

## **DIVULGACIÓN CIENTÍFICA**

# **IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE AEROSOLES EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO, PERÚ, USANDO UN FOTÓMETRO SOLAR AERONET**

**René Estevan Arredondo <sup>1</sup>, Daniel Martínez-Castro <sup>1,2</sup>, Luis Suarez-Salas <sup>1</sup>, Aldo Moya Álvarez <sup>1</sup> y Yamina Silva Vidal <sup>1</sup>**

## **RESUMEN**

Los aerosoles en la atmósfera juegan un papel importante en la transferencia de radiación solar, ya que, dependiendo del tipo, pueden reflejar o dispersar dicha radiación. Cabe resaltar también que algunos aerosoles son nocivos para la salud humana. En el Observatorio de Huancayo se vienen realizando mediciones de aerosoles con un fotómetro solar perteneciente a la red AERONET (AERosol RObotic NETwork) de la NASA. En este estudio se analizaron los datos desde marzo de 2015 hasta agosto de 2017, con el objetivo de evaluar los tipos de aerosoles y las regiones fuentes de los mismos. Se determinó la prevalencia de condiciones de fondo durante el período analizado. Estas condiciones, que constituyen más del 80 % de los casos, se alteran ocasionalmente debido a altas concentraciones de aerosoles generadas por la quema de biomasa que tienen lugar, no sólo en el Perú, sino también, en países vecinos. Se clasificaron los aerosoles en 6 subtipos permitiendo identificar los periodos de quema de biomasa desde mediados de julio a mediados de octubre, siendo el mes de setiembre donde se registran los máximos valores, tanto en media mensual como en máximo absoluto. Durante el año 2016 se registró el máximo absoluto de toda la serie temporal analizada.

El artículo científico original se encuentra en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162119300395>

**Palabras clave:** AOD, quema de biomasa, AERONET, Huancayo.

### **AFILIACIÓN:**

1- Instituto Geofísico del Perú (IGP);

2- Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET).

Citar como: Estevan, R., Martínez-Castro, D., Suarez-Salas, L., Moya, A., Silva Vidal, Y. (2020). Mediciones de aerosoles con un fotómetro solar AERONET en el Observatorio de Huancayo, Perú. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 7 N° 03. pág. 4-11.

## INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera que juegan un importante papel en las condiciones del tiempo y el clima. El conocimiento sobre las características y propiedades de los aerosoles ha mejorado sustancialmente y las incertidumbres sobre sus efectos se han reducido (IPCC, 2013). Esto se debe en gran medida al aumento de mediciones, tanto desde plataformas satelitales y aéreas como desde superficie. Las mediciones radiométricas terrestres ofrecen información clave que complementa la proporcionada por los satélites. Un ejemplo exitoso de mediciones de aerosoles en superficie es la red global de fotómetros solares denominada AERONET (AErosol RObotic NETwork), coordinada por la NASA (Holben, et al., 1998).

La quema de biomasa es una de las fuentes más importantes de aerosoles de carbono negro y, en América del Sur, la cuenca del Amazonas es la principal región generadora de este tipo de aerosoles. Los estudios sobre aerosoles atmosféricos en el valle del Mantaro son escasos y se basan fundamentalmente en información satelital. En este sentido, la falta de estudios sobre aerosoles atmosféricos medidos en superficie para el Perú, y particularmente en el valle del Mantaro, fue la motivación principal para el desarrollo de esta investigación.

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) ubicado en 12.04 °S y 75.32 °W a una altitud de 3314 m s.n.m. El laboratorio es parte del Observatorio de Huancayo (HYO) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), ubicado en el valle del Mantaro (Figura 1).

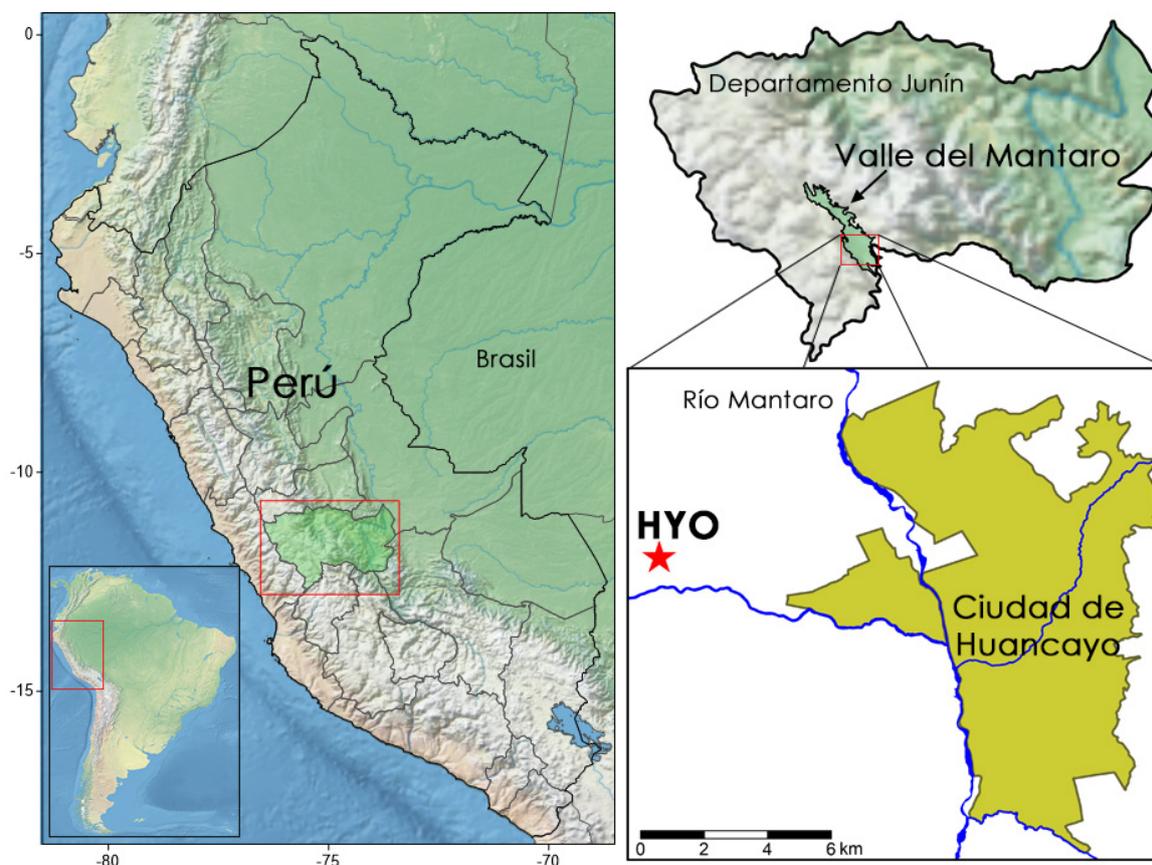


Figura 1. Ubicación del Observatorio de Huancayo (HYO) en el valle del Mantaro, departamento Junín, Perú.

## INSTRUMENTOS Y DATOS

El instrumento utilizado es el fotómetro solar CIMEL CE-318T, instalado el 19 de marzo de 2015 como parte de la red AERONET. Hasta el momento, es el único instrumento de este tipo instalado en el Perú y emplea ocho bandas espectrales en el dominio del espacio para las mediciones de irradiancia solar y del cielo (340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640 nm). La medición de irradiancia solar directa es el procedimiento común del fotómetro solar para medir aerosoles. Con una frecuencia de 15 minutos, esta medición es la que se utiliza para determinar el Espesor Óptico por Aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés) y el Exponente de Angström (EA, por sus siglas en inglés).

El AOD a 440 nm y el EA en el rango 440-870 nm, correspondiente a la versión 2 de AERONET, fueron las variables empleadas. El EA es empleado como indicador del tamaño de los aerosoles. Los valores de  $EA < 0.5$ , conocidos como modo grueso, implican el predominio de partículas grandes; mientras que valores de  $EA > 1.5$  se relacionan con partículas muy pequeñas, denominadas como modo fino.

## MASAS DE AIRE Y CONDICIONES SINÓPTICAS

La principal característica sinóptica en América del Sur corresponde a una circulación anticiclónica bien marcada en niveles altos de la tropósfera, conocida como "Alta de Bolivia", con la que están relacionadas las precipitaciones de verano en los Andes (Garreaud, 2009). Esta circulación anticiclónica garantiza una fuerte divergencia del aire en niveles altos en gran parte del Perú, la cual se debilita durante el invierno. Según Silva et al. (2008) existen, en el valle del Mantaro, dos estaciones bien definidas: la lluviosa, entre septiembre y abril, y la seca, entre mayo y agosto.

Para investigar las posibles regiones fuente de las masas de aire, que contribuyen a la presencia de aerosoles sobre HYO, se realizó un análisis mensual de retrotrayectorias a nivel de superficie. Para ello, se empleó el modelo HYSPLIT con datos de entrada del NCEP/NCAR *reanalysis 1* (Kalnay et al., 1996). Las trayectorias se calcularon empleando un intervalo de 6 horas y una duración de 120 horas hacia atrás. El punto de origen se ubicó en la superficie y en HYO. Las trayectorias se dividieron en ocho rumbos y se agruparon por meses (Figura 2). La prevalencia de la dirección norte (N) es evidente con un 51.6 %, seguida de la dirección noreste (NE) con 19.5 %, ambas constituyen el 71.1 % de todas las trayectorias. Entre abril y septiembre, este porcentaje siempre superó el 80 %, con la frecuencia máxima en julio y agosto con 94.9 % y 94.7 %, respectivamente.



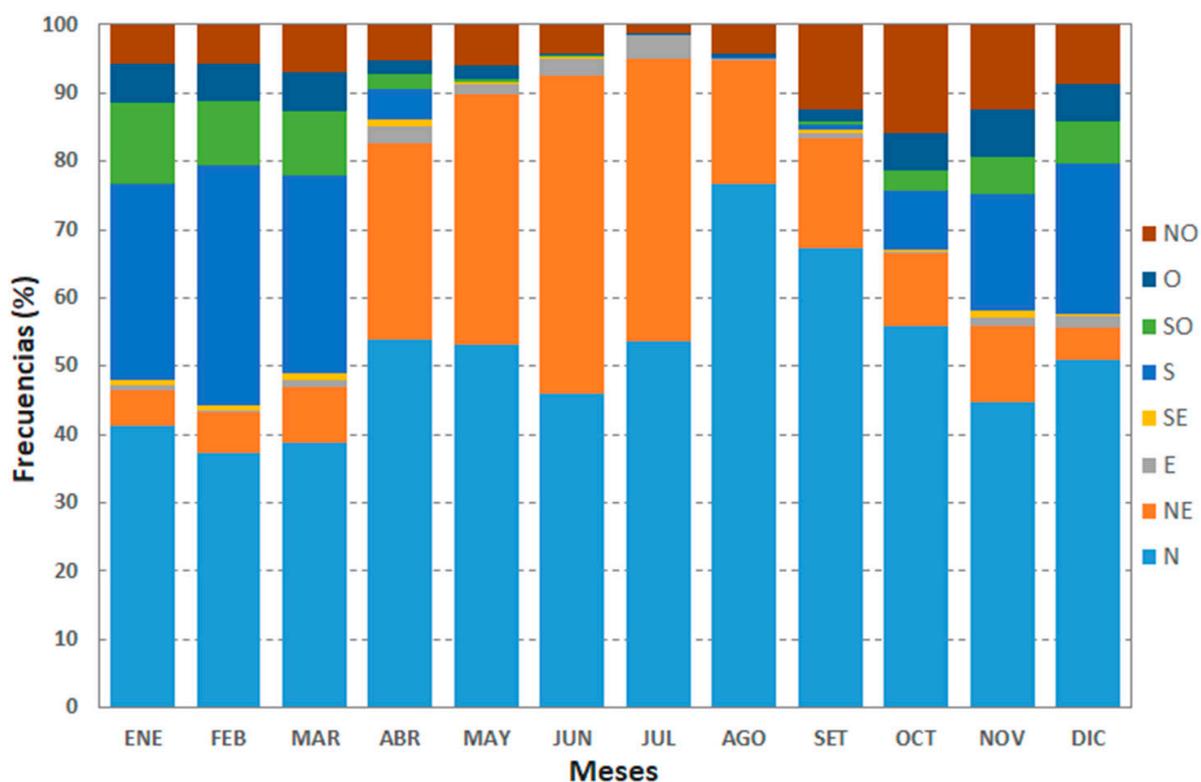


Figura 2. Frecuencia mensual de las direcciones del viento, derivadas del análisis de retrotrayectorias. Se consideraron ocho rumbos.

A partir del análisis de la Figura 2, se consideraron dos patrones principales con dos meses de transición (abril y septiembre). En la Figura 3 se representan los meses más significativos de ambos patrones: febrero (a) y julio (c); así como, de los meses de transición: abril (b) y septiembre (d). En el primer patrón, que incluye el primer y último trimestre del año, las trayectorias muestran características similares con predominio de los rumbos N y NE, pero también con aportes importantes desde el sur (S) y suroeste (SO). Sin embargo, en el último trimestre las frecuencias del S y SO son menores que en el primer trimestre y la influencia del NO es mayor. Durante abril (Figura 3b), el primero de los dos meses de transición, la frecuencia de trayectorias que fluyen sobre el océano, de dirección S y SW, son considerablemente menores que las observadas en el primer patrón.

El segundo patrón incluye los meses de mayo a agosto, donde el dominio de los rumbos N y NE en superficie es casi absoluto. Es significativa la ausencia de trayectorias sobre el océano durante estos meses, por lo que los aerosoles se mueven todo el tiempo sobre el continente (Figura 3c). Julio es el mes más representativo de este segundo patrón con trayectorias muy concentradas en los sectores N y NE, además de algunas trayectorias que se originan en el E. Las trayectorias que componen este patrón fluyen a través de gran parte de la Amazonía central peruana, y en algunos casos desde Brasil, durante un período en el que ocurre una gran cantidad de incendios forestales y quema de biomasa.

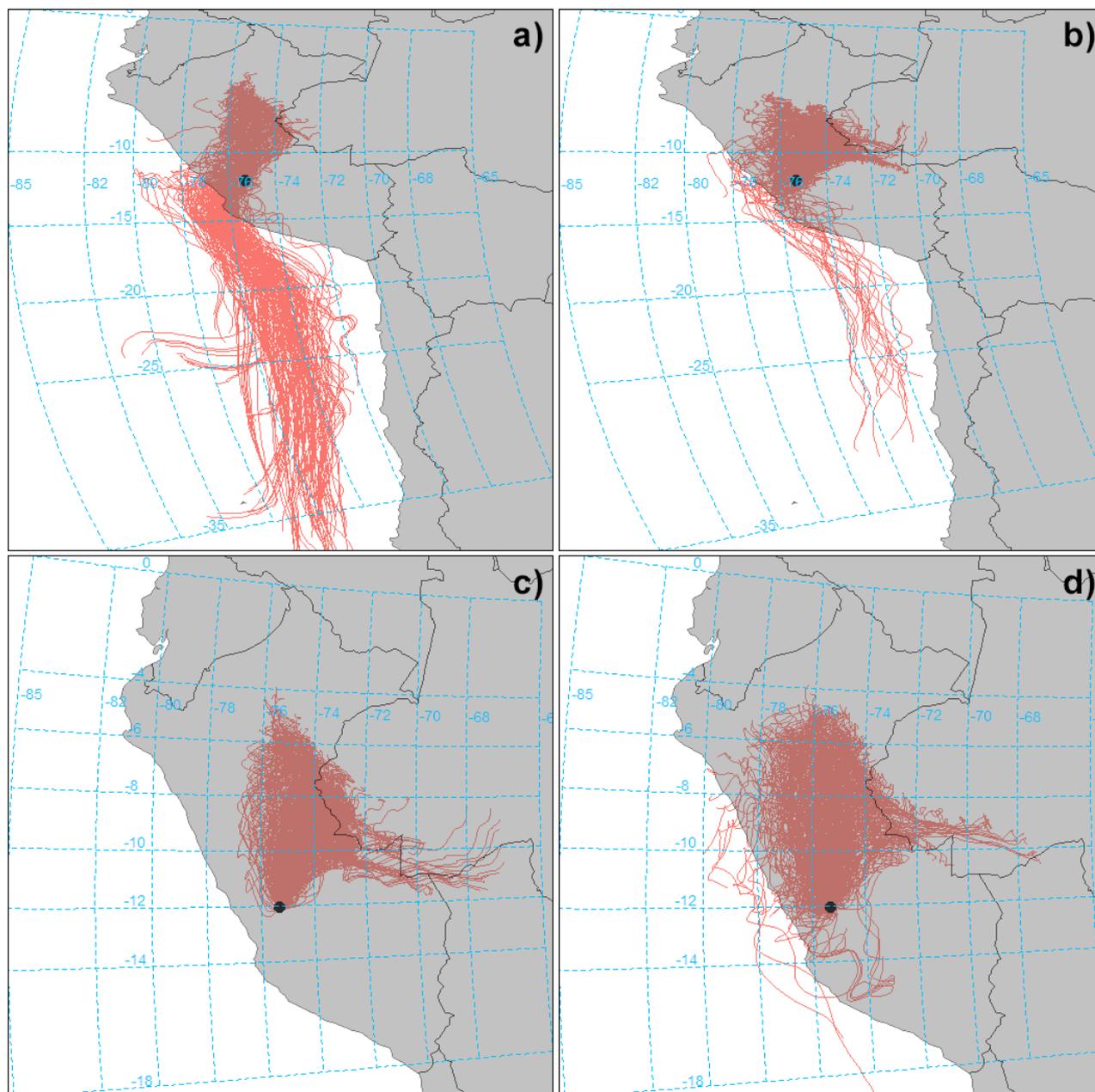


Figura 3. Trayectorias calculadas para febrero (a) y julio (c), los meses más representativos de los dos patrones. Abril (b) y setiembre (d) representan los meses de transición. El punto negro representa el HYC.

Septiembre, el segundo mes de transición, muestra un predominio de trayectorias desde el N y, por tanto, características de masas de aire continentales. En este mes comienzan a aparecer trayectorias originadas en el océano Pacífico. Se puede notar también la presencia de trayectorias con origen en Brasil, las cuales son portadoras de aerosoles generados por la quema de biomasa en la Amazonía brasileña (Figura 3d).

## RESULTADOS

La climatología mensual del AOD y el EA, así como algunos descriptores estadísticos relacionados se muestran en la Figura 4. Los valores medios mensuales de AOD son inferiores a 0.1, excepto para el período entre julio y octubre. A partir de junio, con el inicio del invierno y, por tanto, el período más seco del año, se aprecia un incremento de las medias del AOD alcanzando el máximo de  $0.164 \pm 0.093$  en septiembre. Este es también el mes con el EA más alto (Figura 4b), con una magnitud de  $1.75 \pm 0.21$ .

La gran cantidad de valores atípicos en el AOD es notable, especialmente para julio y septiembre, lo cual, es indicativo de la diversidad y alto número de eventos de aerosoles que están vinculados a la quema de biomasa. Los promedios más altos del EA se producen entre agosto y octubre, además de diciembre.

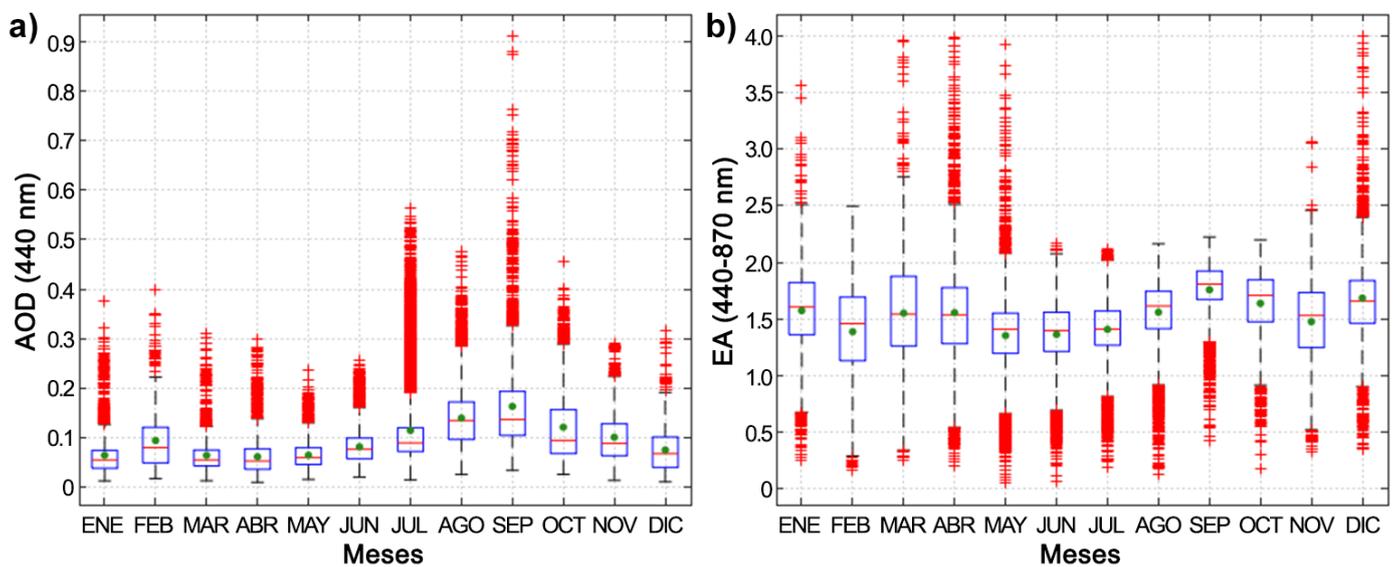


Figura 4. Medias mensuales del AOD (a) y EA (b) para el período de estudio, representadas por el punto verde dentro del rectángulo. La línea roja horizontal representa la mediana. Los límites superior e inferior del rectángulo constituyen los percentiles 25 y 75, respectivamente, y los valores atípicos se representan con el signo + en rojo.

Los valores medios mensuales más bajos de AOD ( $< 0.07$ ) ocurren entre enero y mayo. Enero, febrero y marzo son los meses con máxima precipitación en HYO. En febrero, ya finalizando el verano en el hemisferio sur, se registraron valores de AOD relativamente altos (0.096), respecto a los otros meses de la estación húmeda. Este comportamiento puede estar asociado a eventos locales de quema de biomasa y a aerosoles de polvo (Platero et al., 2018).

Para la clasificación de los aerosoles se empleó un diagrama de dispersión de AOD vs EA para el cual se establecieron rangos que definen los tipos de aerosoles. Los umbrales iniciales entre tipos se establecieron a partir de la bibliografía existente, pero fueron ajustados de acuerdo a las condiciones específicas del sitio de medición y su entorno. Se realizaron diagramas de dispersión mensuales y se analizaron días individuales para ajustar estos umbrales, teniendo siempre en cuenta el vínculo con las regiones fuentes. El análisis realizado para la clasificación de aerosoles tuvo en cuenta el comportamiento mensual, estacional y anual de los aerosoles en el HYO y como resultado se definieron seis tipos de aerosoles: Continental (CNT), Urbano (URB), Mezcla (MEZ), Polvo (PVO), Marítimo (MAR) y Biomasa (BIO).

La clasificación de los aerosoles registrados en el HYO ha permitido establecer que durante los meses de julio a octubre se registran valores significativos de AOD relacionados con aerosoles del tipo BIO. El comportamiento del tipo BIO describe las mismas características mensuales que los valores medios mensuales de AOD (Figura 4), por lo que puede afirmarse que este tipo de aerosoles modula el comportamiento mensual de AOD en HYO, como se puede apreciar en la Figura 5.

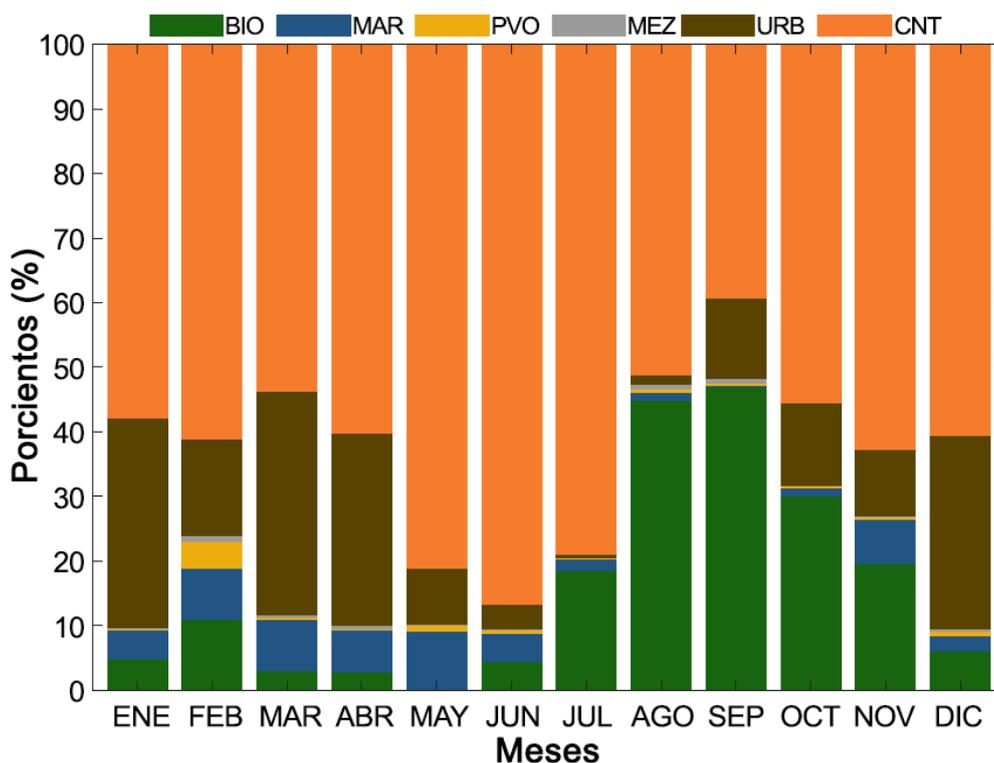


Figura 5. Porcentajes mensuales por tipos de aerosoles en el HYO para el período analizado.

Los aerosoles de tipo BIO son consecuencia de la quema de biomasa de incendios forestales generados principalmente en Perú, pero también de incendios forestales que tienen lugar en países vecinos como Brasil y Bolivia, aunque en menor medida (Moya, et al., 2017). Este transporte transfronterizo es evidente en los análisis de retro trayectorias que fueron realizados.

## CONCLUSIONES

En el valle del Mantaro prevalecen condiciones de carga de aerosoles conocidas como fondo, relacionados fundamentalmente con aerosoles del tipo continental. Un resultado importante obtenido a partir de la clasificación de los aerosoles es la concordancia de los períodos de quema de biomasa con el incremento del AOD registrado. Estos períodos abarcan desde julio a octubre de cada año, siendo setiembre el mes donde se registran los máximos valores de AOD. Se ha evidenciado la llegada de aerosoles generados por la quema de biomasa de incendios forestales que tienen lugar fundamentalmente en Perú, pero con contribuciones desde Brasil y Bolivia. Los aerosoles producidos por la quema de biomasa son los principales responsables del incremento de AOD en el valle del Mantaro, ocupan el segundo lugar de todos los tipos registrados y modulan, en general, el comportamiento de los promedios mensuales.

## REFERENCIAS

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences* 22: 3-11.

Holben, B.N., Eck, T.F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E. F., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., Smirnov, A. (1998). AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, 66, 1–16.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437–471. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:tnyrp>2.0.co;2.

Moya, A. S., Estevan, R., & Yuli, R. A. (2017). Determinación de la presencia de partículas PM10 en Perú, producidas por quema de biomasa con ayuda de modelos numéricos. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1). 99-108, doi: 10.20937/RICA.2017.33.01.09.

Platero, I. Y., Estevan, R., Moya, A. S., & Yuli, R. A. (2018). Determining the desert dust aerosol presence in the Mantaro Valley, Peru (In Spanish). *Óptica Pura y Aplicada*, 51(3), 50023:1-14. doi:10.7149/OPA.51.3.50023

Silva Y., Takahashi, K., Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances in Geosciences* 14: 261–264.