 2.8 y 19.4, respectivamente; asimismo, se puede observar que no se registraron valores por encima del umbral de lluvia ácida¹⁷.

Cabe precisar, que los periodos de muestreo que no presentan datos se deben a que no se registró precipitación o cantidad de muestra suficiente para el análisis.

Figura N° 20. Registros de pH y conductividad eléctrica de la deposición atmosférica húmeda



¹⁷ Antolínez, A. y Díaz, C. (2003) Lluvia Ácida en la zona norte de Bogotá.

5.5 ÁREA FOCAL DE AEROSOLES

En el OVA Marcapomacocha, se realiza el monitoreo de aerosoles mediante equipos automáticos (ver Figura N°21) para determinar la concentración en masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, ver Figura N° 21a y Figura N° 21c) y en número de aerosoles (número de aerosoles/ m^3 , ver Figura N° 21b). Además, se complementa el seguimiento espacial de los aerosoles utilizando el índice de UV Aerosol del instrumento Copernicus Sentinel-5 (S5p/TROPOMI).

Figura N° 21 Equipamiento de aerosoles OVA Marcapomacocha



A. CONCENTRACIONES EN MASA

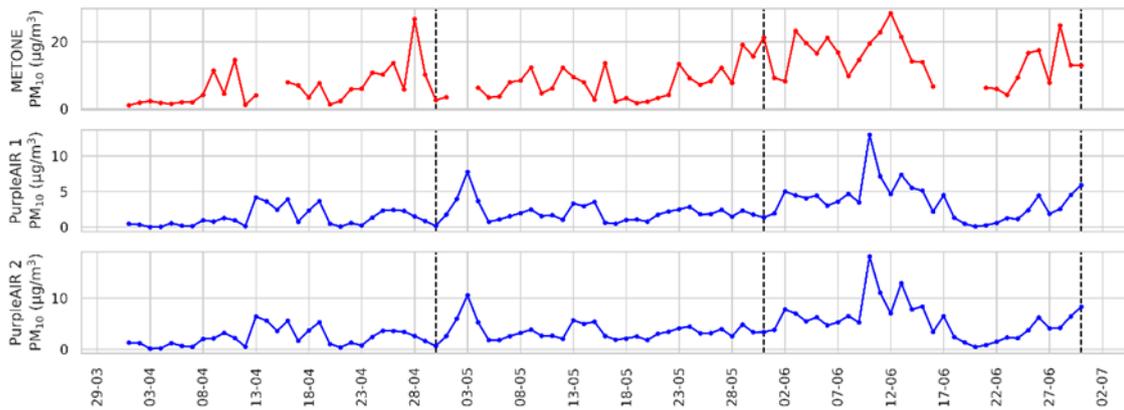
Con los datos del equipo METONE - 412 y dos sensores PurpleAir, se analizó la variabilidad diaria de las concentraciones de PM_{10} (Material Particulado con diámetro menor a 10 micras) y $\text{PM}_{2.5}$ (Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras) registradas en el OVA Marcapomacocha.

Para la ubicación del OVA Marcapomacocha, las partículas finas (diámetro menor a 2,5 micras) están asociadas a la ocurrencia de incendios, incluyendo los incendios forestales ocurridos en otras latitudes (transporte transfronterizo). Por otro lado, las partículas en el rango de la fracción gruesa (diámetro entre 2,5 y 10 micras) provienen del polvo resuspendido por efecto de la actividad vehicular en caminos de trocha o por acción de los vientos.

A.1. CONCENTRACIÓN EN MASA PARA EL PM₁₀

En la Figura N° 22 se observa que durante los meses de abril, mayo y junio no se registraron concentraciones diarias de PM₁₀ superiores al ECA – aire de 100 µg/m³ (como promedio diario). Se pudo destacar que durante el segundo trimestre las concentraciones del PM₁₀, alcanzaron valores máximos diarios de hasta 28.5 µg/m³ (miércoles 12 de junio) según el perfilador de partículas METONE – 412, mientras que según los registros de los sensores PurpleAir se alcanzaron valores máximos de 13 y 18.1 µg/m³ (lunes 10 de junio). Asimismo, se observa que, de manera general, ambos sensores (METONE – 412 y PurpleAir) coinciden que hubo incrementos más destacables durante el mes de junio.

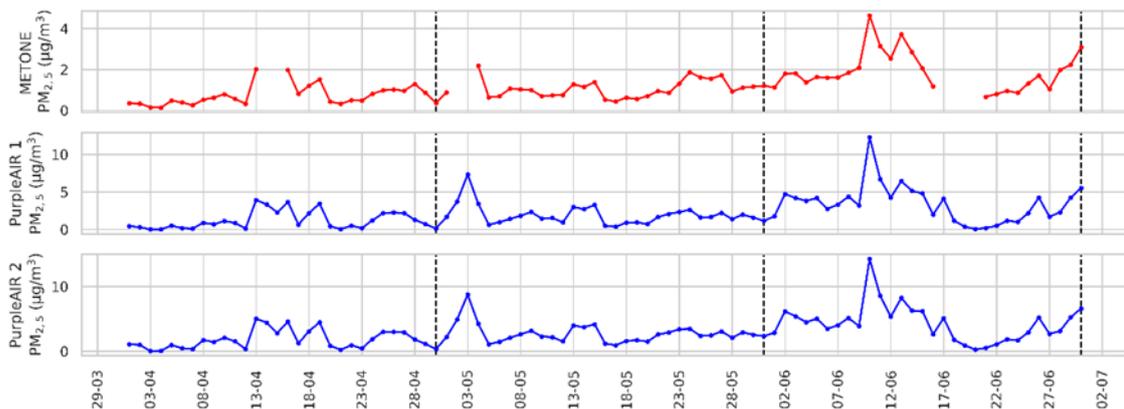
Figura N° 22 Variación diaria de PM₁₀



A.2. CONCENTRACIÓN EN MASA PARA EL PM_{2,5}

Respecto al PM_{2,5}, en la Figura N° 23 se observa que durante los meses de abril, mayo y junio no se registraron concentraciones diarias de PM_{2,5} superiores al ECA – aire de 50 µg/m³ (como promedio diario). Se pudo destacar que durante el segundo trimestre las concentraciones del PM_{2,5}, alcanzaron valores máximos diarios de hasta 4.6 µg/m³ (lunes 10 de junio) según el perfilador de partículas METONE – 412, mientras que según los registros de los sensores PurpleAir se alcanzaron valores máximos de 12.3 y 14.3 µg/m³ (lunes 10 de junio). Asimismo, se observa que de manera general hubo un mayor incremento de las concentraciones durante la primera y segunda decadiaria de junio.

Figura N° 23 Variación diaria de PM_{2,5}

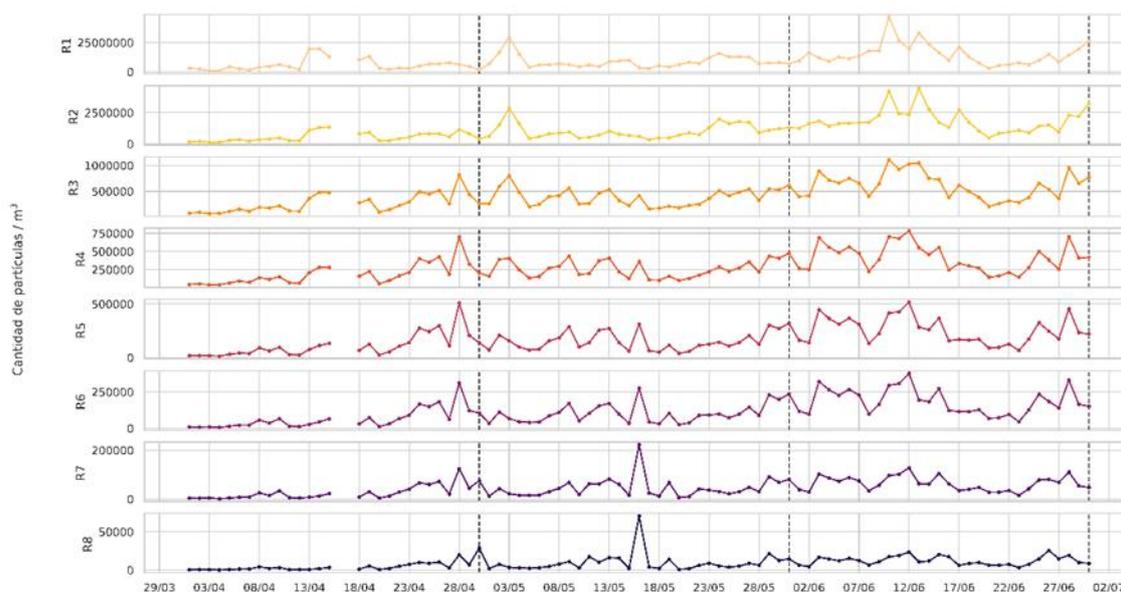


Las bajas concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ registradas en el OVA se deben a la escasa actividad antropogénica. Las concentraciones más altas de PM₁₀ mayormente se relacionan a la resuspensión del polvo por efecto de los vientos, el paso de animales o por el paso de algún vehículo cerca al observatorio, mientras que en el caso de PM_{2,5} estarían relacionadas a la ocurrencia de incendios.

B. CONCENTRACIÓN EN NÚMERO DE AEROSOLES

La mayoría de los estudios sobre la concentración de contaminantes atmosféricos se enfocan en la medición en masa (µg/m³). 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^{18 19}. 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 con el diámetro aerodinámico (d)²⁰: R1 (0,3 µm ≤ d < 0,5 µm), R2 (0,5 µm ≤ d < 0,7 µm), R3 (0,7 µm ≤ d < 1,0 µm), R4 (1,0 µm ≤ d < 2,0 µm), R5 (2,0 µm ≤ d < 3,0 µm), R6 (3,0 µm ≤ d < 5,0 µm), R7 (5,0 µm ≤ d < 10,0 µm) y R8 (10,0 µm ≤ d < 20,0 µm)²¹. En este contexto, la concentración en número de partículas se expresa como el total de partículas por unidad de volumen de aire.

Figura N° 24 Concentración en número de aerosol



Durante el segundo trimestre (ver Figura N°24) las mayores concentraciones promedio diarias en número de partículas se observaron en el rango R1, con un máximo de 46784602 partículas/m³ registrado el 10 de junio, fecha en la que también el rango R3 alcanzó un máximo de 1113905 partículas/m³. El rango R2 alcanzó 4430838 partículas/m³ el 13 de junio. Por su parte, los rangos R4, R5 y R6, registraron máximos de 782700, 516250 y 377199

¹⁸ "[...] 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>

¹⁹ UK AIR Air Information Resource (2022). Particle Numbers and Concentrations Network. Revisado el 1 de octubre del 2022 desde: <https://bit.ly/3D80Ap4>

²⁰ El diámetro aerodinámico es un indicador del tamaño de la partícula (World Health Organization Europe, 2005).

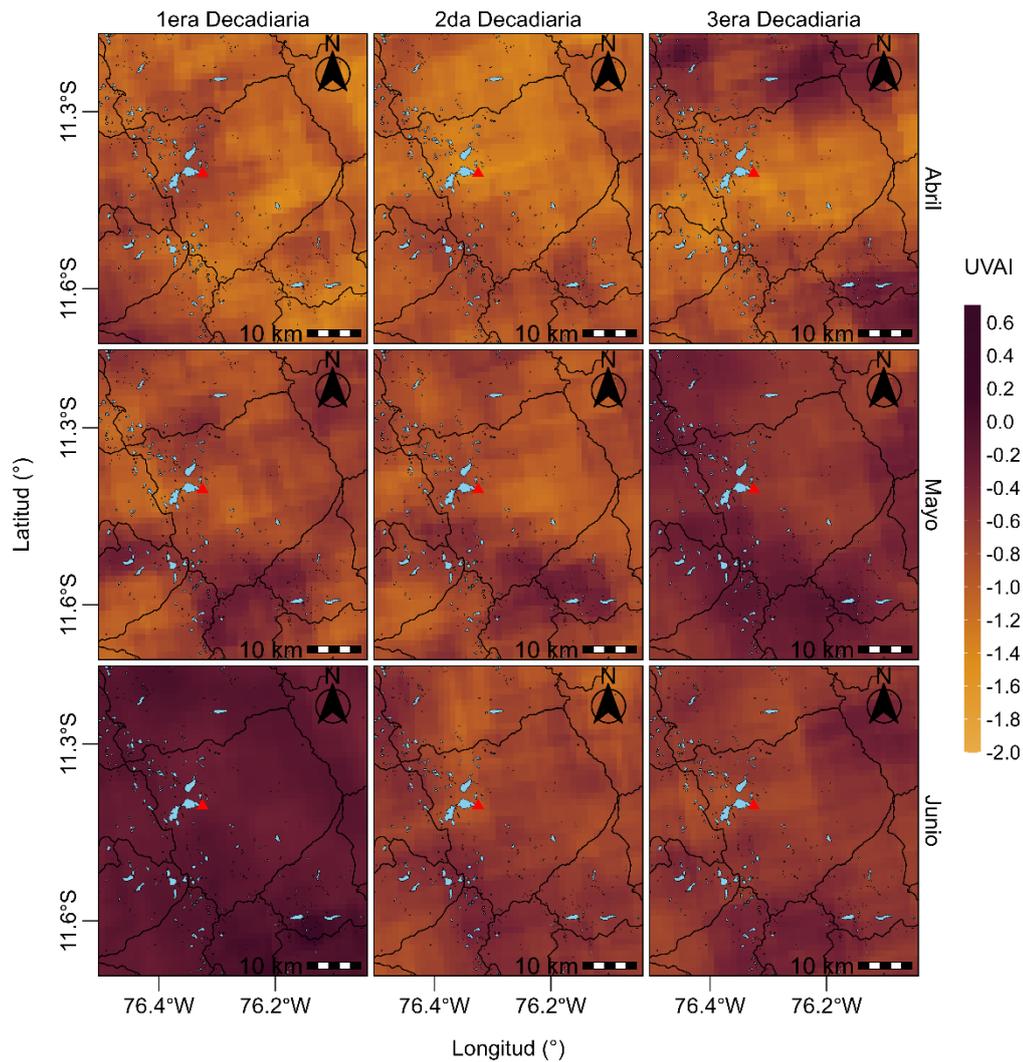
²¹ Cangiamila, S. (2019). Utilizzo e prestazioni di sensori low-cost per il monitoraggio di varie frazioni dimensionali di particolato atmosferico. Universidad de Bologna.

partículas/m³, respectivamente, el 12 de junio. Finalmente, los rangos R7 y R8 tuvieron valores máximos de 222631 y 70663 partículas/m³, respectivamente, el 16 de mayo.

C. INDICE UV DE AEROSOLES

Por otro lado, mediante el índice UV Aerosol (UVAI, ver Figura N°25), se puede observar la predominancia de aerosoles no absorbentes²² en todas las decadiarias de los meses del segundo trimestre. Dentro del distrito de Marcapomacocha se alcanzó un valor máximo de hasta -0.01 durante la primera decadiaria de junio y un valor mínimo de hasta -1.5 durante la segunda decadiaria de abril.

Figura N° 25 Índice de Aerosoles (UVAI)



²² Aerosoles No Absorbentes: Los aerosoles no absorbentes son partículas microscópicas suspendidas en la atmósfera que no tienen la capacidad de absorber la radiación solar. En lugar de absorber la luz, estos aerosoles dispersan la radiación en diferentes direcciones. Esta dispersión puede afectar la cantidad de luz solar que llega a la superficie terrestre y, en consecuencia, influir en el balance energético de la atmósfera.

D. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL AMLC

El índice de calidad del aire (ICA), está basado en valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA por sus siglas en inglés). Los ICAs son valores que permiten informar el estado de la calidad del aire, permitiendo a la población conocer que tan limpio o saludable está el aire y los efectos que podría causar en la salud^{23 24}. Para la presentación del índice de calidad del aire se consideró los promedios diarios de los valores de concentración en masa registrados por el METONE – 412.

ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL PM₁₀

La Figura N°26 muestra las concentraciones promedio de 24 horas para el PM₁₀ asociados a su respectivo estado de la calidad del aire, en la cual se observa que durante el mes de abril se presentó 28 días una calidad del aire “Buena”, durante el mes de mayo se presentó 29 días una calidad del aire “Buena” y finalmente en el mes de junio se presentó 26 días una calidad del aire “Buena”.

Figura N° 26 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

²³ Air Quality Index. A guide to Air Quality and Your Health. Obtenido de: https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf
²⁴ 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> <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-02/pm-naaqs-air-quality-index-fact-sheet.pdf>

VI. CONCLUSIONES

- Durante el segundo trimestre del año, las retrotrayectorias mostraron que las masas de aire tuvieron predominantemente un origen de dirección noreste (NE) y este (E).
- En el OVA Marcapomacocha, se observó una variabilidad en las condiciones meteorológicas locales: los vientos mostraron intensidades más altas en el horario Vespertino, especialmente durante el mes de abril y junio; la temperatura del aire se mantuvo estable con ligeras variaciones, alcanzando valores extremos máximos y mínimos en junio, la humedad relativa presentó valores mínimos cercanos al 40% en junio y la precipitación tiende a disminuir hacia el tercer mes.
- Durante el mes de junio se alcanzó el valor máximo de focos de calor del segundo trimestre 2024.
- El análisis de la CTO en el OVA Marcapomacocha durante el segundo trimestre de 2024 muestra que los valores promedio diarios se mantuvieron por encima de 220 UD, indicando la ausencia de agujeros de ozono. En ese sentido, los mayores valores del trimestre se encontraron en la segunda decadiaria de abril (día 14, 16, 17 y 18) y tercera decadiaria de junio (día 23 al 30), los cuales estuvieron por encima de su normal climática; mientras que los valores más bajos se encontraron en la tercera decadiaria de abril (día 29), tercera decadiaria de mayo (día 26) y tanto la primera decadiaria (día 3, 6 y 10) como la segunda decadiaria (día 11, 12 y 14) de junio, los cuales estuvieron por debajo de su normal climática.
- La radiación UVE y UVT alcanzaron sus mayores valores en la segunda decadiaria de abril (día 14) y los menores valores en la segunda decadiaria de junio (día 11). Asimismo, en promedio durante el trimestre, la radiación UVE representó el 0.42% de la radiación UVT.
- Durante el segundo trimestre del 2024, el IUV máximo diario se mantuvo predominantemente en la categoría Extremadamente Alta para los meses de abril y mayo; mientras que durante el mes de junio se mantuvo en la mayoría de sus días dentro de la categoría Muy Alta.
- Durante el primer trimestre del año, las densidades de HCHO, CO, NO₂ y SO₂ presentaron variaciones significativas en diferentes decadiarias, con algunas alcanzando valores máximos notables. Sin embargo, se observaron períodos sin presencia de estos contaminantes, especialmente en ciertas decadiarias, lo que sugiere que existen fluctuaciones en la calidad del aire que afectan al OVA Marcapomacocha.
- Durante el segundo trimestre del 2024, los valores de pH y Conductividad Eléctrica obtenidos para deposición atmosférica húmeda no evidenciaron presencia de lluvia ácida.
- Durante el segundo trimestre, las mayores concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} se observaron en la primera y segunda decadiaria de junio. A lo largo de este periodo, el OVA Marcapomacocha mantuvo una calidad del aire clasificada como "Buena" para ambos contaminantes. Los picos de concentración estarían relacionados con la resuspensión de polvo causada por el tránsito vehicular o la acción de los vientos.

.....

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)
Hanns Kevin Gómez Muñoz
Lourdes María Isabel Urteaga Tirado
Sháneri Sheyla Sánchez Calderón
Dayana 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-xUbrJkJs4LovFal85AbGaR7sjskA/viewform?chromeless=1&edit_requested=true

Próxima actualización: octubre del 2024

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

