



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 2023



PRESENTACIÓN

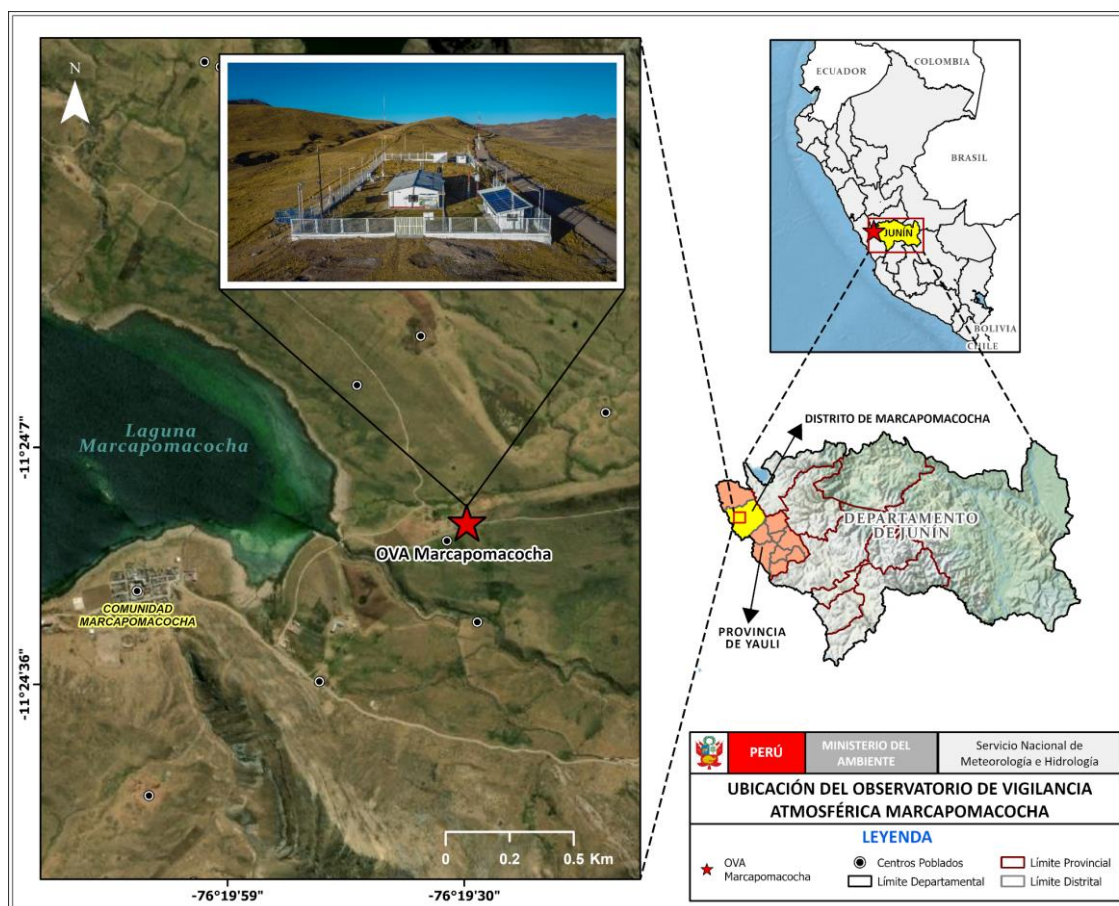
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) a través de la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA) de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA) publica el boletín trimestral de Monitoreo de la Atmósfera en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha) con la finalidad de informar a las autoridades, agricultores, profesionales y población en general sobre las propiedades físicas y la composición química de la atmósfera en la sierra central del Perú durante el cuarto trimestre del 2023.

I. OBSERVATORIO DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA MARCAPOMACOCHA (OVA MARCAPOMACOCHA)

El SENAMHI cuenta con el OVA Marcapomacocha, el cual se encuentra ubicado en la sierra central del país, en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Marcapomacocha, en las coordenadas $-11^{\circ}24'00''$ y $-76^{\circ}20'0.04''$ y a una altitud aproximada de 4500 m s.n.m (ver figura 1).

En el OVA Marcapomacocha, se registran datos de las principales variables meteorológicas entre ellas precipitación, humedad relativa, radiación solar global, temperatura y vientos. 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 de tipo regional¹. En el presente boletín se analiza la información de cuatro (04) áreas focales, las cuales son: Aerosoles, Deposición atmosférica, Ozono y Radiación ultravioleta.

Figura 1. Mapa de ubicación del OVA Marcapomacocha



¹ OMM (2018). GAW SIS Station Information System. Disponible online: <https://gawsis.meteoswiss.ch/GAW SIS/#/search/station/stationReportDetails/0-20008-0-MPO>

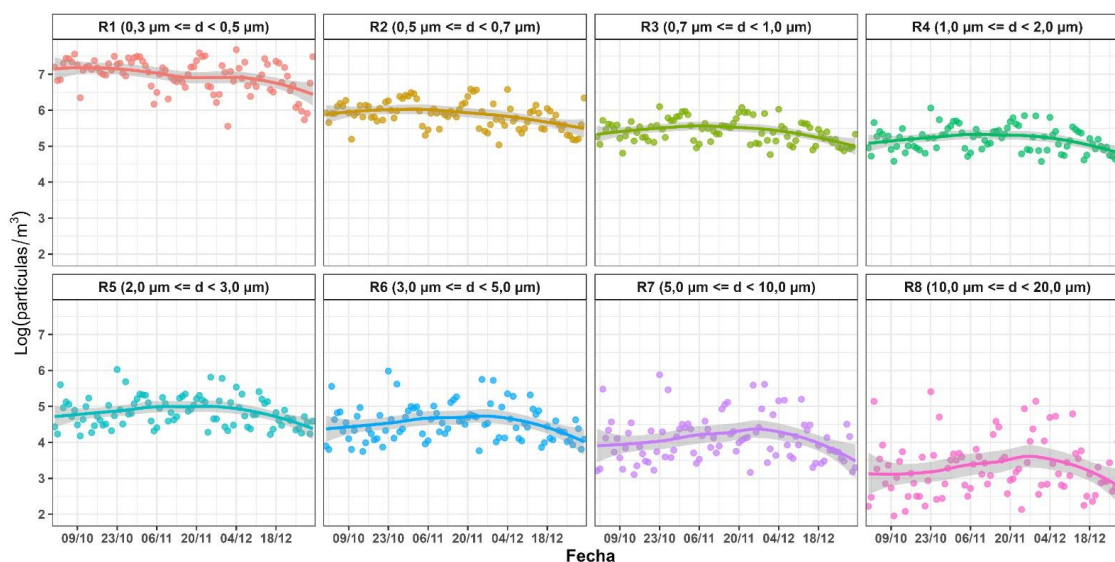
II. MONITOREO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA EN EL OVA MARCAPOMACOCHA

2.1. Aerosoles

2.1.1. Concentración en número de partículas

La mayoría de estudios sobre las concentraciones de los contaminantes atmosféricos analizan la información relacionada a la concentración en masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, hay evidencia que sugiere que las concentraciones en número de partículas y la composición química son de mayor importancia que las concentraciones en masa para la determinación de ciertos efectos sobre la salud, así la concentración del número de partículas se expresa como el número total de estas por unidad de volumen de aire². Para describir el comportamiento de la concentración en número de partículas³ en el OVA Marcapomacocha se han establecido rangos (R), los cuales están categorizados de acuerdo al diámetro aerodinámico (d)⁴: 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 ($10,0 \mu\text{m} \leq d < 20,0 \mu\text{m}$)⁵. Estos datos se expresan en unidades de partículas por metro cúbico ($\text{partículas}/\text{m}^3$) y para una mejor visualización de la figura 2, se aplicó el logaritmo de base 10 a las concentraciones iniciales.

Figura 2. Distribución del tamaño de partículas de aerosoles en el OVA Marcapomacocha



² UK AIR Air Information Resource (2022). Particle Numbers and Concentrations Network. Revisado el 1 de octubre del 2022 desde: <https://bit.ly/3D80Ap4>

³ La concentración en número de partículas, es el número de partículas por unidad de volumen. Tomado de: <https://bit.ly/3AezqeM>

⁴ El diámetro aerodinámico es un indicador del tamaño de la partícula (World Health Organization Europe, 2005).

⁵ Cangiamila, S. (2019). Utilizzo e prestazioni di sensori low-cost per il monitoraggio di varie frazioni dimensionali di particolato atmosferico. Universidad de Bologna.

Durante el periodo evaluado, las mayores concentraciones promedio del día en número de partículas registradas fueron las del rango R1. Es así que, los valores máximos registrados fueron de 36 379 469 partículas/m³ (octubre), 39 293 794 partículas/m³ (noviembre) y 48 058 159 partículas/m³ (diciembre).

En las partículas de entre 0,3 micras y 0,7 micras de diámetro, se observó una marcada tendencia a la disminución de las concentraciones en número de partículas, durante los tres meses de observación. Mientras que, las partículas con diámetros mayores a 0,7 micras hasta 20 micras, presentaron una tendencia a aumentar sus concentraciones durante los meses de octubre y noviembre, sin embargo, a partir de diciembre presentaron una continua tendencia a la disminución.

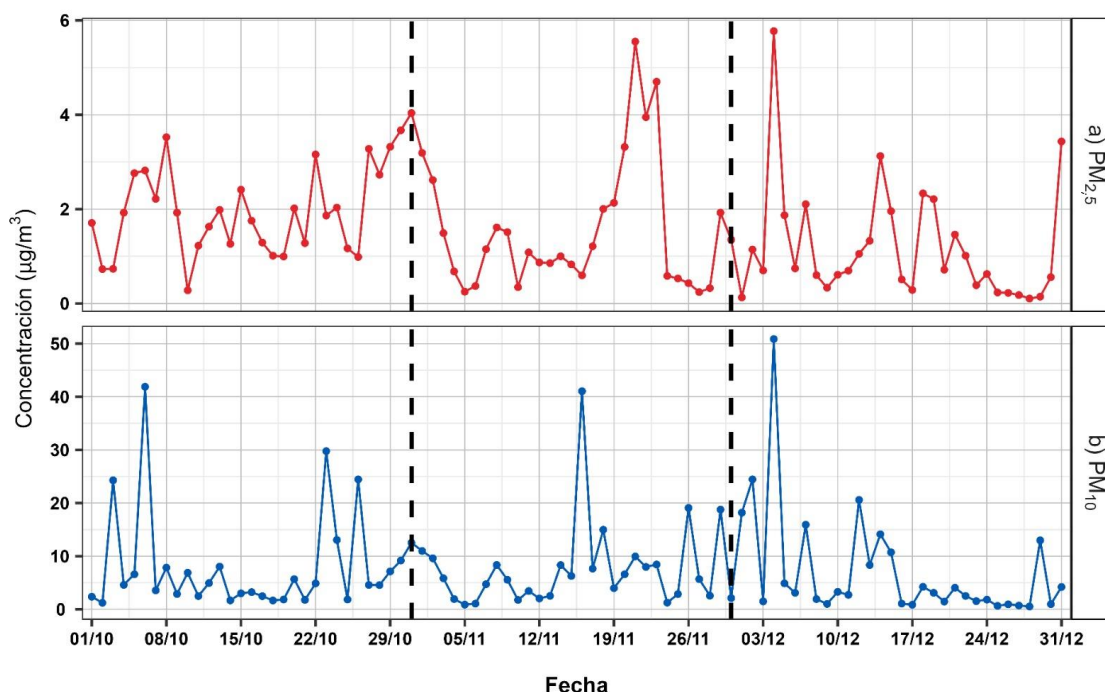
Generalmente para la ubicación del OVA Marcapomacocha, las partículas finas (partículas con diámetro menor a 2,5 micras) están asociadas a la ocurrencia de incendios, por otro lado, las partículas en el rango de la fracción gruesa (partículas con diámetros mayores a 2,5 y menores a 10 micras) tienen su origen en el polvo proveniente de la resuspensión por efecto de la actividad vehicular en caminos de trocha o por acción de los vientos.

2.1.2. Concentración en masa de partículas

En la figura 3, se muestra el comportamiento de las concentraciones en masa del material particulado (promedio diario) con diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) y menor a 10 micras (PM₁₀). En la figura 3a se observa que las máximas concentraciones promedio diarias registradas de PM_{2,5} para los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron 4.0 µg/m³, 5.5 µg/m³ y 5.8 µg/m³ respectivamente. Por otro lado, en el caso del PM₁₀ (figura 3b) para los meses de octubre, noviembre y diciembre se alcanzaron valores de 41.9 µg/m³, 41.05 µg/m³ y 50.9 µg/m³ respectivamente.

En la mayoría de los casos, se registran para esta zona bajas concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀, debido a las características propias del entorno del observatorio y a la escasa actividad antropogénica cercana. Sin embargo, en algunos casos se han registrado altas concentraciones de PM₁₀; esto se debería al desarrollo de actividades tales como quema de pastos, al tránsito de grandes cantidades de animales alrededor del observatorio o al paso de vehículos por el camino de trocha, lo cual podría producir la resuspensión de polvo existente en la zona.

Figura 3. Variación de los promedios diarios del PM_{2.5} y PM₁₀ en el OVA Marcapomacocha



2.2. Deposición Atmosférica

En las figuras 4 y 5, se muestran los registros de pH y conductividad eléctrica respectivamente para la Deposición Atmosférica⁶ durante los meses de octubre a diciembre en el OVA Marcapomacocha, dichas muestras se tomaron con el siguiente detalle:

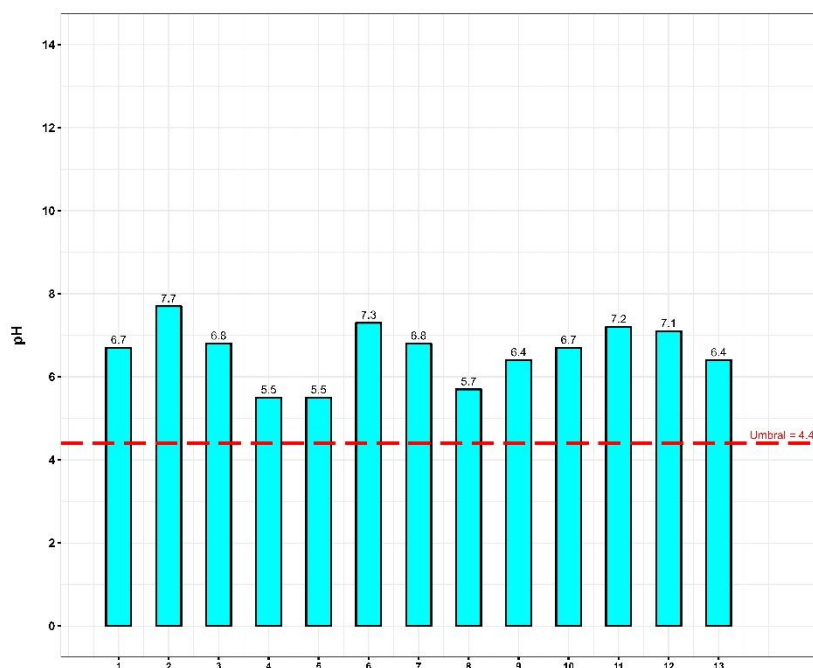
Cuadro 1. Correspondencia del número de muestra y el periodo de monitoreo

Número de muestra	Fecha a la que corresponde
1	26/09/23 al 03/10/23
2	03/10/23 al 10/10/23
3	10/10/23 al 17/10/23
4	17/10/23 al 24/10/23
5	24/10/23 al 31/10/23
6	31/10/23 al 07/11/23
7	07/11/23 al 14/11/23
8	14/11/23 al 21/11/23
9	21/11/23 al 28/11/23
10	28/11/23 al 05/12/23
11	05/12/23 al 12/12/23
12	12/12/23 al 19/12/23
13	19/12/23 al 26/12/23

⁶ Proceso por el cual sustancias químicas, tales como partículas contaminantes, son transferidas de la atmósfera a la superficie de la Tierra. Puede ser seca o húmeda.

En la figura 4 se observan los valores de pH de la deposición atmosférica húmeda recolectados por el muestreador automático, donde los valores mínimo y máximo de pH fueron 5.5 y 7.7 respectivamente. Se puede observar que todos los valores de pH registrados se encontraron por encima del umbral (<4.4)⁷ de lluvia ácida.

Figura 4. Registros de pH de la deposición atmosférica húmeda del muestreador automático

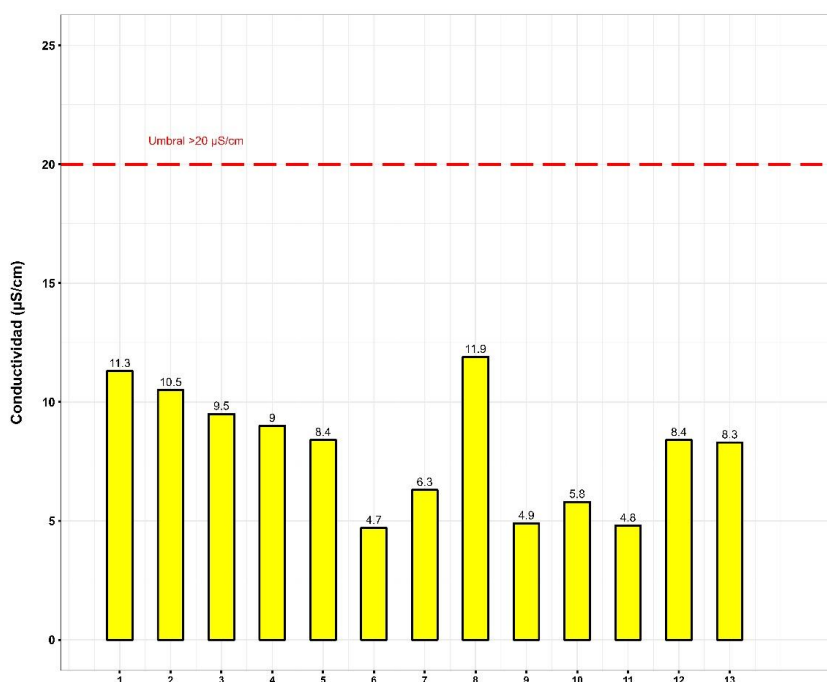


En la figura 5, se muestran los registros de Conductividad Eléctrica para la deposición atmosférica húmeda en el OVA Marcapomacocha, donde los valores mínimo y máximo fueron 4.7 y 11.9 respectivamente, asimismo, se puede observar que no se registraron valores por encima del umbral de lluvia ácida.⁸

⁷ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

⁸ Antolinez, A. y Díaz, C. (2003) Lluvia Ácida en la zona norte de Bogotá.

Figura 5. Registros de Conductividad Eléctrica de la deposición atmosférica húmeda del muestreador automático



2.3. Columna Total de Ozono

En las figuras 6 y 7, se presentan las variaciones promedio diarias de la Columna Total de Ozono (CTO) en Unidades Dobson (UD) correspondientes a los meses de octubre a diciembre y sus promedios diarios históricos para los mismos meses del periodo 2000-2022 en el OVA Marcapomacocha.

Para octubre, los valores mínimos y máximos de CTO fueron 241.2 UD y 255.5 UD respectivamente; para noviembre, estos valores fueron de 239 UD y 249.8 UD respectivamente y, finalmente, para diciembre se obtuvieron valores de 239 UD y 248.1 UD respectivamente. Asimismo, se evidencia una tendencia a la disminución de los valores hacia diciembre. Cabe precisar que, los valores de la CTO registrados son usualmente bajos en todo el año en comparación con latitudes medias y altas. En general los valores de la CTO estuvieron por encima de 220 UD, valor referencial, usado en algunas regiones para identificar agujeros en la capa de ozono.

Por otro lado, la mayoría de los valores registrados durante el cuarto trimestre del año 2023 estuvieron por debajo de sus valores correspondientes al promedio histórico (2000-2022). Una descripción detallada del comportamiento de la CTO en el Observatorio se encuentra en los boletines mensuales de vigilancia del ozono atmosférico realizados por el SENAMHI⁹.

⁹ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=boletines>

Figura 6. Variación diaria de CTO en el OVA Marcapomacocha

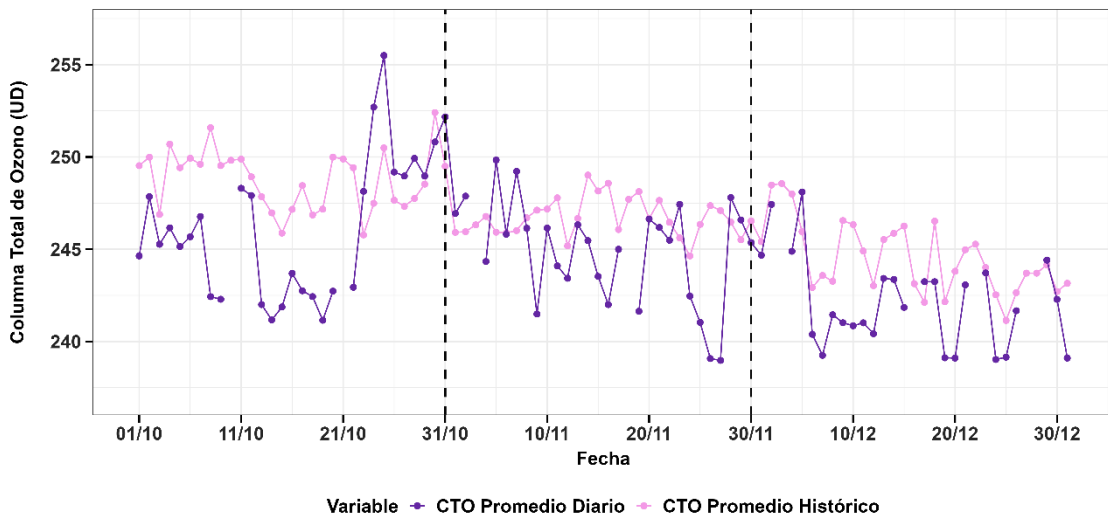
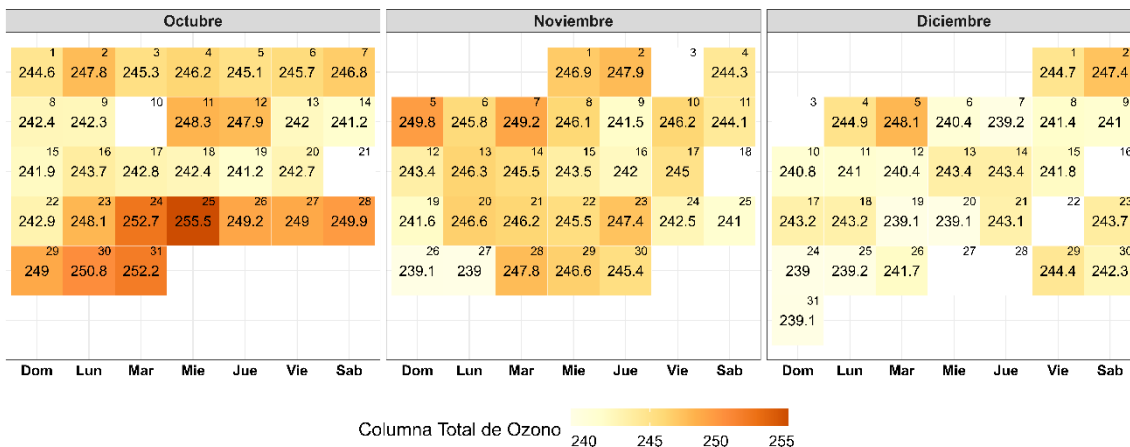


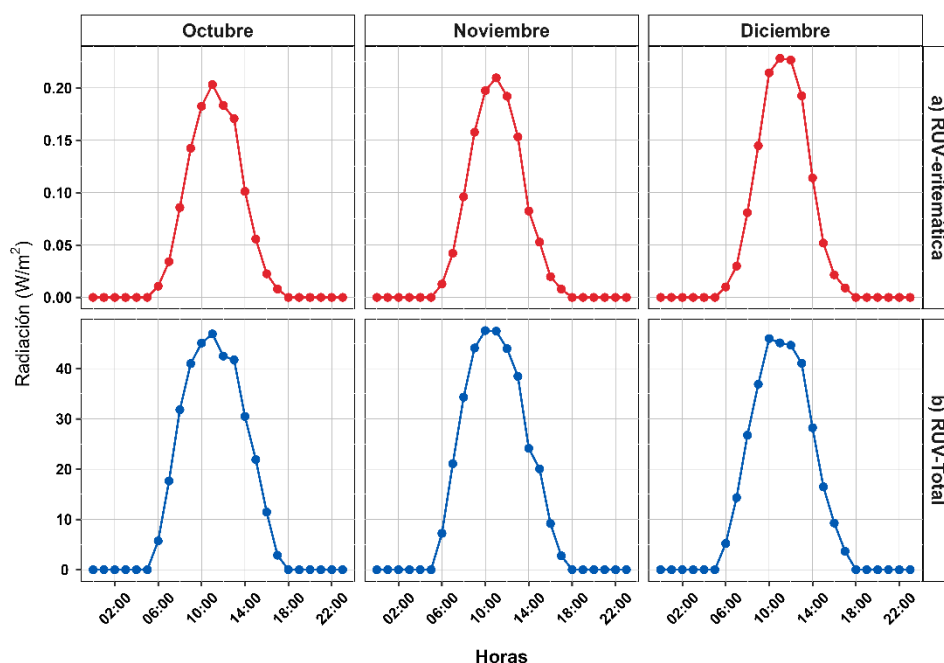
Figura 7. Calendario de la CTO en el OVA Marcapomacocha



2.4. Radiación ultravioleta

En la figura 8, se muestra la variación promedio horaria de la radiación ultravioleta eritemática (RUV-e) y de la radiación ultravioleta total (RUV-Total) para los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2023. Para la RUV-e, se evidencia un incremento gradual hacia diciembre y para la RUV-Total, los valores horarios más altos se presentaron en octubre y noviembre, con una disminución para diciembre. Asimismo, los mayores valores de la RUV-e y la RUV-Total oscilaron entre 0.23 y 0.20 W/m², así como entre 47.6 y 45.9 W/m² respectivamente. En general, la RUV-e representó entre el 0.51 y 0.43% de la RUV-Total.

Figura 8. Variación horaria de la UV-e y la UV-Total en el OVA Marcapomacocha



2.5. Índice Ultravioleta Solar (IUV)

El 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 lesiones cutáneas y oculares; además, tardan menos tiempo en producirse.

En las figuras 9 y 10, se muestran 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 6 y 14; para noviembre, entre 6 y 15; y para diciembre entre 7 y 18. El incremento de valores del IUV se relacionaría como manifestación de las condiciones de la primavera e inicios del verano en el hemisferio sur. Cabe precisar que, si bien en el trimestre de octubre a diciembre, los menores valores del IUV alcanzaron la categoría Alta y Muy Alta, en todo este periodo hubo una predominancia de altos valores del IUV que alcanzaron la categoría Extremadamente Alta, por lo cual es importante mantener las medidas de protección ante la exposición a la radiación ultravioleta solar.

Figura 9. Variación de los valores máximos diarios de IUV en el OVA Marcapomacocha

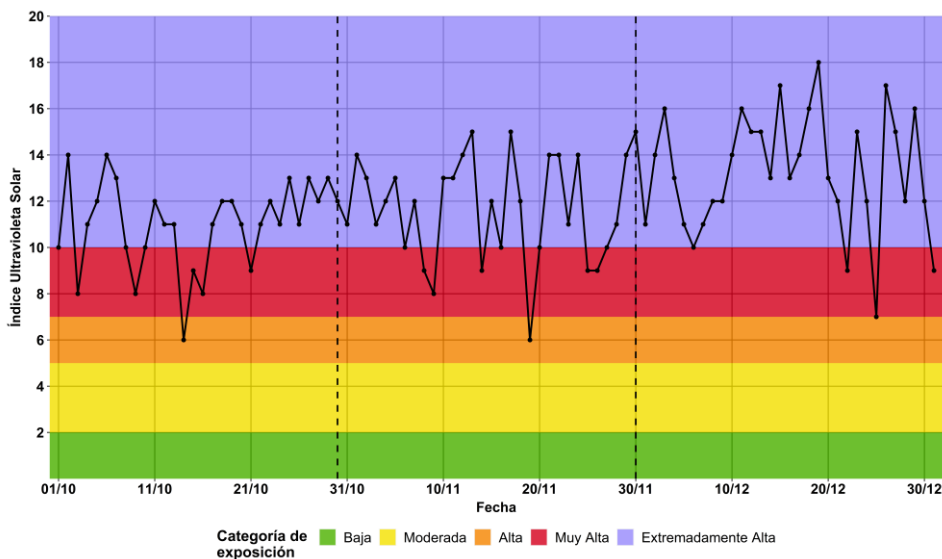
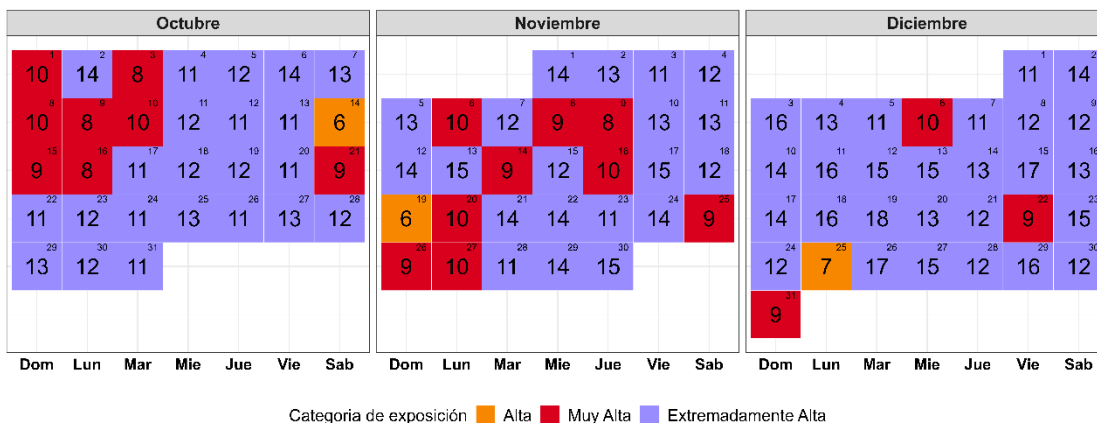
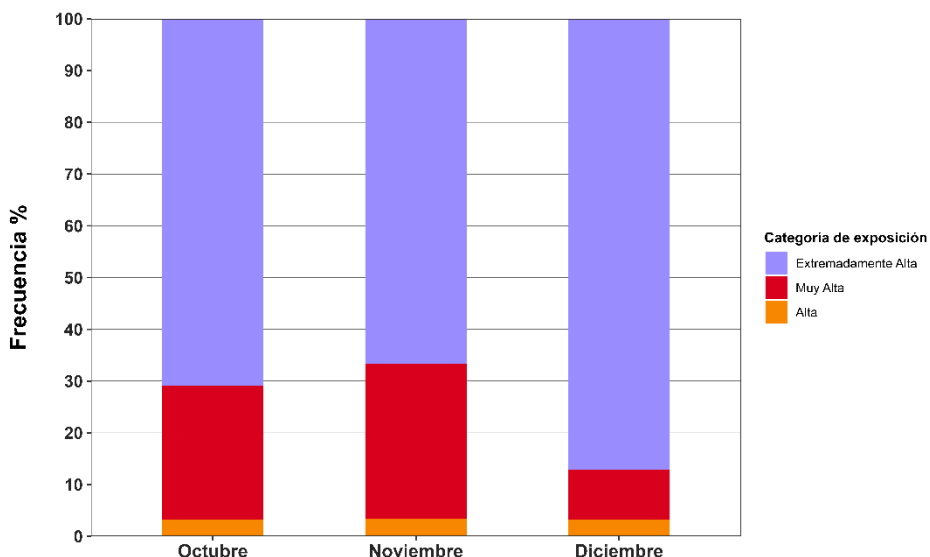


Figura 10. Calendario de los valores del IUV en el OVA Marcapomacocha



En la figura 11 se presentan las frecuencias de los valores observados del IUV (máximos diarios) en el OVA Marcapomacocha durante los meses de octubre, noviembre y diciembre respecto a cada una de las categorías de exposición según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En octubre, los valores del IUV se encontraron entre la categoría de exposición Alta (3.2%), Muy Alta (25.8%) y Extremadamente Alta (71.0%). Asimismo, para noviembre, el 3.3% de los valores del IUV pertenece a la categoría Alta, el 30.0% a la categoría Muy Alta y el 66.7% a la categoría Extremadamente Alta. Finalmente, para diciembre, las categorías se encontraron entre Alta (3.2%), Muy Alta (9.7%) y Extremadamente Alta (87.1%). Cabe resaltar que, la exposición a valores del IUV de categorías por encima de “moderada” consideran un riesgo para la salud de las personas.

Figura 11. Frecuencia de las categorías de exposición del IUV en el OVA Marcapomacocha



En general, si se tiene una menor cantidad de ozono en la atmósfera (es decir, disminuye la CTO) se tendrá una menor capacidad para filtrar la radiación ultravioleta solar, por ende, los mayores valores del IUV diario registrado en el OVA Marcapomacocha (principalmente en los meses de noviembre y diciembre) estarían asociados, entre otros, a menores valores en promedio de la CTO y a las condiciones meteorológicas.

III. CONCLUSIONES

- 3.1. Las mayores concentraciones en número de partículas registradas en el OVA Marcapomacocha corresponden a las partículas menores a $0,5 \mu\text{m}$. En general, se presentó una reducción en la cantidad de partículas a lo largo del periodo de estudio para todos los diámetros de partículas, sin embargo, las partículas mayores a $0,7 \mu\text{m}$ presentaron una ligera tendencia a incrementarse entre los meses de octubre y noviembre, siendo esto más notorio en las partículas mayores a $5,0 \mu\text{m}$.
- 3.2. En relación a la concentración en masa de partículas menores a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$), se tiene que los valores promedios más altos registrados durante el trimestre fueron durante el mes de diciembre, alcanzando valores de $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De la misma manera, para las partículas menores a 10 micras (PM_{10}) los valores más altos se registraron en diciembre, alcanzando los $50.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores más altos de estos contaminantes se relacionan sobre todo con la quema de pastos y el tránsito de animales y vehículos alrededor del observatorio.
- 3.3. Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, los valores de pH y Conductividad eléctrica obtenidos para deposición atmosférica húmeda no evidenciaron presencia de lluvia ácida,
- 3.4. Los valores mínimos y máximos de CTO oscilaron entre 241.2 UD y 255.5 UD para octubre; entre 239 UD y 249.8 UD para noviembre y entre 239 UD y 248.1 UD para diciembre; así también, se puede evidenciar una tendencia a la disminución de los valores hacia el mes de diciembre. Cabe resaltar que todos los valores del trimestre estuvieron por encima de 220 UD, valor referencial, usado en algunas regiones para identificar agujeros en la capa de ozono.
- 3.5. La radiación UV-e representó entre el 0.51 y 0,43% de la RUV-Total en promedio durante el trimestre de octubre a diciembre, y presentando un incremento gradual hacia el mes de diciembre.
- 3.6. La categoría de exposición del IUV Extremadamente Alta presentó una predominancia durante el cuarto trimestre del año 2023, lo cual se evidencia con frecuencias alcanzadas del 71.0% (octubre), 66.7% (noviembre) y 81.7% (diciembre). Asimismo, destaca que los mayores valores del IUV se registraron en diciembre.

GLOSARIO

Aerosol: Es un conjunto de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, que se encuentran en suspensión en un gas. En el contexto de la contaminación del aire, un aerosol se refiere a material particulado fino, de mayor tamaño que una molécula, pero lo suficientemente pequeña como para permanecer en suspensión en la atmósfera durante al menos unas horas.

Columna Total de Ozono: Es el ozono total que se encuentra en una columna de aire que se extiende desde la superficie terrestre hasta el límite superior de la estratosfera (alrededor de unos 50 km), se expresa en Unidades Dobson (UD), esta medida se interpreta como el espesor de una capa de O₃ puro alrededor de la superficie terrestre a condiciones normales (presión = 1 atm y la temperatura = 0 °C), es decir 100 DU equivale a 1 mm de espesor de la capa de O₃.

Deposición atmosférica: Proceso por el cual sustancias químicas, tales como partículas contaminantes, son transferidas de la atmósfera a la superficie de la Tierra. Puede ser seca o húmeda. En el caso de deposición seca las partículas se depositan en la superficie terrestre en ausencia de precipitaciones. En el caso de deposición húmeda las partículas atmosféricas son incorporadas en pequeñas gotas y transferidas a la superficie terrestre en forma de lluvia, niebla o nieve.

Humedad Relativa: Es la relación entre la masa de vapor de agua contenido en la unidad de volumen del aire y la de vapor de agua, que sería necesario para saturar este volumen a la misma temperatura. Normalmente se expresa en porcentaje.

Índice Ultravioleta Solar: Es una medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre. Los valores de IUV se expresan en el rango del cero en adelante, cuanto más alto sea el IUV, mayor será el potencial de lesiones para la piel y los ojos, y menos tiempo tardará en producirse esas lesiones.

PM₁₀: Son partículas con un diámetro menor a 10 micras (µm) (conocido como PM10), generalmente ingresan por las vías respiratorias (garganta-nariz-pulmones). Una vez inhalado, estas partículas pueden afectar el corazón y los pulmones y causar efectos graves para la salud.

PM_{2,5}: La materia particulada o PM (por sus siglas en inglés) 2,5 son partículas muy pequeñas en el aire que tiene un diámetro aerodinámico de hasta 2,5 micrómetros (aproximadamente 1 diez milésimas de pulgada). Esto es menos que el grosor de un cabello humano. La materia particulada, uno de los seis criterios de contaminantes del aire de la U.S. EPA, es una mezcla que puede incluir sustancias químicas orgánicas, polvo, hollín y metales.

Precipitación: Producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes y se deposita en el suelo.

Radiación Solar: Es la energía electromagnética emitida por el sol. La proporción de la radiación solar en las distintas regiones del espectro solar es aproximadamente: ultravioleta 7%, luz visible 43%, infrarrojo 49%, resto 1%.

Temperatura: Es la condición que determina la dirección de flujo neto de calor entre dos cuerpos, se dice que el cuerpo que pierde calor a favor del otro está a mayor temperatura.

Viento: Es el desplazamiento de las masas de aire en sentido horizontal y con una determinada dirección y velocidad.

.....

Para más información sobre el presente boletín, contactar con:

Ing. Jhojan Pool Rojas Quincho

jprojas@senamhi.gob.pe

Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico

Elaboración

Ing. Sháneri Sheyla Sánchez Calderón (ssanchez@senamhi.gob.pe)

Ing. José Hitoshi Inoue Velarde

Ing. Lourdes María Isabel Urteaga Tirado

Bach. Juan Tacza Ordoñez

Tec. Rosalinda Cedy Aguirre Almeyda

Tec. Julia Amelia Astudillo Capcha

.....

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-xUbRJkjJs4LovFal85AbGaR7sjskA/edit?chromeless=1