

Atmospheric aerosols in Huancayo and their relationship with the surface temperature in the Huaytapallana glacier

Julio Angeles Suazo, Maestro¹; Roberto Angeles Vasquez, Maestro²; Jose Flores Rojas, Doctor³; Carmencita Lavado-Meza, Doctora⁴; Janette Navarro Ayllon, Maestra²; Nataly Angeles Suazo, Bachiller¹ and Leonel De La Cruz-Cerrón, Maestro⁵

¹Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, julio_as_1@hotmail.com, nati2643@hotmail.com

²Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com, jnavarroayllon@gmail.com

³Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú. jflores@igp.gob.pe

⁴Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. La Merced, Perú, clavado@uniscjsa.edu.pe

⁵Universidad Continental. Huancayo, Perú, ldelacruz@continental.edu.pe

Abstract– The snow cover on the Huaytapallana glacier is the main source of water for the Mantaro Valley. Many studies have shown that increased aerosols can lead to reduced snow cover. This study focuses on evaluating the changes in atmospheric aerosols during the winter and summer seasons in Huancayo and their relationship with the surface temperature in the Huaytapallana glacier. For this reason, measurements of the optical properties of atmospheric aerosols have been carried out using a CIMEL sun photometer from the AERONET network at the Huancayo Observatory, from January 2018 to March 2022. Likewise, the MODIS sensor belonging to the TERRA satellite was obtained, to obtain the aerosol optical thickness and surface temperature at a spatial resolution of 10km and 5km respectively with a temporal resolution on a monthly basis during the period 2001-2020. In the results obtained, the mean value of Aerosol optical depth (AOD) for the study period is 0.21 ± 0.07 and the mean alpha value is 1.7 ± 0.22 , indicating the presence of fine fashion aerosols. (burns biomass). Between the main types of aerosols: dust (30%), mixture (23%) biomass (16%), maritime (14%), contaminated (11%), continental (6%). It is concluded that the glacier retreat is -80% and the increase in atmospheric aerosols is 0.01% AOD day-1 using the CIMEL sun photometer and 0.16% AOD year-1 using the MODIS sensor. With the present investigation, continuous monitoring of forest fires will be proposed to prevent the increase of atmospheric particles, where is necessary to implement air quality management measures for the Mantaro Valley or at the national level to reduce forest fires as a result of agricultural activities.

Keywords-- Aerosols; Huancayo; temperature; Huaytapallana

Digital Object Identifier:

ISSN:

ISBN:

Aerosoles atmosféricos en Huancayo y su relación con la temperatura superficial en el glaciar Huaytapallana

Julio Angeles Suazo, Maestro¹; Roberto Angeles Vasquez, Maestro²; Jose Flores Rojas, Doctor³; Carmencita Lavado-Meza, Doctora⁴; Janette Navarro Ayllon, Maestra²; Nataly Angeles Suazo, Bachiller¹ and Leonel De La Cruz-Cerrón, Maestro⁵

¹Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, julio_as_1@hotmail.com, nati2643@hotmail.com

²Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, roanvas@hotmail.com, jnavarroayllon@gmail.com

³Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú, jflores@igp.gob.pe

⁴Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. La Merced, Perú, clavado@uniscjsa.edu.pe

⁵Universidad Continental. Huancayo, Perú, ldacruz@continental.edu.pe

Resumen– La capa de nieve en el glaciar Huaytapallana es la principal fuente de agua para el valle del Mantaro. Muchos estudios han mostrado que el aumento de aerosoles puede conducir a una reducción de la capa de nieve. Este estudio se centra en evaluar los cambios en aerosoles atmosféricos durante las temporadas de invierno y verano en Huancayo y su relación con la temperatura superficial en el glaciar Huaytapallana. Por ello se han realizado mediciones de las propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos utilizando un fotómetro solar CIMEL de la red AERONET en el Observatorio de Huancayo, desde enero de 2018 hasta marzo de 2022. Asimismo, se utilizó el sensor MODIS perteneciente al satélite TERRA, para la obtención del espesor óptico de aerosol y temperatura superficial a una resolución espacial de 10km y 5km respectivamente con una resolución temporal de manera mensual durante el periodo 2001-2020. En los resultados obtenidos se determinó el valor medio de Espesor optico total (EOA) para el período de estudio es de 0.21 ± 0.07 y el valor medio alfa es de $1,7 \pm 0,22$, lo que indica la presencia de aerosoles de moda fina (quema biomasa). Entre los principales tipos de aerosoles: polvo (30%), mezcla (23%) biomasa (16%), marítimo (14%), contaminado (11%), continental (6%). Se concluye que el retroceso glaciar es de -80% y el incremento de los aerosoles atmosféricos es de 0.01% EOA día⁻¹ utilizando el fotómetro solar CIMEL y de 0.16% de EOA año⁻¹ utilizando el sensor MODIS. Con la presente investigación se propondrá monitoreos continuos de incendios forestales para prevenir el incremento de partículas atmosféricas, donde es necesario implementar medidas de gestión de calidad de aire para el valle del Mantaro o a nivel nacional para reducir incendios forestales producto de las actividades agrícolas

Palabras clave – aerosoles; Huancayo; temperatura; Huaytapallana

I. INTRODUCCIÓN

La influencia de las partículas de aerosoles atmosféricos en el clima de la Tierra depende en gran medida de las propiedades ópticas, físicas y químicas de las partículas, ya que alteran el balance de radiación de la Tierra [1]. Aunque muchos investigadores han estudiado exhaustivamente la

concentración y las propiedades ópticas de los aerosoles, se los considera una fuente importante de incertidumbre en el pronóstico del cambio climático global y la calidad del aire regional [2]. El aumento de estas partículas se ha considerado un factor importante que enfría el sistema tierra-atmósfera y compensa parcialmente el efecto invernadero [3]. El estado del glaciar se puede conocer a través de un balance de masa en el cual nos indica si presenta un incremento, reducción o un equilibrio en el glaciar. Asimismo, los factores que influyen en el balance glaciar pueden ser mecánicos o climáticos. El proceso de desglaciación, significa la reducción de la masa de hielo la cual es producido por la contaminación y cambio climático [4]. La cordillera de los Andes se extiende por toda la parte occidental de América del Sur, albergando el 99% de los glaciares tropicales del mundo, de los cuales el 71% se encuentran en Perú [5]. Los glaciares son una fuente importante de agua en temporada seca, que sirve para el riego de la agricultura tradicional en las montañas y en tierras bajas [6]. Los glaciares Andinos han retrocedido a un ritmo acelerado en las últimas décadas [7]. Según Marzeion, et al., (2020) [8], reconoce la pérdida de masa de los glaciares donde se encontró que la pérdida de masa global proyectada para 2100 respecto a 2015 es 79 ± 56 mm equivalente al nivel del mar para RCP2.6, 159 ± 86 mm equivalente al nivel del mar para RCP8.5. En general, los glaciares perderán alrededor del 18 % de su masa de hielo en un escenario de bajas emisiones, o alrededor del 36 % en un escenario de altas emisiones. Asimismo, Yarleque et al., 2018 [9], analiza el estado futuro del Casquete de Hielo Quelccaya (QIC), el casquete de hielo tropical más grande del mundo con una elevación de la cumbre de 5680m snm, que, en términos de su rango de elevación (~5300–5680m snm), es representativa de muchos sitios glaciarios de baja elevación en los Andes tropicales. Proyecciones del modelo CMIP5 de la temperatura del aire (Ta) en QIC indican un calentamiento de alrededor de 2,4 °C y 5,4 °C para RCP4.5 y escenarios RCP8.5 respectivamente para fines del siglo XXI.

Por ello la presente investigación determina el Impacto de los aerosoles atmosféricos en Huancayo y su relación con la temperatura superficial en el glaciar Huaytapallana.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Sitio y localización

En la Fig. 1 se muestra el área del estudio es el glaciar Huaytapallana ubicado en la cordillera Huaytapallana la cual se encuentra en los Andes centrales de Perú (lat. -11.95° a -11.83° ; lon. -75.01° a -74.99°).

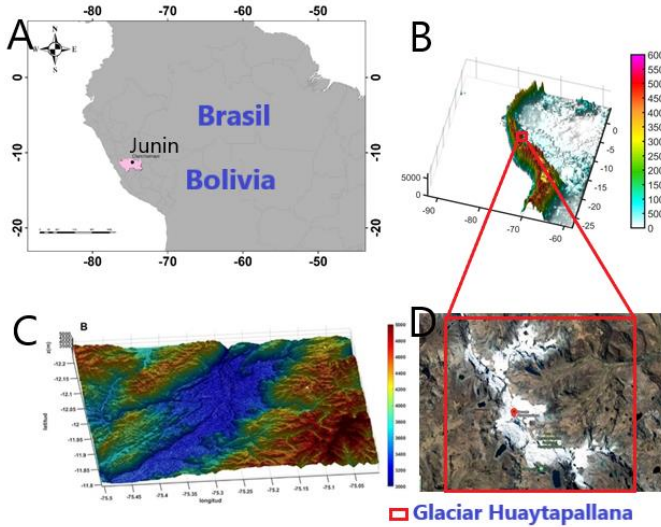


Fig. 1 Mapa de ubicación A. región Junín, B. topografía de la cordillera de los andes, C. Valle del Mantaro y D. Glaciar Huaytapallana

B. MODIS data

El sensor del Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) se lleva en los satélites TERRA y AQUA de la NASA, lanzados en mayo de 2000. El sensor MODIS proporciona información sobre la superficie de la Tierra en 36 bandas de longitud onda, incluidos los rangos visibles e infrarrojo cercano. TERRA tiene una órbita heliosíncrona casi polar, pero con un tiempo de cruce ecuatorial de aproximadamente 10:30 hora local (LT) y 22:30 LT. El producto del perfil atmosférico del sensor MODIS consta de varios parámetros: columna de ozono total, estabilidad atmosférica, perfiles de temperatura, humedad y vapor de agua. Todos estos parámetros se producen día y noche para el Nivel 2 con una resolución de píxeles de $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ [10].

C. Fotómetro solar CIMEL

El instrumento utilizado para las mediciones de aerosoles es el fotómetro solar CIMEL, como parte del Red AERONET. El CIMEL CE-318T utiliza ocho bandas espectrales (340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640nm). El AOD a 440 nm y el Exponente de Angström (α), en el rango de 440–870 nm, serán las principales variables para este estudio [11]. Todas las variables utilizadas en el presente estudio corresponden al

período comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 20 de marzo de 2022.

III. RESULTADOS

A. Trayectorias de vientos

En la región andina central (noroccidente del Perú), el alto relieve no contribuye a la ocurrencia de patrones de viento que favorezcan el ascenso de aerosoles. Las simulaciones con el modelo Hysplit, como se visualiza en la Fig. 2 utilizando la trayectoria inversa, como referencia, indicaron constantemente la región del suroeste de Brasil como la fuente de las masas de aire que fueron transportadas a región andina del Perú. Los datos de entrada utilizados son Global Data Assimilation System (GDAS), con una resolución de 0,5 grados. Para investigar el posible origen de las masas de aire que contribuyen a la presencia de material particulado sobre Huancayo, se realizó un análisis de retrotrayectoria mensual a nivel de superficie. Las trayectorias para cada mes, se han calculado con un paso de tiempo de 6h y una duración de 120 h hacia atrás. El punto de origen se ubicó en Huaytapallana y Huancayo a nivel de superficie. Las trayectorias que componen este patrón discurren por gran parte de la Amazonía peruana central y, en algunos casos, desde Brasil, durante un período en el que se produce un gran número de quemas de biomasa [11].

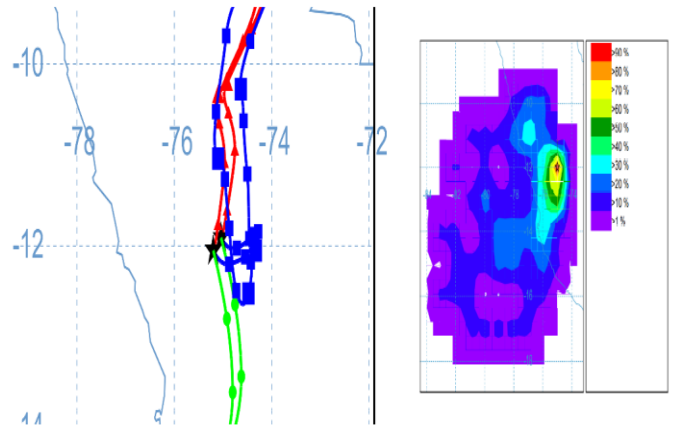


Fig. 2 Trayectorias calculadas para setiembre 2019.

B. Temperatura superficial

En la fig. 3 se muestra la variación espacial de temperatura superficial para el mes de enero presentando valores de 5°C y 22°C para el año 2001 y 2016 respectivamente. En el mes de junio presenta valores de 7°C y 19°C para el año 2001 y 2016 respectivamente.

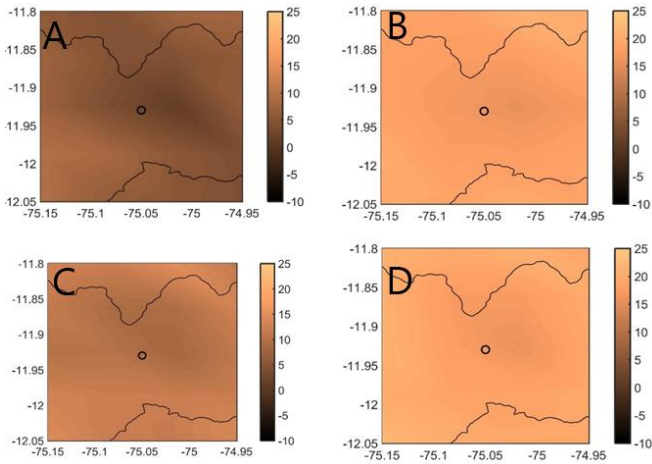


Fig. 3 Variación espacial de temperatura superficial diurna para A. Enero 2001, B. 2016, C. junio 2001 y D. 2016

No obstante, en la fig. 4 se muestra la variación espacial de temperatura superficial nocturna para el mes de enero presentando valores de $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el año 2001 y 2016 respectivamente. Asimismo, en el mes de junio presenta valores de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el año 2001 y 2016 respectivamente.

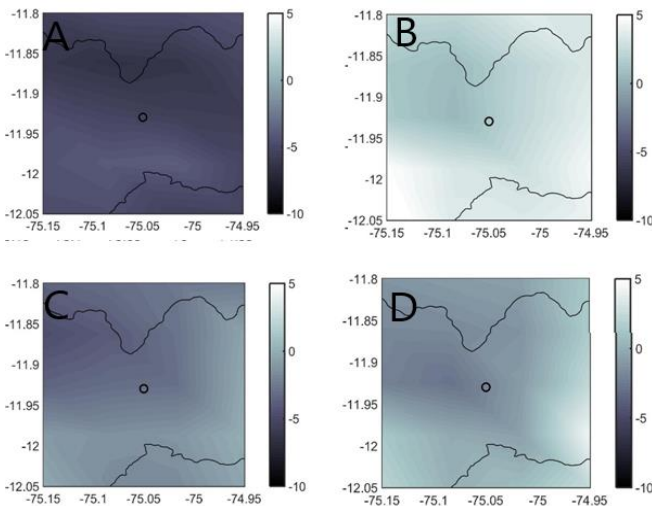


Fig. 4 Variación espacial de temperatura superficial nocturna para A. Enero 2001, B. 2016, C. junio 2001 y D. 2016

En la Fig. 5 presenta un incremento de temperatura superficial de $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}$ año $^{-1}$ y $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}$ año $^{-1}$ para la estación seca y húmeda respectivamente.

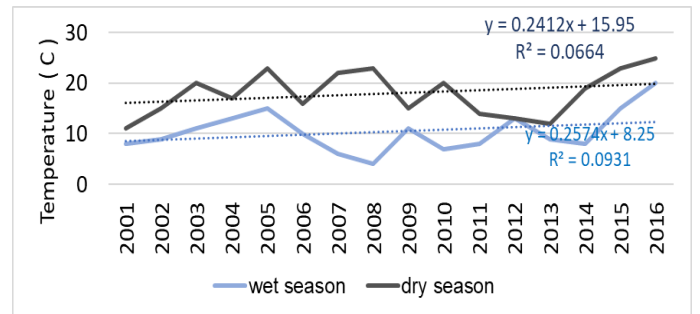


Fig. 5 Variación temporal de temperatura superficial diurna para estación seca y húmeda durante 2001-2016

C. Propiedades ópticas de Aerosoles atmosféricos Espesor óptico de aerosol

El espesor óptico de aerosol (τ) esta elacionada con a cantidad de materia ópticamente activa en la columna atmosférica y es importante en la caracterización de la carga de aerosoles de la region estudiada. La fig. 6 presenta la serie temporal del espesor óptica del aerosol en 440 nm obtenida del AERONET, los valores máximos son típicamente de 3 a 7.

También en la Fig. 7 se muestra las medias diarias acompañadas de picos de (τ_{500}), mostrando la persistencia de la ocurrencia de altos valores de (τ_{500}), muchas veces por varios días consecutivos.

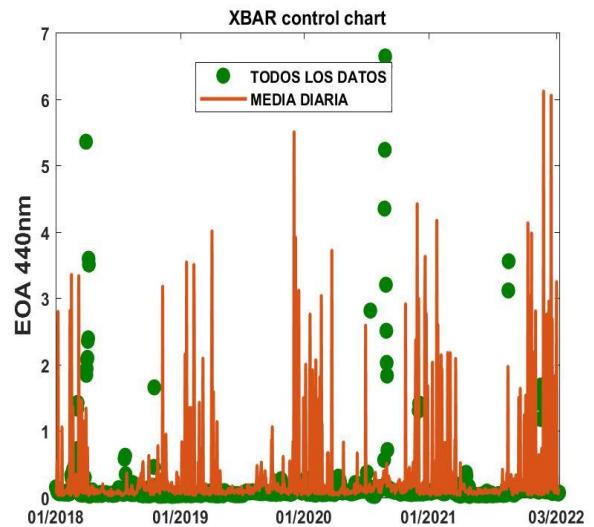


Fig. 6 Serie temporal del espesor óptico de aerosol en 440 nm obtenida por el AERONET. La línea se refiere a las medias diarias

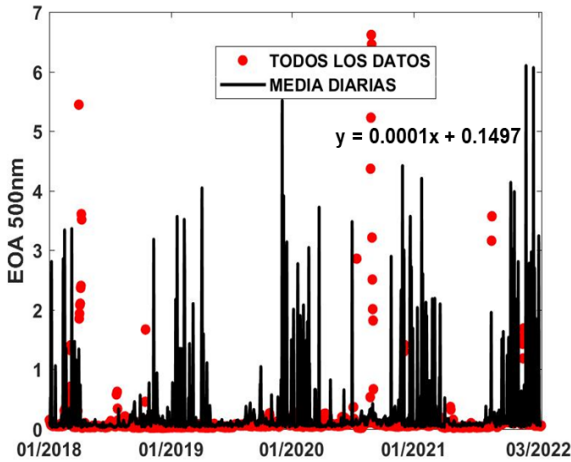


Fig. 7 Serie temporal del espesor óptico de aerosol en 500 nm obtenida por el AERONET. La línea se refiere a las medias diarias

Por otro lado, utilizando el sensor MODIS se observa en la fig. 8 valores máximos de media anual de EOA de 0.4. no obstante presenta un ligero incremento anual de 0.16% de EOA año⁻¹.

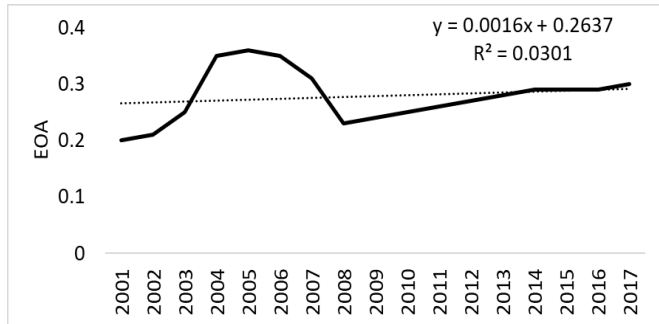


Fig. 8 Serie temporal del espesor óptico de aerosol en 550 nm obtenida por el sensor MODIS.

D. Coeficiente de Angstrom

En la fig. 9, se nota que el coeficiente de angstrom alcanza valores de 2, y el espesor óptico de aerosol crece significativamente, indicando un fuerte dominio de aerosoles de la moda fina, probablemente viniendo de emisiones de quemadas. Se percibe que para los valores altos de τ el particulado es dominado por la fracción fina, con valores de angstrom de 1.5 a 2.0. la clasificación se realizó según [12], [13] predominando partículas tipo polvo (30%), mezcla (23%) biomasa (16%), marítimo (14%), contaminado (11%), continental (6%).

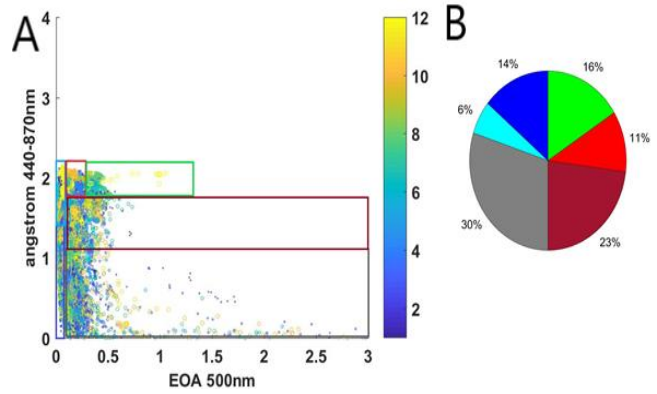


Fig. 9 Coeficiente de Angstrom entre las longitudes de onda 870-440 nm versus el espesor óptico de aerosol en 500 nm. Marino(azul), continental (celeste), polvo (plomo), mezcla (rojo oscuro) contaminado (rojo), biomasa (verde)

E. La distribución de tamaño y radio efectivo del aerosol

Los valores medios y el padrón de desviación del radio efectivo del aerosol y de la larga distribución de tamaño de los aerosoles durante la estación seca son mostrados en la fig. 10 como de la estación húmeda o lluviosa. Se muestra una ligera predominancia de partículas de moda gruesa respecto a moda fina tanto para la estación seca y húmeda.

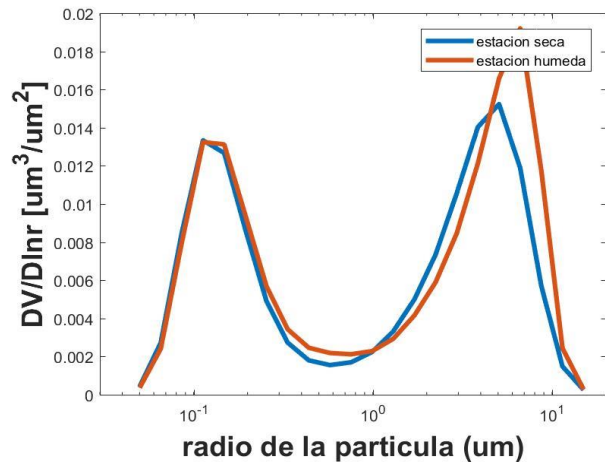


Fig. 10 Media de la distribución de tamaño del aerosol durante las estaciones seca y húmeda.

F. Variabilidad espacial del espesor óptico de aerosol de Brasil hacia el nevado huaytapallana

En la fig. 11 se presentan la variabilidad espacial del espesor óptico de aerosol, donde se observa un alto valor de espesor óptico de aerosol [0 1], donde indica una alta influencia en el efecto directo del aerosol de dispersar y absorber la radiación solar. Asimismo, los valores máximos se presentan en la amazonia brasilera debido a la quema de vegetación y se transporta hacia la región andina.

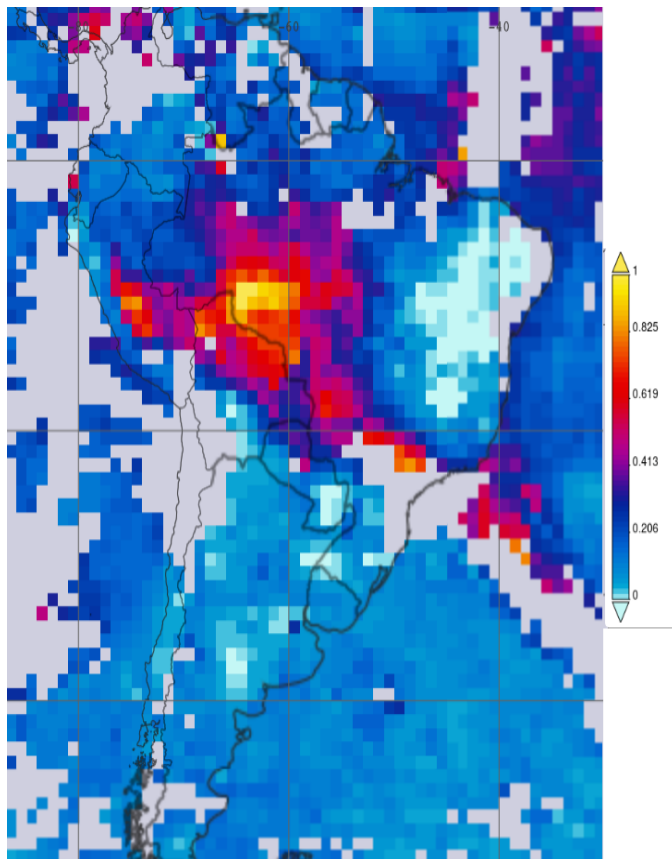


Fig. 11 Variación espacial del espesor óptico de aerosol de América del Sur, septiembre 2020. Fuente: Portal Giovanni NASA

IV. CONCLUSIONES

Se han mostrado los primeros resultados de las características de los aerosoles, medidos con un fotómetro solar. Con un valor promedio de EOA de 0.21 ± 0.07 y el valor medio de coeficiente de angstrom de 1.7 ± 0.22 , lo que indica la

presencia de aerosoles de moda fina (quema biomasa). Asimismo, los principales tipos de aerosoles: polvo (30%), mezcla (23%) biomasa (16%), marítimo (14%), contaminado (11%), continental (6%). Se concluye que el incremento de los aerosoles atmosféricos es de 0.01% EOA día⁻¹ utilizando el fotómetro solar CIMEL y de 0.16% de EOA año⁻¹ utilizando el sensor MODIS. Un resultado importante es el establecimiento de periodos de quema de biomasa que se relacionan con el incremento de EOA registrados en el Huancayo como lo menciona Estevan [11].

Con la presente investigación se propondrá monitoreos continuos de incendios forestales para prevenir el incremento de partículas atmosféricas, por ello es necesario implementar medidas de gestión de calidad de aire para el valle del Mantaro o a nivel nacional para reducir incendios forestales producto de las actividades agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Los conjuntos de datos de la temperatura superficial se obtuvieron de la NASA desde su sitio web en: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>; y al Instituto Geofísico del Perú por la data de aerosoles atmosféricos

REFERENCES

- [1] V. [Masson-Delmotte *et al.*, "IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis," 2021.
- [2] H. Che *et al.*, "Column aerosol optical properties and aerosol radiative forcing during a serious haze-fog month over North China Plain in 2013 based on ground-based sunphotometer measurements," *Atmos. Chem. Phys.*, 2014, doi: 10.5194/acp-14-2125-2014.
- [3] M. G. Tosca *et al.*, "Attributing accelerated summertime warming in the southeast United States to recent reductions in aerosol burden: Indications from Vertically-resolved observations," *Remote Sens.*, 2017, doi: 10.3390/rs9070674.
- [4] "Earth environments: past, present, and future," *Choice Rev. Online*, vol. 48, no. 04, 2010, doi: 10.5860/choice.48-2096.
- [5] P. Chevallier, B. Pouyaud, W. Suarez, and T. Condom, "Climate change threats to environment in the tropical Andes: Glaciers and water resources," *Reg. Environ. Chang.*, vol. 11, no. SUPPL. 1, 2011, doi: 10.1007/s10113-010-0177-6.
- [6] J. T. Bury *et al.*, "Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru," *Clim. Change*, vol. 105, no. 1, 2011, doi: 10.1007/s10584-010-9870-1.
- [7] A. Rabatel *et al.*, "Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change," *Cryosphere*, vol. 7, no. 1, 2013, doi: 10.5194/tc-7-81-2013.
- [8] B. Marzeion *et al.*, "Partitioning the Uncertainty of Ensemble Projections of Global Glacier Mass Change," *Earth's Futur.*, vol. 8, no. 7, 2020, doi: 10.1029/2019EF001470.
- [9] C. Yarleque *et al.*, "Projections of the future disappearance of the Quelccaya Ice Cap in the Central Andes," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-33698-z.
- [10] B. Dousset and F. Gourmelon, "Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover," 2003, doi: 10.1016/S0924-2716(03)00016-9.
- [11] R. Estevan, D. Martínez-Castro, L. Suarez-Salas, A. Moya, and Y. Silva, "First two and a half years of aerosol measurements with an

AERONET sunphotometer at the Huancayo Observatory, Peru,”
Atmos. Environ. X, 2019, doi: 10.1016/j.aeaoa.2019.100037.

- [12] B. N. Holben *et al.*, “An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 106, no. D11, 2001, doi: 10.1029/2001JD900014.
- [13] O. Dubovik *et al.*, “Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations,” *J. Atmos. Sci.*, vol. 59, no. 3, 2002, doi: 10.1175/1520-0469(2002)059%3C0590%3AVOAAOP%3E2.0.C.