

# MEDICIONES DE LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA EN EL OBSERVATORIO GEOFÍSICO DE HUANCAYO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Luis Suárez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

**Palabras clave:** Composición de la atmósfera, vigilancia atmosférica global, Índice UV, carbono negro y ozono troposférico

Citar como Suárez, L. (2024). Mediciones de la composición atmosférica en el Observatorio Geofísico de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 11, págs. 15-20

## ¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?\*

El Observatorio Geofísico de Huancayo genera información científica especializada para un mejor conocimiento del Sistema Tierra, como por ejemplo las mediciones continuas de la radiación ultravioleta y los aerosoles; por ello, es importante asegurar la continuidad de esta facilidad técnico-científica del IGP. La información y productos que genera el Observatorio son valiosos para caracterizar y comprender mejor el ambiente en la región Junín; de esta manera, promover decisiones informadas para beneficio de la población.

## Resumen

Este artículo presenta un avance de la investigación sobre la composición de la atmósfera desarrollada en el Observatorio Geofísico de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú (IGP), como parte del programa de Vigilancia Atmosférica Global de la Organización Mundial de Meteorología. Se describen las mediciones continuas de aerosoles, la precipitación química, la radiación ultravioleta y los gases reactivos, los cuales son fundamentales para generar información básica que permita mejorar el conocimiento del sistema Tierra y la gestión de riesgos, así como proponer avances tecnológicos.

## 1. Introducción

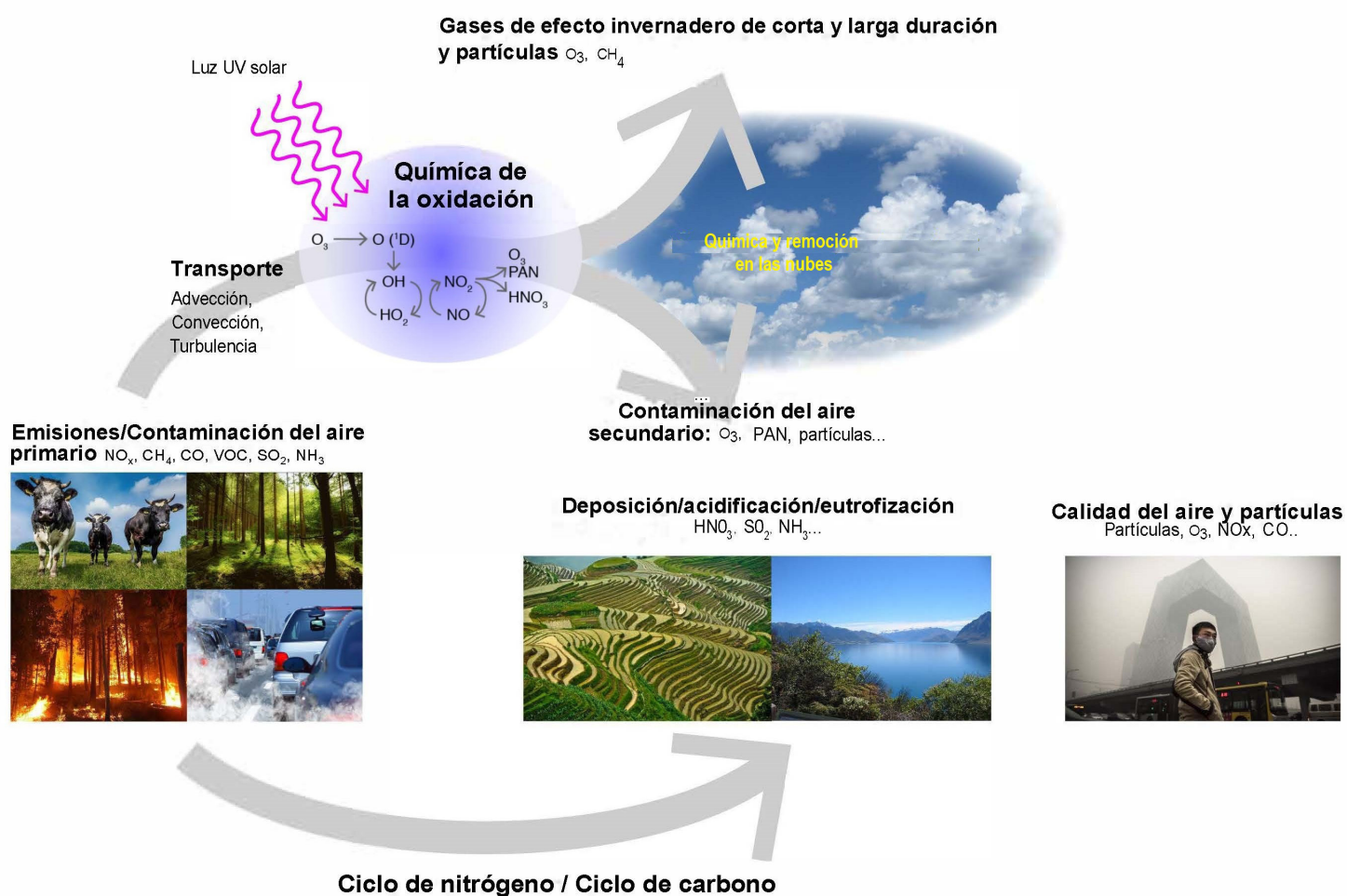
La investigación científica se basa en la observación y en el monitoreo sistemático de los fenómenos naturales, procesos que se constituyen como componentes esenciales para avanzar en el conocimiento. En el ámbito de la geofísica, contar con una adecuada instrumentación es crucial para garantizar la precisión y la confiabilidad de los estudios. A nivel local, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) lidera la gestión de instrumentación con ejemplos exitosos en su utilización y desarrollo tecnológico, liderazgo que destaca, por ejemplo, en la vigilancia de la actividad sísmica. En esa línea, otro ejemplo importante

a mencionar es el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (Silva et al., 2024) que opera en la ciudad de Huancayo. La instrumentación es un aspecto crítico al trabajar dentro de las redes o programas de investigación con alcance regional y global. La precisión y la estabilidad del instrumento son cualidades básicas para planificar mediciones de largo plazo (periodos de cinco a diez años de continuidad).

El trabajo que se realiza en el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP está enmarcado en el programa de Vigilancia Atmosférica Global de la Organización Mundial de Meteorología (VAG/OMM), cuya tarea consiste en coordinar observaciones de la composición de la atmósfera, tanto a escala global como local, con el fin de impulsar una ciencia de alta calidad que genere impacto, al tiempo que coproduce nuevos productos y servicios habilitados para la investigación. Las áreas focales establecidas por el VAG/OMM son las siguientes: (I) aerosoles, (II) gases de efecto invernadero, (III) gases reactivos ( $O_3$ ,  $CO$ , VOCs,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ), (IV) radiación ultravioleta, (V) ozono estratosférico y (VI) deposición atmosférica. Todo ello, sumado a la implementación de programas de monitoreo de largo plazo, permiten brindar soporte a la comunidad

científica, la población y los tomadores de decisión.

Alrededor de 100 países participan en el programa VAG/OMM, el cual inició su trabajo en 1989. El Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP tiene una larga tradición en el monitoreo de la composición de la atmósfera con instrumentación científica avanzada para su época. Por ejemplo, cabe mencionar que, en 1964, el Observatorio fue uno de los primeros en el hemisferio sur en medir la capa de ozono, tarea que se extendió durante 28 años hasta 1992. A esta labor también se incluyeron las mediciones del dióxido de carbono con medidor infrarrojo Siemens Ultramat-3-3, tarea que se realizó como parte de la red de medición internacional de la Agencia Nacional de Océanos y Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés) de EE. UU. Otra actividad para destacar fue la medición de aerosoles con el fotómetro solar manual Eko de dos longitudes de onda (500 nm y 680 nm). Esta última labor permitió que el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP sea incluido como estación regional en el programa VAG/OMM (Figura 1) y, de este modo, tenga la tarea de reportar sus registros a las bases de datos mundiales. En este contexto, el IGP ha enfocado esfuerzos para darle continuidad a su aporte al VAG/OMM que comenzó décadas atrás.



**Figura 1.** Esquema conceptual de trabajo del programa de Vigilancia Atmosférica Global de la Organización Mundial de Meteorología (VAG/OMM) sobre los procesos físicos y químicos que controlan la composición de la atmósfera. Tomado de programa VAG/OMM: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/gaw>



## 2. Metodología de medición

En el marco del programa VAG/OMM, el IGP, con apoyo de la beca de investigación Partnerships for Enhanced Engagement in Research, financiada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), ha implementado instrumentos para mediciones de largo plazo.

### 2.1 Radiación ultravioleta

Desde 2018, el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP utiliza un radiómetro espectral Biospherical, modelo GUV-511 (Figura 2). Este equipo realiza mediciones en cuatro longitudes de onda de la región UV de la radiación solar. Un atributo a destacar de este instrumento es que cuenta con sensores en las longitudes de onda a 315 nm, 320 nm, 340 nm y 380 nm, con un ancho medio de banda de  $\pm 10$  nm. Además, este radiómetro cuenta con un sensor adicional para la región visible (de 400 nm a 700 nm). El GUV-511 reporta datos en las cuatro longitudes de onda indicadas, lo cual permite realizar una caracterización espectral detallada de la radiación UV incidente. Luego, con base en factores de calibración, se obtiene el valor del índice UV solar.



**Figura 2.** Radiómetro modelo GUV-511, de marca Biospherical, instalado en el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP.

### 2.2 Precipitación química

En cooperación con la Universidad Nacional del Centro del Perú, se ha implementado el colector automático de precipitación modelo ADS-120, de marca N-CON, instrumento que se activa con la caída de las gotas de lluvia e inicia con ello la colecta de la deposición húmeda (Figura 3). Este colector cumple los requerimientos mínimos del National Atmospheric Deposition Program de EE. UU. y el programa VAG/OMM. Su funcionamiento permite coleccionar de manera diferenciada la deposición atmosférica húmeda y seca durante siete días. Posteriormente, en laboratorio, se determina el pH y la conductividad eléctrica de las muestras líquidas. También se guardan dos frascos de 50 mL refrigerados para posteriores análisis de composición química elemental y de iones.



**Figura 3.** Colector automático de deposición modelo ADS-120, de marca N-CON, con componentes de deposición húmeda y seca. Tomado de N-CON: <https://www.n-con.com/Products/ads.html>

### 2.3 Aerosoles atmosféricos

Un primer paso para el estudio de los aerosoles fue la llegada del fotómetro solar de la red Aeronet de la NASA, clave para determinar propiedades físicas, ópticas y radiativas de estas partículas (Estevan et al., 2019). Luego, en el marco del programa VAG/OMM, se agregó el etalómetro modelo AE33 Magee Scientific (Figura 4), instrumento que, mediante la medición de la absorción de una luz láser en siete longitudes de onda (desde 370 nm a 950 nm), determina la concentración de carbono negro (CN) en la atmósfera y la fracción de CN que se atribuye a la combustión de biomasa. También se instaló, con apoyo de la Universidad Nacional de Moquegua, el nefelómetro integrador modelo Aurora 1000 Ecotec (Figura 5), equipo que, mediante una luz láser a 525 nm, mide la dispersión de la luz debido a los aerosoles.



**Figura 4.** Etalómetro para la medición de la concentración de carbono negro en el aire, modelo AE33 Magee. Tomado de Magee Sci.: <https://www.aerosolmageesci.com/products/aerosol-magee-scientific-aethalometer/>



**Figura 5.** Nefelómetro integrador para la medición de la dispersión de la luz por aerosoles, modelo Aurora 1000 de marca Ecotec.

## 2.4 Gases reactivos



**Figura 6.** Medidor de ozono troposférico mediante la técnica de fotometría ultravioleta (UV), modelo 49i de marca Thermo Scientific (EE. UU.). Tomado de Thermo Sci.: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/49I>

Debido a la ubicación estratégica del Observatorio Geofísico de Huancayo, se ha priorizado la medición del ozono troposférico ( $O_3$ ), ya que es un contaminante secundario que necesita compuestos químicos

como el monóxido de carbono (CO) o el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), además de abundante radiación solar para su producción. Así, se ha instalado un medidor Thermo Scientific modelo 49i (Figura 6), el cual utiliza la técnica de fotometría ultravioleta (UV) para determinar la concentración de ozono en la atmósfera, una técnica que también está indicada en el Estándar de Calidad Ambiental de Calidad del Aire (ECA) del MINAM.

## 3. Resultados preliminares

En el contexto del programa VAG/OMM, el IGP, con apoyo de la beca de investigación Partnerships for Enhanced Engagement in Research, financiada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), ha implementado instrumentos para mediciones de largo plazo.

### 3.1 Índice ultravioleta solar (IUV)

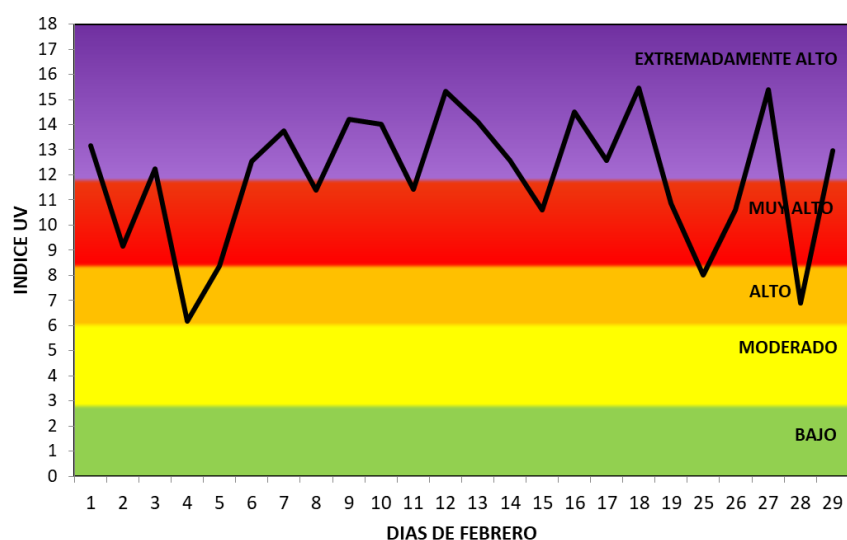
Las mediciones espectrales de la radiación ultravioleta (UV) permiten calcular el valor de interés público, denominado índice ultravioleta solar (Índice UV), una medida avalada por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y la Organización de Salud (OMS). Este índice UV, expresado en un número entero en el rango de 0 a 20, informa a la población sobre los niveles de radiación UV que afectan la piel humana. Para facilitar su difusión a nivel mundial, el índice UV se clasifica en cinco categorías, cada una asociada con colores definidos y estandarizados.

En Huancayo se registra uno de los valores más altos de radiación UV del mundo (Suárez et al., 2017). La Figura 7 muestra un ejemplo de la variación del índice UV durante el mes de febrero de 2024, a las 12 horas (mediodía), cuando se registran los valores máximos. Se observa que, en varios días del mes, los niveles de radiación alcanzan la categoría de extremadamente alta. Este fenómeno ocurre durante gran parte del año y también se registra lo mismo para toda la región andina. La ubicación tropical del Perú y su altitud, que supera los 3000 m s. n. m. en varias ciudades, contribuyen a este evento climático.

En este sentido, es necesario mantener informada a la población de Huancayo y de la zona andina en general sobre los niveles extremos de la radiación



UV a los que están expuestos, así como los riesgos asociados a una exposición prolongada al sol sin protección. Es necesario minimizar la exposición al sol en horas de mayor radiación y fomentar el uso de medidas de protección (ropa de manga larga, gorros o sombreros de ala ancha y bloqueadores solares). Estas acciones son clave para reducir los efectos adversos en la salud relacionados con la exposición excesiva a la radiación UV.



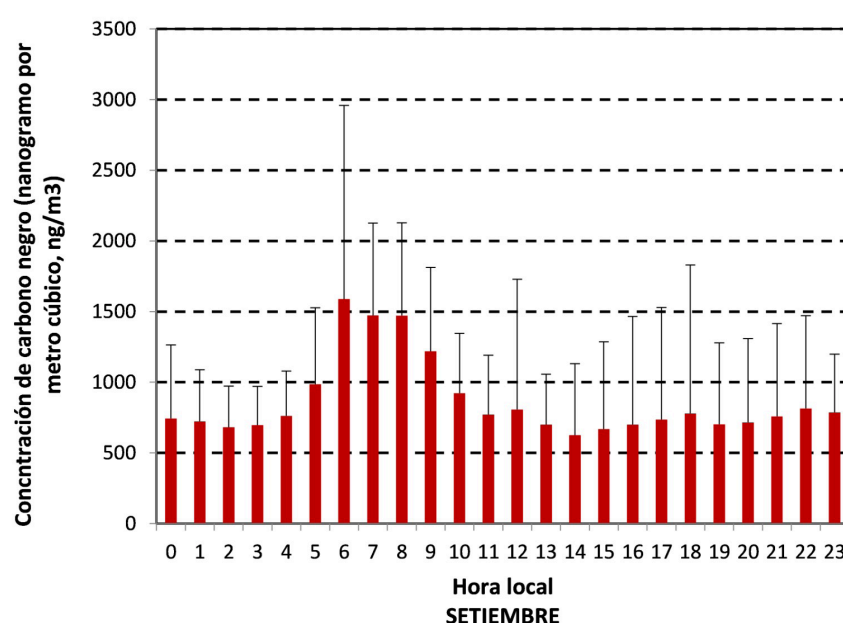
**Figura 7.** Variación diaria de las mediciones del índice UV a las 12 horas durante el mes de febrero de 2024, según las categorías de la OMM y OMS.

### 3.2 Carbono negro

El etalómetro mide las concentraciones de carbono negro (CN) en el aire y, mediante la combinación de mediciones en diversas longitudes de onda, permite estimar el porcentaje de CN relacionado a las quemaduras de biomasa. Desde 2016, se tienen mediciones continuas que muestran que, durante la época seca, el CN presenta un rango de promedio diario de 800-1100 ng/m<sup>3</sup>, mientras que, en la época húmeda, este rango disminuye a valores de entre 500-970 ng/m<sup>3</sup>. Este contraste se debe al fuerte impacto de las quemaduras de vegetación de la época seca, en un contexto dominado por las actividades agrícolas. Además, el transporte de aerosoles provenientes de las quemaduras en la Amazonía agrava los niveles de CN en esta región (Villalobos et al., 2024).

La Figura 8 muestra la variación horaria del CN durante un día típico en el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP. Este análisis revela un comportamiento bimodal, con dos picos que coinciden con los periodos de mayor actividad antropogénica en la zona urbana, específicamente el tráfico vehicular y la atención de establecimientos como pollerías.

Las mediciones de CN han demostrado que el impacto de las quemaduras de vegetación en la composición de la atmósfera es significativo, tanto a nivel de la región tropical del planeta como en la región andina y amazónica del Perú. Este fenómeno resalta la necesidad de establecer programas integrales de manejo de residuos de cultivos agrícolas que incluyan prácticas como la labranza cero y la promoción de la agricultura orgánica. En la Amazonía resulta clave priorizar la conservación de los bosques, reducir la tala ilegal y mitigar el cambio de uso del suelo, actividades que promueven la deforestación de extensas zonas de bosque.

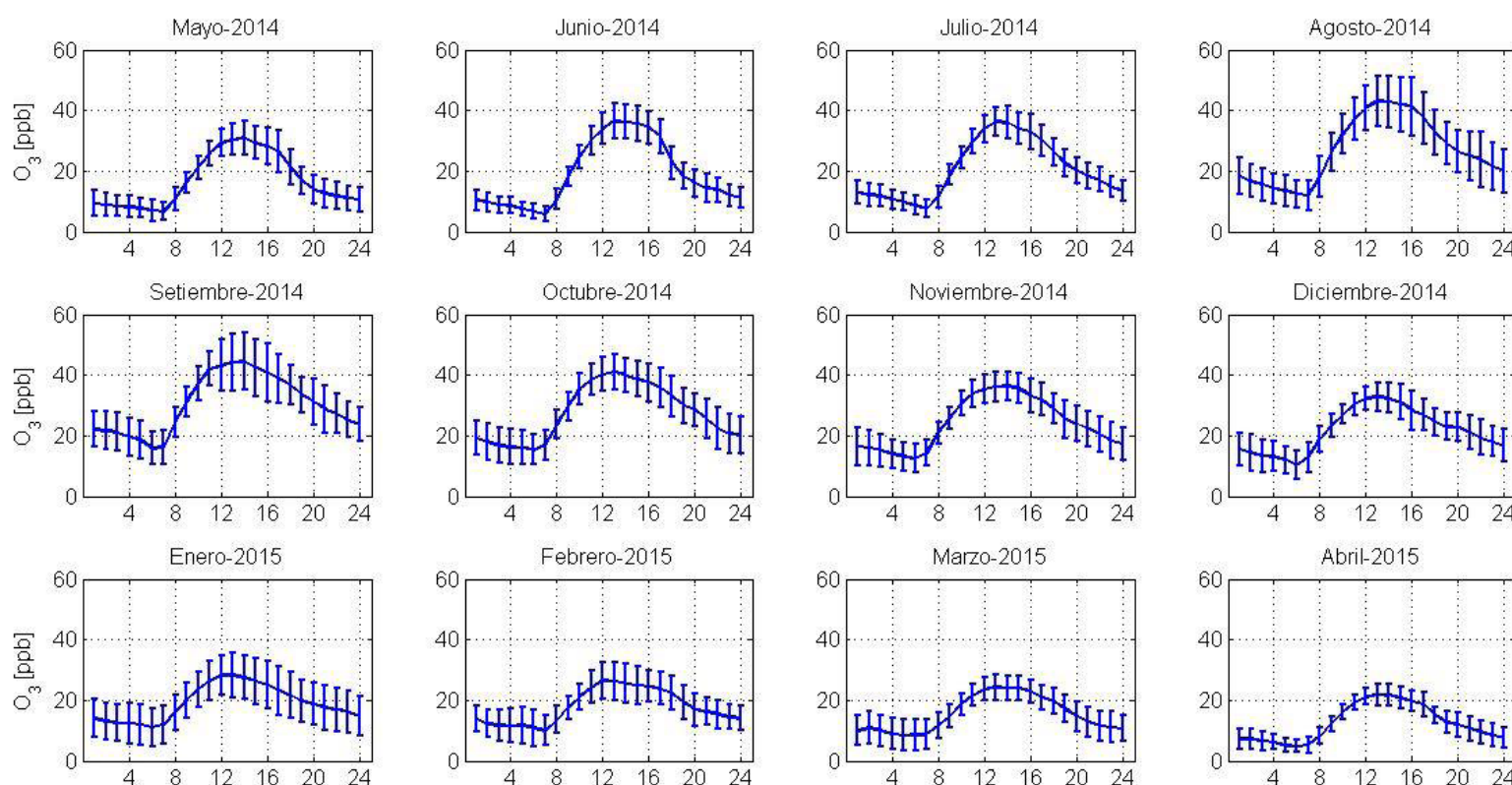


**Figura 8.** Variación horaria típica de la concentración de carbono negro (CN) registrada en el Observatorio Geofísico de Huancayo. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.3 Ozono troposférico

En el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP se conservan registros de ozono troposférico desde el año 2014. Estas mediciones han permitido caracterizar la variación temporal de la concentración de este gas sobre el Observatorio, ubicado a 13 km del centro de la ciudad de Huancayo. Las mediciones han registrado un promedio diario de 23.2 ppb, con un rango de entre 45 ppb y 6 ppb, lo cual es moderado para una ubicación rural donde predomina la agricultura. Se ha identificado que el aporte de contaminantes primarios desde la ciudad de Huancayo, en combinación con la intensa radiación solar típica de la región andina, favorece los mecanismos de reacción química para la producción de ozono troposférico.

La Figura 9, por su parte, muestra la variación horaria mensual de la concentración de ozono



**Figura 9.** Variación mensual de la concentración horaria de ozono troposférico registrado en el Observatorio Geofísico de Huancayo (mayo de 2014 a abril de 2015).

troposférico durante los primeros años de monitoreo en el Observatorio Geofísico de Huancayo del IGP. Los resultados resaltan que el valor horario máximo cerca del mediodía coincide con la hora de máxima radiación solar. Asimismo, se observan los valores máximos diarios entre los meses de agosto y octubre, durante la época seca en la zona andina. En este periodo, hay una intensa actividad de quemas que incrementa la presencia de contaminantes promotores de la formación de ozono troposférico. Es importante continuar y profundizar en este monitoreo, considerando el impacto adverso documentado del ozono en la salud humana.

## 4. Conclusiones

Es necesario contar con una instrumentación adecuada que mejore las capacidades de observación científica. Esto es clave para entender los procesos físicos y químicos que ocurren en la atmósfera y, con ello, enfrentar de mejor modo la gestión del riesgo de desastres en el país. Además, estas mediciones deben estar alineadas con programas internacionales y nacionales para que puedan ser de aplicación por la comunidad científica local y global.

El avance realizado por el IGP en los últimos años lo consolida como una institución referente en el

desarrollo tecnológico y el estudio de fenómenos naturales y procesos físicos del sistema Tierra. Este posicionamiento reafirma su compromiso de hacer "ciencia para protegernos, ciencia para avanzar".

## Referencias

- Estevan, R., Martínez-Castro, D., Suárez -Salas, L., Moya A. & Silva, Y. (2019). First two and a half years of aerosol measurements with an AERONET sunphotometer at the Huancayo Observatory, Peru. *Atmospheric Environment: X*, 3, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100037>
- Silva, Y., Saavedra, M., Suárez, L., Estevan, R., Flores, J., Guizado, D. y Giraldez, L. (2024). Observaciones para la investigación en física atmosférica en los Andes centrales del Perú: Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR). *Boletín científico El Niño*, 11(2), 13-19. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5602>
- Suárez, L. F., Flores, J. L., Pereira, A. J., & Karam, H. A. (2017). Ultraviolet solar radiation in tropical central Andes (12.0°S). *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16(6), 954-971. <https://doi.org/10.1039/c6pp00161k>
- Villalobos-Puma E, Suárez L, Gillardoni S, Zubieta R, Martínez-Castro D, Miranda-Corzo A, Bonasoni P & Silva Y. (2024). Atmospheric black carbon observations and its valley-mountain dynamics: Eastern cordillera of the central Andes of Peru. *Environmental Pollution*. 355, 124089. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124089>