

CLASIFICACIÓN DE LOS AEROSOLES EN LA ESTACIÓN AERONET DE TUCUMÁN, ARGENTINA

AEROSOL CLASSIFICATION FOR TUCUMÁN AERONET STATION, ARGENTINA

F. Casasola^{1,3,4,5}, C. Pereyra^{4,5}, M. Prieto^{4,5}, E. Martonella¹, S. Brusca², M. Raponi^{2,3}, P. Ristori^{2,3} y L. Otero^{*1,2,3}

¹Universidad de la Defensa Nacional, Facultad de Ingeniería del Ejército, Escuela Superior Técnica Grl. Div. Manuel N. Savio, Av. Cabildo 15 (C1426AAA), C.A.B.A., Argentina.

²Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), UNIDEF (CITEDEF - CONICET), Juan Bautista de La Salle 4397 (B1063ALO), Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

³Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951 (C1179AAQ), C.A.B.A., Argentina.

⁴Servicio Geográfico Militar, Instituto Geográfico Nacional, Av. Cabildo 381 (C1426AAA), C.A.B.A., Argentina.

⁵Dirección General de Investigación y Desarrollo del Ejército Argentino, Azopardo 250 (C1107ADB), C.A.B.A., Argentina.

Recibido: 10/02/2020; Aceptado: 28/02/2020


El 15 de noviembre de 2017 se puso en funcionamiento un nuevo fotómetro solar, integrado a la red AERONET/NASA, en la Ciudad de Tucumán (26,787° S; 65,207° O), en la sede del Servicio Meteorológico Nacional de dicha ciudad, con el objetivo de sensar y estudiar los aerosoles en la región centro-norte del país que se ve afectada mayormente por la quema de biomasa local y de transporte. En este trabajo se realiza un estudio estadístico de las primeras mediciones disponibles entre noviembre de 2017 y diciembre de 2018. Se analizan valores medios de las propiedades ópticas de los aerosoles, se calcula el coeficiente de Angstrom y se clasifica el tipo de aerosoles presentes en suspensión en la estación. Además, se estudia un evento de aerosoles de transporte ocurrido durante el mes de septiembre de 2018, del cual se destacan valores altos de espesor óptico de aerosoles, 0,45 en 440 nm y de 1,95 en el Coeficiente de Angstrom, indicando la presencia de humo en la atmósfera local.

Palabras clave: aerosoles, coeficiente de Angstrom, quema de biomasa, Tucumán.

On November 15th, 2017, a new sunphotometer was installed for sensing and studying aerosols at National Meteorological Service headquarters in the City of Tucumán (26,787° S; 65,207° O), and was integrated to the AERONET / NASA network. The north-central region of the country is mostly affected by both local and transported biomass burning events. In this work, a statistical study is carried out with the first available measurements done between November 2017 and December 2018. This analysis shows the averaged values of the aerosol optical properties, the Angstrom coefficient and the aerosol type. In addition, an aerosol transport event during the month of September 2018 is studied, highlighting high values of aerosol optical thickness of 0.45 at 440 nm and an Angstrom coefficient of 1.95, indicating the presence of smoke in the local atmosphere.

Keywords: wind direction, aerosols, Angstrom coefficient, biomass burning, Tucumán.

<https://doi.org/10.31527/analesafa.2020.31.2.39>

 ISSN 1850-1168 (online)

I. INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera. Estos pueden ser de origen natural o antropogénico y dependiendo de sus características y propiedades, tanto físicas, químicas como ópticas, alteran y modifican la atmósfera y el aire que respiramos [1]. La presencia de aerosoles reduce la visibilidad, disminuye la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra, son centros de nucleación de nubes y perjudiciales para la salud humana.

El objetivo del trabajo es caracterizar los aerosoles presentes en la atmósfera de la ciudad de San Miguel de Tucumán provincia de Tucumán, Argentina, utilizando los da-

tos del espesor óptico de aerosoles (AOD) en nivel 2.0 (datos calibrados) de un fotómetro solar instalado en la ciudad, perteneciente a la red AERONET (Aerosol RObotic NETWORK) [2] administrado por NASA. Anualmente de agosto a mediados de noviembre importantes columnas de humo se producen después de las cosechas producto de la actividad agropecuaria. Esta ciudad es afectada fuertemente por estos aerosoles de quema de biomasa que se generan localmente y por los transportados por los vientos desde el centro y sur de Brasil, Bolivia, Paraguay y por las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero y Salta. Un evento de intrusión de aerosoles registrado durante septiembre de 2018 se analiza utilizando los datos del fotómetro solar y datos de los satélites TERRA y Sentinel-5P.

* lotero@citedef.gob.ar lidia1116@gmail.com

II. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN Y DE LOS DATOS PROCESADOS

La estación de Tucumán

La estación de AERONET (26,787° S; 65,207° O) en la ciudad de San Miguel de Tucumán se encuentra instalada en la sede del Servicio Meteorológico Nacional de dicha ciudad, en las Figs. 1 y 2 se muestra la ubicación geográfica de la estación y en la Fig. 3 se muestra una foto de la misma.

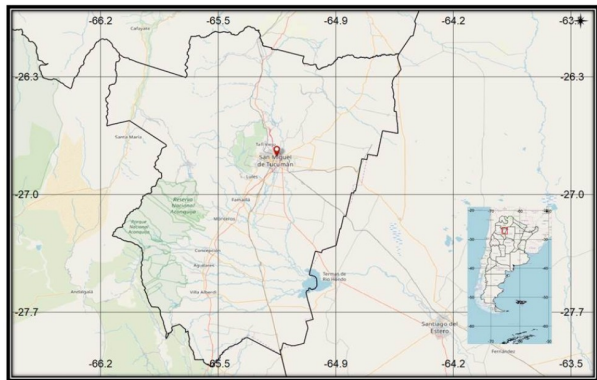


FIG. 1: Ubicación geográfica de la estación de AERONET en la provincia de Tucumán.

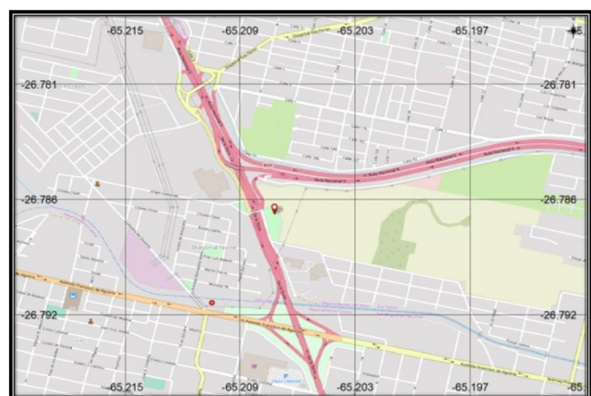


FIG. 2: Ubicación geográfica de la estación de AERONET en la ciudad de San Miguel de Tucumán.

En la estación había instalados además, un sistema lidar troposférico multilongitud de onda y radiómetros UV. Actualmente la estación se encuentra fuera de servicio.

Datos utilizados

El programa AERONET [2] tiene como objetivo determinar características ópticas de los aerosoles y validar datos satelitales. Un fotómetro solar es un radiómetro de campo de visión angosto diseñado para medir irradiancia solar. Este instrumento tiene bandas espectrales bien definidas (1020, 940, 870, 670, 500, 440, 380, 340 nm) del orden de los 10 nm de ancho de banda FWHM (Full Width Half Maximum) [3]. El equipo está controlado electrónicamente y tiene la capacidad de almacenar los datos. El sistema posee un tracking automático para un exacto seguimiento y posicionamiento solar.

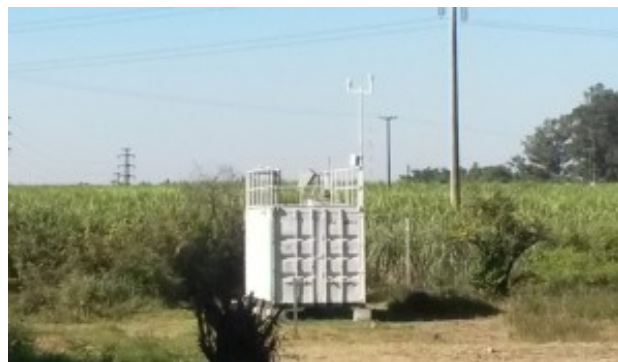


FIG. 3: Foto de la estación de AERONET en San Miguel de Tucumán.

La red está formada por más de 700 fotómetros solares, CIMEL Electronique 318, instalados en estaciones estratégicamente distribuidas en todo el mundo. En territorio argentino están instalados 7 instrumentos. Esta red impone la estandarización de los instrumentos, su calibración, y del proceso de medición, lo cual permite que los datos de estaciones diferentes pertenecientes a esta red puedan ser intercomparados. Tres niveles de datos están disponibles online en la página web de la red: Nivel 1.0 (datos crudos sin calibración), Nivel 1.5 (datos donde se han extraído las nubes automáticamente), y Nivel 2.0 (datos sin nubes, calibrados e inspeccionados manualmente).

Para este trabajo se utilizan todos los datos disponibles de AOD [4] de la estación Tucumán de AERONET. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la descripción de la estación y la cantidad de días y datos procesados.

TABLA 1: Cantidad de datos y días analizados.

Nombre de la estación	Tucumán
Latitud	26,787° S
Longitud	65,207° O
Altura	481 m
Fecha de instalación	15/11/2017
Fecha de último registro	18/12/2018
Período para el estudio	15/11/2017 al 18/12/2018
Cantidad de días de la estación instalada	384
Cantidad de días con datos	228
Cantidad de datos procesados	5563
Calidad de los datos procesados	Nivel 2

La cantidad de días con datos es menor a la cantidad de jornadas en que la estación estuvo instalada, esto se debe a que el equipo no registra medición en presencia de nubes o lluvia. Además por fallas técnicas del fotómetro no se efectuaron más que una medición por mes entre los meses de julio y agosto de 2018.

El espesor óptico de aerosoles (AOD) determina la carga total de aerosoles en columna total, es una magnitud adimensional que indica cuánto se atenúa la radiación solar, a una cierta longitud de onda, al atravesar la atmósfera. Con los datos de AOD medidos a diferentes longitudes de onda, es posible modelar su dependencia espectral mediante la Ley de Angstrom (1929) [5], ecuación (1), tras calcular el coeficiente de Angstrom. Este parámetro está relaciona-

do con el radio medio de las partículas. La ley propone que la variación espectral de la atenuación atmosférica debida a los aerosoles obedece a una función exponencial

$$AOD(\lambda) = \beta(\lambda_0) \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha}, \quad (1)$$

donde λ se expresa en μm , siendo $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$, $AOD(\lambda)$ es el espesor óptico de aerosoles en diferentes longitudes de onda, β es denominado parámetro de turbidez, el cual es proporcional al valor medio de la concentración de aerosoles y está relacionado con la visibilidad atmosférica [6, 7]. El coeficiente o exponente de Angstrom, α , está relacionado con la distribución cuadrática media de los radios de aerosoles correspondientes a los rangos micrométricos y sub-micrométricos variando entre $0 < \alpha < 4$, y donde 4 representa la difusión Rayleigh.

Para identificar el tipo de aerosol en suspensión, se utiliza la Tabla 2 [8], que presenta la clasificación de los diferentes tipos de aerosoles en función del AOD (440 nm) y del Coeficiente de Angstrom.

TABLA 2: Clasificación de aerosoles [8].

Tipo de aerosol	AOD 440 nm	Coeficiente de Angstrom
1. Continental Limpio	0,05 - 0,15	0,8 - 1,5
2. Continental Promedio	0,1 - 0,3	1 - 1,7
3. Continental Contaminado	0,08 - 0,3	1,5 - 2,5
4. Urbanos/Industriales	$> 0,25$	$> 1,2$
5. Desértico	$> 0,2$	$< 0,8$
6. Marítimo	$< 0,15$	$< 0,3$
7. Quema de Biomasa	$> 0,2$	1,5 - 2,6
8. Antártico	$< 0,1$	$< 0,8$

Para el análisis del evento de intrusión de aerosoles durante septiembre de 2018, se incorporan a los datos del fotómetro, datos de AOD en 550 nm del instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite TERRA [9, 10] y del monóxido de carbono (CO) en columna total, sensado por el TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) montado en el Sentinel-5P [11].

III. METODOLOGÍA y RESULTADOS

Estadística de los datos de AOD y Coeficiente de Angstrom para la estación Tucumán

Con los datos de AOD en 440 nm y de coeficiente de Angstrom calculado con las longitudes de onda de 870, 670, 500 y 440 nm, se realiza una estadística sencilla. Primero se determina el valor medio diario para cada variable y luego se determina la media mensual y su desvío estándar [10].

En la Fig. 4 se presenta el valor medio mensual y el desvío estándar del AOD en 440 nm para los meses de noviembre de 2017 a diciembre de 2018. Se puede observar valores altos en los meses de verano y se muestra el típico descenso de la variable en los meses de otoño e invierno. En el mes de mayo de 2018 se alcanza un valor de 0,12 que es aproximadamente la mitad de lo que se registra en el mes de noviembre de 2017 que es de 0,25. Los meses de julio y agosto no presentan barras de desvío por tener una sola medición.

En la Fig. 5 se calculó el histograma del AOD en 440 nm, mostrando que los valores presentan un sesgo hacia los valores entre 0,1 y 0,2.

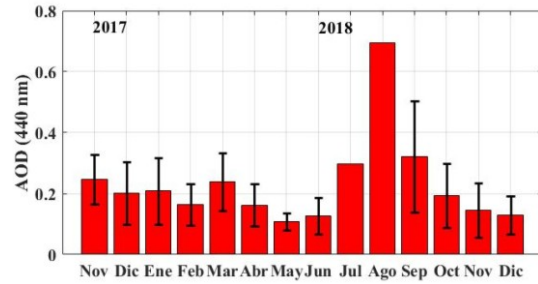


FIG. 4: Valor medio y desvío estándar del espesor del AOD (440 nm).

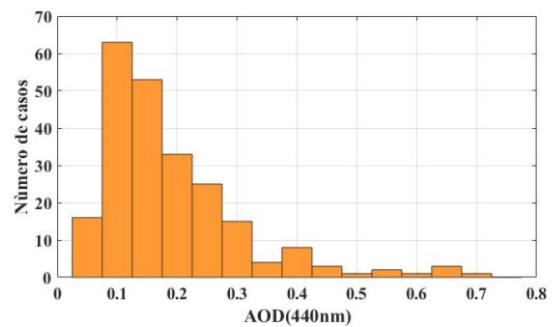


FIG. 5: Histograma del AOD (440 nm).

En la Fig. 6 se graficó el valor medio y desvío estándar mensuales del Coeficiente de Angstrom. Se puede observar que prácticamente los valores medios mensuales del coeficiente se mantienen en un intervalo entre 1 y 1,5 para todos los meses, indicando poca variabilidad del tipo de partícula en el aire. Los meses de julio y agosto no presentan barras de desvío por tener un solo valor del coeficiente debido a que solo se registró la medición de un solo día.

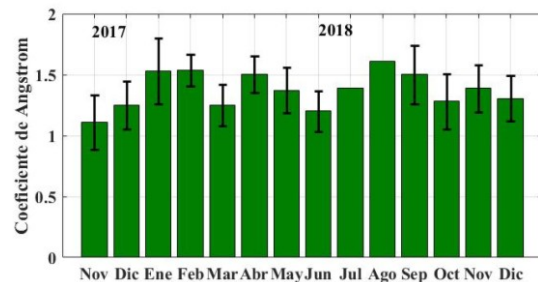


FIG. 6: Valor medio y desvío estándar del coeficiente de Angstrom.

El histograma del coeficiente de Angstrom, Fig. 7, indica que, prácticamente todos los días analizados presentan valores iguales o mayores a 1, indicando la presencia de partículas de radio medio de $1 \mu\text{m}$ o menor.

En la Fig. 8 se muestra el AOD en 440 nm versus el Coeficiente de Angstrom, este estilo de gráficos permite clasificar el tipo de aerosoles en suspensión en la atmósfera. Del análisis del gráfico se puede extraer que mayormente las partículas son del tipo Quema de Biomasa y Continental Contaminado, de acuerdo a la Tabla 2 de clasificación.

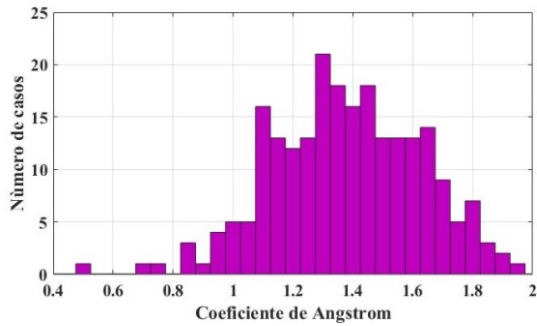


FIG. 7: Histograma del Coeficiente de Angstrom.

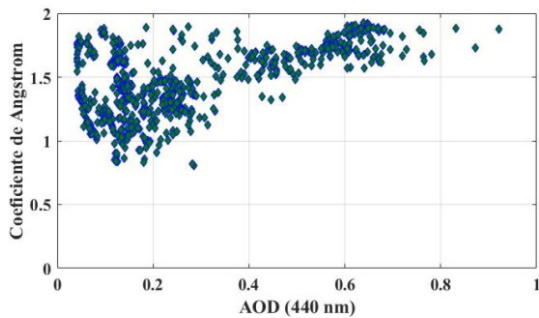


FIG. 8: Coeficiente de Angstrom vs. AOD (440 nm).

Evento de intrusión de aerosoles en septiembre 2018 medido en la estación AERONET Tucumán

Del 7 al 12 de septiembre de 2018 la estación registró una fuerte presencia de aerosoles en suspensión, registrando altos valores de AOD en todas las longitudes de onda. En la Fig. 9 se presenta la evolución temporal del AOD para todos los días con datos del mes de septiembre de 2018, en donde se observa que el 9 y 10 de septiembre tienen un AOD (440 nm) mayor a 0,5, es decir de los mayores valores registrados en la estación si lo comparamos con los resultados de la Fig. 5.

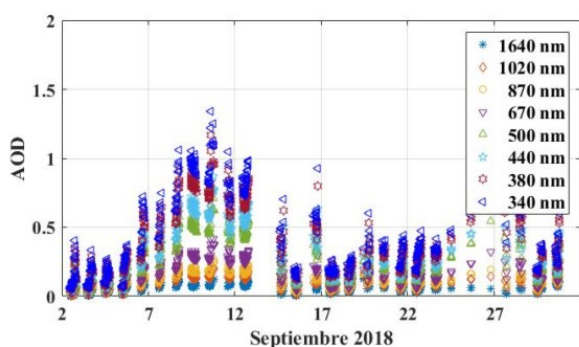


FIG. 9: Evolución temporal del AOD durante septiembre de 2018.

Para clasificar el tipo de aerosoles presentes cada día se grafica el coeficiente de Angstrom versus el espesor óptico en 440 nm [12]. Este gráfico se muestra en la Fig. 10, donde se pueden identificar que durante el mes de septiembre de 2018 los aerosoles son del tipo Quema de Biomasa y Continental Contaminado de acuerdo con la Tabla 2. Se nota que la firma que tiene este gráfico guarda total correlación con el gráfico de la Fig. 8 donde se graficaron todos los datos y no solamente un mes como en el caso de la Fig. 10, poniendo en evidencia que este tipo de aerosoles son totalmente

dominantes en la región.

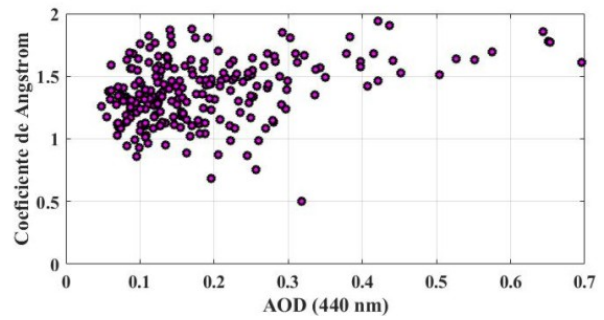


FIG. 10: Coeficiente de Angstrom vs. AOD (440 nm) para el mes de septiembre de 2018.

Para poder estudiar el evento en forma global, se presentan en las Figs. 11 y 12 las imágenes satelitales MODIS-TERRA en color verdadero para los días 9 y 10 de septiembre de 2018. En las imágenes se pueden observar en color blanco nubes meteorológicas y en color gris traslúcido las capas de humo en el centro de América del Sur y Norte de Argentina.

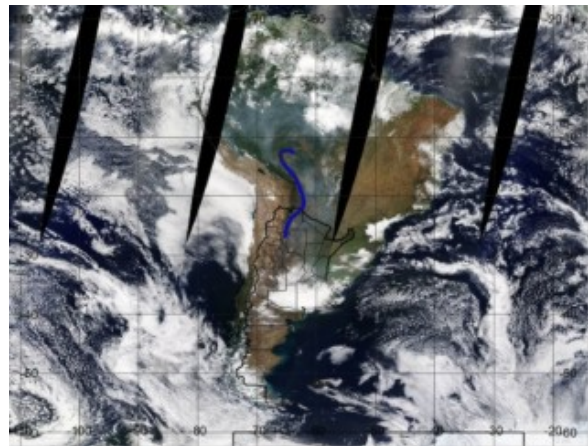


FIG. 11: Imagen satelital MODIS-TERRA en color verdadero y retrotrayectoria (línea azul) a 2 km de altura para el 9 de septiembre de 2018.

Si bien el evento tiene una importante contribución local, debido a las propias quemas que se producen en la provincia de Tucumán, analizando las imágenes, se puede apreciar que la región se ve afectada por el transporte de quema que se produce en países limítrofes. Para poder estudiar el transporte de humo se calcula con el modelo HYSPLIT/NOAA [13, 14] retrotrayectorias inicializadas a una altura de 2 km a las 12 hora local con una duración de 96 horas, para los días 9 y 10 de septiembre. El resultado del cálculo de las retrotrayectorias para cada día, se superpone sobre las imágenes satelitales correspondientes a las Figs. 11 y 12. Se puede observar que para ambos días, el origen de las masas de aire a 2 km de altura sobre la estación, provienen de la zona donde se observan las plumas de humo. Estas plumas generan además de gran cantidad de aerosoles en suspensión, un importante aumento de CO en la atmósfera en toda la región. En las Figs. 13 y 14 se grafica el AOD en 550 nm medido por MODIS-TERRA [9, 10] para los días 9 y 10 de septiembre. Se registraron en el píxel donde está instalada

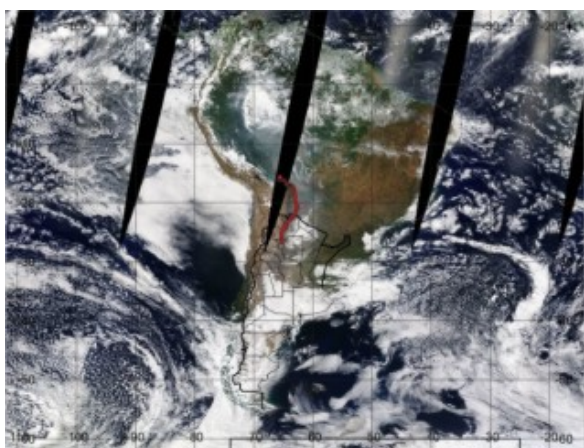


FIG. 12: Imagen satelital MODIS-TERRA en color verdadero y retrotrayectoria (línea roja) a 2 km de altura para el 10 de septiembre de 2018.

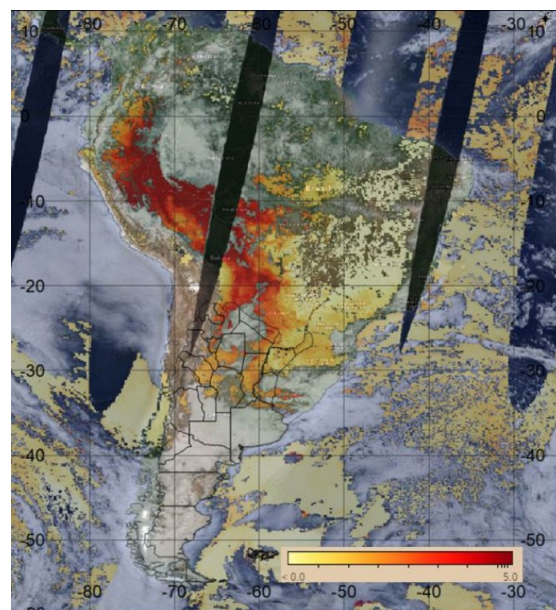


FIG. 14: AOD en 550 nm del MODIS-TERRA para el 10 de septiembre de 2018.

la estación, valores de AOD (550 nm) de 0,395 para el 9 y de 0,5 para el 10 de septiembre.

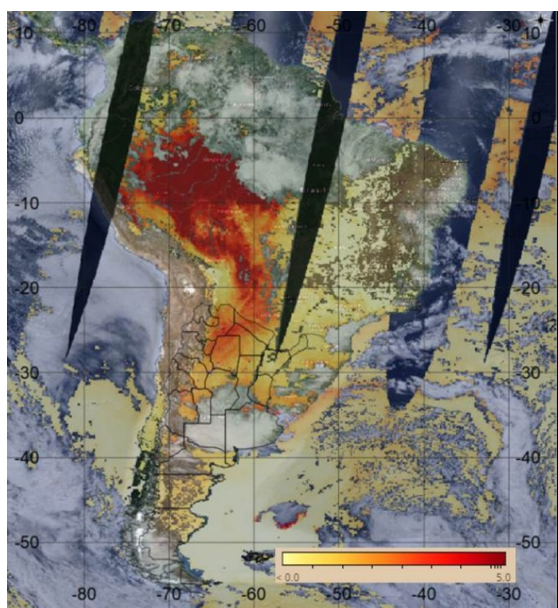


FIG. 13: AOD en 550 nm del MODIS-TERRA para el 9 de septiembre de 2018.

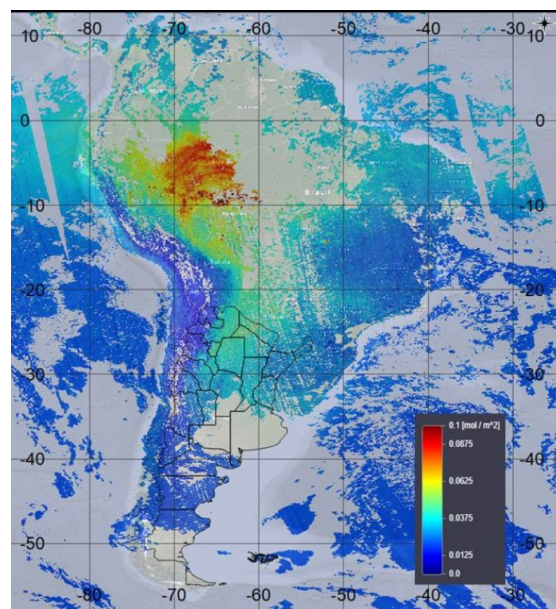


FIG. 15: CO en columna total del TOPOMI-Sentinel-5P para el 9 de septiembre de 2018.

El monóxido de carbono (CO) es un gas traza y un importante contaminante atmosférico. Las principales fuentes de CO son la combustión de combustibles fósiles, la quema de biomasa y la oxidación atmosférica de metano y otros hidrocarburos. Si se respira, aunque sea en moderadas cantidades, el CO puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos porque sustituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre. El instrumento TROPOMI en el satélite Sentinel-5P observa la abundancia global de CO en columna total [15, 16]. Las mediciones de CO se presentan en las Figs. 15 y 16 para los días 9 y 10 de septiembre respectivamente.

En la región de la ciudad de Tucumán se detectaron valores de $0,05 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2}$. Para expresar los valores de concentraciones de CO en ppm, a nivel del suelo, con los datos medidos por el Sentinel-5P en columna total troposférica, son necesarios datos adicionales como el perfil atmosférico del gas, la elevación del suelo, etc. La medición satelital cuantifica la cantidad de moléculas de CO en toda la tropósfera, para obtener una estimación de orden de magnitud para el CO en ppm, se puede dividir al valor medido por el sensor satelital por la altura de la tropósfera [16] y además, sabiendo que la masa molar es $28,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ [17, 18], se obtiene un valor estimado de 0,094 ppm para la ciudad de Tucumán. Los efectos del CO sobre la salud dependen de la concentración de CO, del tiempo de exposición y de la condición de la salud de cada individuo. La mayoría de las personas no sufren ningún síntoma por exposición prolongada a niveles de CO por

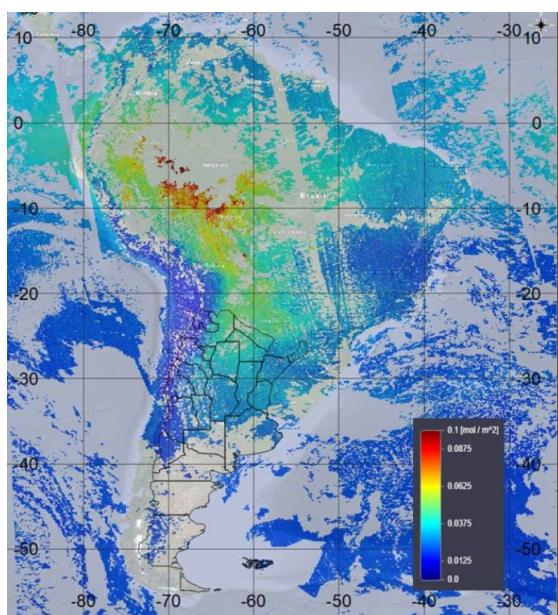


FIG. 16: CO en columna total del TOPOMI-Sentinel-5P para el 10 de septiembre de 2018.

debajo de 70 ppm [19, 20].

IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó un estudio estadístico de las mediciones que se obtuvieron en la estación AERONET Tucumán, dando como resultado que la estación presenta valores típicos de AOD entre 0,1 y 0,2 y un coeficiente de Angstrom en torno a 1,4 evidenciando que el tipo de aerosoles que caracteriza la estación es el de Quema de Biomasa y Continental Contaminado, según la Tabla 2 de clasificación.

Para completar el estudio de los aerosoles en la estación, se analizó un evento de intrusión de quema de biomasa detectado entre los días 7 y 12 de septiembre de 2018 por el fotómetro solar y por las mediciones satelitales MODIS/TERRA y TROPOMI/Sentinel-5P. Se puede destacar el transporte de columnas de humo sobre la ciudad de Tucumán provenientes del centro de América del Sur y Norte de Argentina, lo que origina que se eleven los valores del espesor óptico de aerosoles alcanzando para 440 nm valores máximos entre 0,8 y 0,9, un coeficiente de Angstrom entre 1,5 y 2 y un aumento de CO en suspensión en la atmósfera; gas de efecto perjudicial para la salud y el medioambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT, HYSPLIT/NOAA (Air Resources Laboratory (ARL)), UNDEF, Proyectos UNDEFI y Ministerio de Defensa por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico de NASA, CITEDEF y SMN, que han mantenido en funcionamiento el fotómetro solar de Tucumán y especialmente al Téc. Raúl D'Elia.

REFERENCIAS

[1] G. A. D'Almeida, P. Koepke y E. P. Shettle. *Atmospheric aerosols: Global climatology and radiative characteristics*. (A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 1991).

[2] B. Holben, T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak y A. Smirnov. AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.* **66**, 1-16 (1998).

[3] G. E. Shaw. Sun Photometry. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **64**, 4-10 (1983).

[4] O. Dubovik y M. King. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.* **105**, 20673-20696 (2000).

[5] A. Angstrom. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geogr. Ann.* **2**, 156-166 (1929).

[6] M. Iqbal. *An Introduction to Solar Radiation* ISBN: 978-0-12-373750-2 (Academic Press, 1983).

[7] W. Middleton y E. Knowles. *Vision through the Atmosphere* ISBN: 0802050662 (University of Toronto Press, Toronto, 1952).

[8] L. Otero, P. Ristori, B. Holben y E. Quel. Espesor óptico de aerosoles durante el año 2002 para diez estaciones pertenecientes a la red AERONET – NASA. *Opt. Pura Apl.* **39**, 355-364 (2006).

[9] R. C. Levy, L. A. Munchak, S. Mattoo, F. Patadia, L. A. Remer y R. E. Holz. Towards a long-term global aerosol optical depth record: applying a consistent aerosol retrieval algorithm to MODIS and VIIRS-observed reflectance. *Atmos. Meas. Tech.* **8**, 4083-4110 (2015).

[10] R. C. Levy, S. Mattoo, L. A. Munchak, L. A. Remer, F. Sayer A. M. and Patadia y N. C. Hsu. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmos. Meas. Tech.* **6**, 2989-3034 (2013).

[11] *Sentinel-5-precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Carbon Monoxide source: KNMI; ref:SRON-S5P-LEV2-MA-002* <https://sentinel.esa.int/documents/>.

[12] L. Otero, P. Ristori, M. García Ferreyra, M. Herrera, J. Bali, A. Pereyra, E. Martorella, S. Brusca, R. D'Elia, V. Fierro, G. Franchi, O. Vilar, J. Salvador, M. Raponi y E. Quel. Siete fotómetros de la red AERONET instalados en territorio argentino: análisis estadísticos de los datos y caracterización de los aerosoles. *Anales AFA* **29**, 78-82 (2018).

[13] A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen y F. Ngan. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **96**, 2059-2077 (2015).

[14] G. Rolph, A. Stein y B. Stunder. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environ. Model. Softw.* **95**, 210-228 (2017).

[15] T. Borsdorff, J. A. de Brugh, H. Hu, I. Aben, O. Hasekamp y J. Landgraf. Measuring Carbon Monoxide with TROPOMI: First Results and a Comparison With ECMWF-IFS Analysis Data. *Geophys. Res. Lett.* **45**, 2826-2832 (2018).

[16] J. Landgraf, J. aan de Brugh, R. Scheepmaker, T. Borsdorff, H. Hu, S. Houweling, A. Butz, I. Aben y O. Hasekamp. Carbon monoxide total column retrievals from TROPOMI shortwave infrared measurements. *Atmos. Meas. Tech.* **9**, 4955-2016 (2016).

- [17] T. Borsdorff, J. aan de Brugh, S. Pandey, O. Hasekamp, I. Aben, S. Houweling y J. Landgraf. Carbon monoxide air pollution on sub-city scales and along arterial roads detected by the Tropospheric Monitoring Instrument. *Atmos. Chem. Phys.* **19**, 3579-3588 (2019).
- [18] N. Nevers. *Air Pollution Control Engineering* ISBN: 978-1577666745 (McGraw-HILL, Singapore, 1995).
- [19] T. Godish. *Air Quality* ISBN: 0873713680 (Lewis Publishers, Michigan, 1991).
- [20] *Consumer Product Safety Commission* <https://www.cpsc.gov/>. is an official website of the United States government.