

# ANÁLISIS DE 12 AÑOS DE MEDICIÓN DE UN FOTOMETRO SOLAR DE LA RED AERONET INSTALADO EN FALDA DEL CARMEN, PROVINCIA DE CORDOBA.

## ANALYSIS OF 12 YEARS MEASUREMENTS OF AN AERONET SUNPHOTOMETER INSTALLED IN FALDA DEL CARMEN, PROVINCE OF CORDOBA

Lidia Ana Otero<sup>1,2</sup>, Pablo Roberto Ristori<sup>1</sup>, Juan Pallotta<sup>1</sup>, Ezequiel Pawelko<sup>1</sup>, Raúl D'Elia<sup>1</sup>, Eduardo Jaime Quel<sup>1,2</sup>

1. División Lidar, CEILAP, UNIDEF (MINDEF - CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351, - Juan Bautista de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli, Argentina.
2. IESE - Escuela Superior Técnica, Facultad de Ingeniería del Ejército – Av. Cabildo 15 – CABA. Argentina.

*e-mail: lotero@citedef.gob.ar lidia1116@gmail.com*

Recibido: 31/12/12; Aceptado: 08/07/13

El objetivo fundamental de este trabajo es determinar el tipo de aerosoles que caracteriza la región centro-norte de la Argentina, su comportamiento y su variabilidad interanual. Para ello se presenta un análisis estadístico de los datos obtenidos con un fotómetro solar que estuvo en funcionamiento durante doce años, (1999 - 2010), en la estación Córdoba – CETT de AERONET (NASA) instalada en el Centro Espacial Teófilo Tabanera, (31,5° S; 64,5° O) en Falda del Carmen, provincia de Córdoba. Se comparan estos resultados con los obtenidos en trabajos anteriores, realizados con un conjunto de datos correspondiente a los años 2000 y 2001. Se estudia la representatividad de las mediciones, su evolución y cambios que ha sufrido la región en los últimos años en cuanto a su carga aerosólica.

*Palabras claves: aerosoles, fotómetro solar, AERONET.*

The objective of this work is to determine the type of aerosols that characterizes the north-central region of Argentina, their behavior and interannual variability. This paper presents a statistical analysis of the data obtained with solar photometer was in operation for twelve years (1999 - 2010) in Córdoba station - CETT AERONET (NASA) installed in the Teófilo Tabanera Space Center, (31.5 ° S, 64.5 ° W) in Falda del Carmen, province of Cordoba. The results are compared with those obtained in previous work, performed with a data set for the years 2000 and 2001. The representativeness of the measurements, their evolution and the changes that the region has experienced during recent years in terms of aerosol load are studied.

*Keywords: aerosol, sunphotometer, AERONET.*

### I. INTRODUCCIÓN

Las propiedades ópticas de la masa de aire son una característica sensible a las mediciones con fotómetros solares, en las bandas de transmisión atmosféricas, ubicados tanto en superficie como en plataformas satelitales. En particular, dichas propiedades ópticas pueden ser utilizadas como elementos que permiten evaluar el impacto de procesos meteorológicos que generan episodios de contaminación ambiental. Por otro lado, si consideramos las mediciones ópticas en un lugar determinado, veremos que la estimación de las series temporales de parámetros ópticos contienen embebida la información de las diferentes escalas atmosféricas dominantes en el tiempo.

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis estadístico del espesor óptico de aerosoles medido por un fotómetro solar instalado en la provincia de Córdoba que pertenece a la red mundial AERONET de NASA para determinar las características ópticas de los aerosoles de la región.

### II. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACION AERONET DE CORDOBA

El programa AERONET (Aerosol RObotic NETwork) administrado por NASA [1], tiene como objetivo determinar características ópticas de los aerosoles y validar datos satelitales. La red está formada por más de 500 fotómetros solares instalados en estaciones estratégicamente distribuidas en todo el mundo. Esta red impone la estandarización de los instrumentos, de 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 en la página web de la red (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/index.html>): 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) [1].

Los fotómetros solares de la red son CIMEL y miden desde el infrarrojo al ultravioleta, típicamente en 1020, 870, 670, 500, 440, 380 y 340 nm y la línea de 940 nm que mide el contenido de agua precipitable.

El fotómetro solar realiza dos tipos de mediciones: directa y almucantar. Las mediciones directas de la radiación solar son realizadas cuando el colimador se orienta hacia el disco solar, manteniendo el ángulo de elevación y acimutal constantes. Con estas mediciones se calcula el espesor óptico de aerosoles (AOD) utilizando la ley de Beer-Lambert Bouguer [2]. El perfil de almucantar se obtiene realizando mediciones sobre todo el campo azimutal con un ángulo de elevación constante e igual al solar, es decir describiendo un cono. Con estas mediciones y técnicas de inversión [3, 4, 5, 6] se calculan como subproductos la distribución de tamaños de aerosoles, índice de refracción y “single scattering albedo”.

La estación Córdoba – CETT (31,5° S; 64,5° O; 730 m AGL) de AERONET, actualmente desactivada, estuvo instalada en Centro Espacial Teófilo Tabanera de CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). Este Centro se encuentra ubicado a aproximadamente 30 km al sudoeste de la ciudad de Córdoba, en Falda del Carmen, sobre la Ruta C45 km 8, en un predio abierto y con baja densidad de población, alejada de las industrias. La vegetación que la rodea es de tipo estepa, característica de la zona de las sierras cordobesas.

#### IV. RESULTADOS.

La estación comenzó a medir el 20 de octubre de 1999 y se desactivó el 2 de diciembre de 2010. Para la realización de este estudio estadístico se utilizaron los datos disponibles de AOD. Durante el período que la estación estuvo activa se registró un total de 2423 días medidos en nivel 1, de los cuales 2234 días pasaron a nivel 1,5 y 1668 días a nivel 2, que equivalen a 45442 datos disponibles de AOD en ese nivel, en cada banda que mide el fotómetro. La figura 1 muestra como se distribuye la cantidad de datos de AOD entre los años 1999 a 2010, pudiéndose notar que la distribución de datos por año es bastante inhomogénea, destacándose que durante 2007 sólo hay medidos 2 días del mes de enero y 4 del mes de febrero; durante el 2001 y 2008 sólo hay mediciones en noviembre y diciembre y solamente en los años 2004 y 2009 se registran datos los 12 meses.

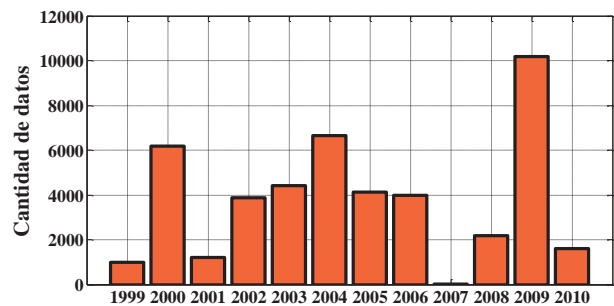


Figura 1. Distribución anual de la cantidad de datos disponibles.

En la figura 2 se muestra la evolución temporal de la media mensual del AOD en 440 nm (AOD (440 nm)) con su respectivo desvío estándar. Se utiliza la banda de 440 nm por que es una de las bandas visibles, los valores de AOD se encuentran comprendidos entre los valores del IR y UV y tradicionalmente la toman de referencia los trabajos realizados por los investigadores de NASA [7]. De todos modos, conclusiones semejantes se pueden obtener con cualquiera de las otras bandas, dado que la presencia de aerosoles afecta a todas las longitudes de onda en mayor o menor medida. Para la obtención de la media mensual y de la desviación estándar del espesor óptico de aerosoles se calculó primero una media diaria entre las 10.00 y las 14.00 hora solar, de tal manera que la influencia del espesor de la masa de aire sea mínima. No se han tenido en cuenta días con una sola medición por su baja representatividad estadística.

Se puede apreciar que el comportamiento del contenido de aerosoles es cíclico, obteniéndose un máximo en primavera – verano y un mínimo en invierno. Hay que tener en cuenta que las sierras cordobesas están afectadas por un clima templado con la presencia de un período seco, normalmente de mayo a septiembre, y otro lluvioso de octubre a abril. Además el período seco y vientos predominantes del norte dan las condiciones necesarias que favorecen el desarrollo de incendios forestales o quema de biomasa tanto de origen natural como antropogénico, o sea incendios de grandes extensiones de pastizales generados por la actividad del hombre. Durante el verano los efectos de convección atmosférica son más importantes y producen un aumento del contenido de AOD total.

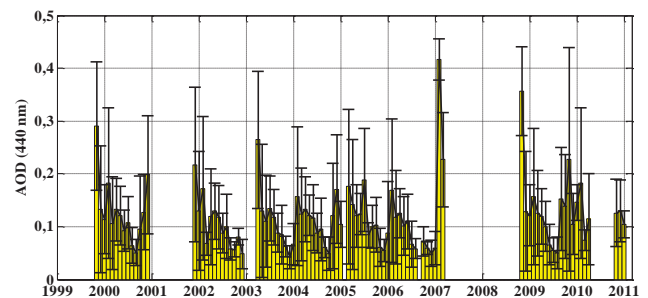


Figura 2. Evolución temporal de la media mensual y desviación estándar del espesor óptico de aerosoles en 440 nm.

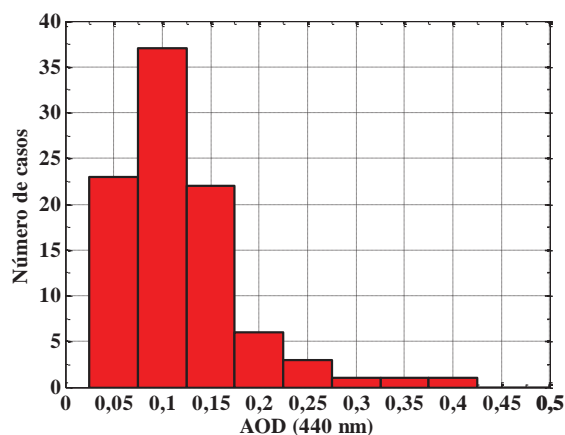


Figura 3. Histograma del espesor óptico de aerosoles en 440 nm.

El histograma, de las medias mensuales del espesor óptico de aerosoles en 440 nm presentado en la figura 2, se muestra en la figura 3. Se puede apreciar que el histograma está sesgado a los valores más bajos de AOD, la mayor parte de los casos se encuentran por debajo de 0,15, característico de una atmósfera limpia sin la presencia de aerosoles de tipo urbano o industrial, denominada continental limpio [7, 8, 9].

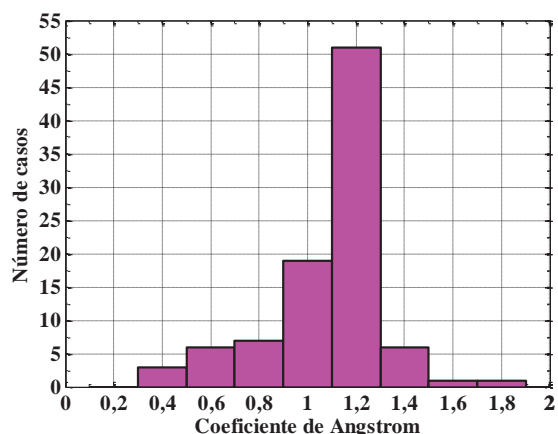


Figura 4. Histograma del Coeficiente de Ångström.

El coeficiente de Ångström que se calcula a partir de la inversión matricial del AOD medido en 870, 670, 500 y 440 nm [3, 4, 5] está relacionado con el radio cuadrático medio de las partículas [10, 11, 12]. El histograma de este coeficiente se muestra en la figura 4, en la cual se puede ver que la curva está centrada en los valores 1 y 1,2, típicos de una atmósfera limpia y sin intrusión de eventos de quema de biomasa o tormentas de polvo [7, 9, 13].

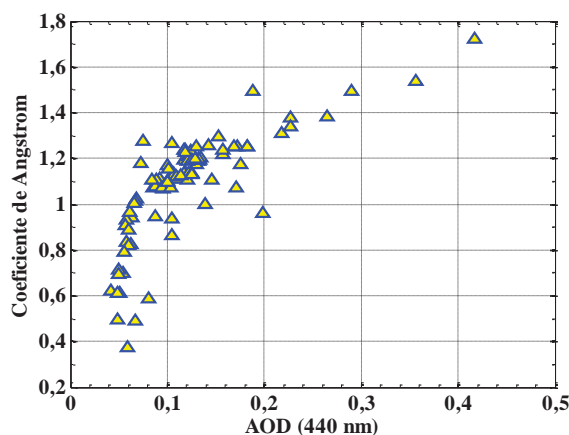


Figura 5. Coeficiente de Ångström versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm.

El gráfico de la figura 5 muestra el coeficiente de Ångström versus el AOD en 440 nm. Este tipo de gráfico permite clasificar los distintos tipos de aerosoles presentes utilizando la tabla publicada en [2]. En este caso, se ve que los aerosoles presentan básicamente características del tipo continental limpio, con AOD por debajo de 0,15 y coeficientes de Ångström en el entorno de 1. Los datos con espesores ópticos más elevados pertenecen a las categorías de continental promedio y contaminado [8, 9].

## V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizaron estadísticamente doce años de medición de un fotómetro solar instalado en la provincia de Córdoba y que formaba parte de la red AERONET de NASA. El estudio revela que los aerosoles presentes, en promedio, son del tipo continental limpio con baja presencia de humo y ninguna influencia de aerosoles urbanos o industriales. Este resultado es concordante con un trabajo previo que se publicara en 2004 [14] en donde sólo se analizaron los datos hasta el 2002, siguiendo la misma técnica utilizada en este trabajo. Esto significa que la región centro-norte de Argentina, en el transcurso de los años se ha mantenido en promedio las mismas características y propiedades en cuanto al contenido y carga aerosólica atmosférica. Cabe destacar, que como el análisis aquí realizado es de valores medios, eventos de baja duración temporal se ven enmascarados por las mediciones de los días circundantes.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT y CONAE por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico que ha mantenido en funcionamiento el fotómetro solar en la estación de Córdoba.

## VII. REFERENCIAS

- [1] - Holben, B., T. F. Eck, I. Lutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov. AERONET- A

- federated instrument network and data achieve for aerosol characterization. *Remote Sens.*, 12, 1147-1163, (1991).
- [2] - Iqbal, M. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, (1983).
- [3] - Dubovik, O., A. Smirnov, B. N. Holben, M. D. King, Y.J. Kaufman, T. F. Eck, and I. Slutsker, Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from AERONET sun and sky-radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, 105 (D8), 9791-9806, (2000).
- [4] - Dubovi, O., M. King. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, 105 (D16), 20673-20696, (2000).
- [5] - Dubovik, O., B. N. Holben, T. F. Eck, A. Smirnov, Y. J. Kaufman, M. D. King, D. Tanre, and I. Slutsker. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *J. Atm. Sci.*, 59, 590-608, (2002).
- [6] - Nakajima, T., Tanaka, M. And Yamauchi, T. Retrieval of the optical properties of aerosols from aureole and extinction data. *App Opt.*, 22, 2952-2959, (1983).
- [7] - Holben, B. N., D. Tanre, A. Smirnov, T. F. Eck, I. Slutsker, N. Abuhassan, W. W. Newcomb, J. Schafer, B. Chatenet, F. Lavenue, Y. J. Kaufman, J. Vande Castle, A. Setzer, B. Markham, D. Clark, R. Frouin, R. Halthore, A. Karnieli, N. T. O'Neill, C. Pietras, R. T. Pinker, K. Voss, and G. Zibordi. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET. *J. Geophys. Res.*, 106, 12,097-12,097, (2001).
- [8] - Hess, M., P. Koepke, I. Schult. Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (5), 831 - 844, (1998).
- [9] - Otero, L., P. Ristori, B. Holben, E. Quel. Espesor óptico de aerosoles durante el año 2002 para diez estaciones pertenecientes a la red AERONET – NASA. (Aerosol Optical Thickness at ten AERONET – NASA stations during 2002). *Opt. Pura Apl.*, 39 (4) 355-364, (2006).
- [10] - Ångström, A. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geografis Annal.*, 2,156-166, (1929).
- [11] - Shifrin, K.S. Simple relationships for the Ångström parameter of disperse systems. *App. Opt.*, 34, 21, 4480 – 4485, (1995).
- [12] - Ristori, P., J. Fochesatto, P. H. Flamant, E. Wolfram, E. Quel, R. Piacentini, B. Holben. Characterization of the Atmospheric Aerosols in the Buenos Aires Area using Sun Photometer Measurements. *Proc. SPIE*, Vol. 4419, 506-509. (2001).
- [13] - Eck, T. F., B. N. Holben, J.S. Reud, O. Dubovik, A. Siminov, N. T. O'Neill, I. Slutsker and S. Kinne. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols. *J. Geophys. Res.*, 104 (D24), 31333-31349, (1999).
- [14] - Otero, L., P. Ristori, J. Fochesatto, B. Holben, E. Quel. Estadística de la evolución de los aerosoles medidos en las estaciones de la red AERONET en Argentina desde 1999. *Anales AFA* (Asociación Física Argentina), Vol. 15, 323 - 328, (2004).