

# Mediciones en la patagonia argentina de espesor óptico de aerosoles con fotómetros solares de la red AERONET

## Aerosol optical thicknes measurements in patagonia argentina with AERONET sunpothometer network

L. A. Otero<sup>a,b</sup>, P. R. Ristori<sup>a</sup>, S. Papandrea<sup>a</sup>, J. Pallotta<sup>a</sup>, R. D'Elia<sup>a</sup>, E. J. Quel<sup>a,b</sup>

a. CEILAP, UNIDEF (MINDEF - CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351, - Juan Bautista de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli, Prov. Buenos Aires – Argentina

b. IUE - Escuela Superior Técnica, Facultad de Ingeniería del Ejército – Av. Cabildo 15 - C1426AAA – CABA. Argentina

Recibido: 14/04/15; aceptado: 02/11/15

A partir del 2012 se instalaron 4 estaciones de monitoreo atmosférico dedicadas a la detección de aerosoles en suspensión, básicamente provenientes de cenizas volcánicas y polvo en la Patagonia en el marco de un proyecto especial del Ministerio de Defensa. Estas estaciones tienen entre sus instrumentos fotómetros solares CIMEL que fueron integrados a la red mundial AERONET de NASA. En este trabajo se presenta un análisis estadístico de los datos obtenidos en las estaciones AERONET de: CEILAP-Bariloche, CEILAP-Comodoro, CEILAP-Neuquén, CEILAP-RG que forman parte de las nuevas estaciones instaladas por el proyecto y la estación de Trelew, instalada previamente en el 2005, para determinar el tipo de aerosoles que caracteriza la región patagónica, su comportamiento y variabilidad.

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

Since 2012 four air monitoring stations were installed in the framework of a special project of the Ministry of Defense to detect suspended aerosols, mainly from volcanic ash and Patagonian dust. These stations have among their instruments CIMEL sunphotometers which are integrated to the AERONET-NASA global network. This paper shows a statistical analysis of AERONET data from CEILAP-Bariloche, CEILAP-Comodoro, CEILAP-Neuquén, CEILAP-RG, the new stations installed by the project, and Trelew station, previously installed in 2005; to determine the aerosol type that characterizes the Patagonian region, its behavior and variability.

*Keywords: aerosol, sunphotometer, AERONET.*

### I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis estadístico del espesor óptico de aerosoles en la región visible, medido por fotómetros solares instalados en la Patagonia Argentina. Estos fotómetros fueron incorporados a la red mundial AERONET de NASA para determinar las características ópticas de los aerosoles de la región. Además forman parte, como instrumentos complementarios, de la red de estaciones de monitoreo de aerosoles desarrollada por el CEILAP UNIDEF (MINDEF-CONICET) bajo el marco de un Proyecto Especial del Ministerio de Defensa.

Las propiedades ópticas de la masa de aire son una característica sensible a las mediciones con fotómetros solares, dichas propiedades pueden ser utilizadas para evaluar y detectar episodios de contaminación ambiental en forma remota y en tiempo real.

### II. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES AERONET

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 600 fotómetros solares instalados en estaciones estratégicamente distribuidas en todo el mundo. 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. [1]. Los fotómetros solares de la red son CIMEL y miden entre desde el infrarrojo al ultravioleta, típicamente en 1020, 870, 670, 500, 440, 380 y 340 nm y la línea de 940 nm permite determinar 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 ángulo de elevación y acimutal constantes. El perfil de almucantar se obtiene realizando mediciones sobre todo el campo azimutal con un ángulo de elevación constante e igual al solar.

En la tabla 1 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones que se utilizarán para la realización de este trabajo. En las estaciones de CEILAP-Bariloche, CEILAP-Comodoro, CEILAP-Neuquén y CEILAP-RG, el instrumento se encuentra instalado en el techo de las estaciones de monitoreo que se encuentran en los aeropuertos patagónicos. A modo de ejemplo se muestra en las figuras 1 y 2 la estación de Comodoro Rivadavia. En la estación de Trelew el instrumento se encuentra instalado en el techo del Laboratorio de Física de la atmósfera de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

TABLA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES

Nombre de la estación	Ubicación	Lat, Long Altura
CEILAP-Bariloche	Aeropuerto de San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro	41° 08' S 71° 09' O 840m
CEILAP-Comodoro	Aeropuerto de Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut	45° 47' S 67° 27' O 49 m
CEILAP-Neuquén	Aeropuerto de Neuquén, provincia de Neuquén	38° 57' S 68° 08' O 271 m
CEILAP-RG	Aeropuerto de Río Gallegos, provincia de Santa Cruz	51° 36' S 69° 19' O 15 m
Trelew	Laboratorio de Física de la Atmósfera Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de la Patagonia, provincia de Chubut	43° 15' S 65° 18' O 15 m



Figura 1. Estación de monitoreo atmosférico instalada en el Aeropuerto de Comodoro Rivadavia.

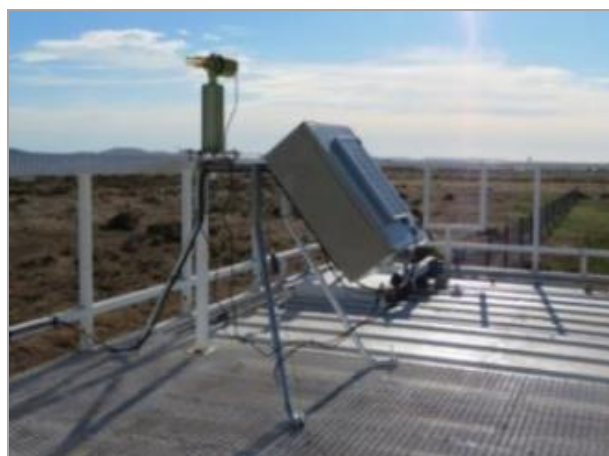


Figura 2. Fotómetro solar de la estación de monitoreo atmosférico instalada en el Aeropuerto de Comodoro Rivadavia.

#### IV. RESULTADOS.

Para la realización de este trabajo se utilizaron los datos de la red disponibles entre enero 2012 y agosto 2014. Se analizaron un total de 280 datos para la estación de CEILAP-Bariloche, 5210 para la de CEILAP-Comodoro, 5737 CEILAP-Neuquén, 4939 para CEILAP-RG y 12252 para Trelew. La diferencia

entre estaciones en cuanto el número de datos radica en dos factores fundamentales: primero el climático, ya que si el día es nublado con lluvia o nieve, el sistema no mide y el segundo es el correcto funcionamiento del equipo. En particular, la estación de San Carlos de Bariloche tuvo muchos inconvenientes técnicos, por eso reporta tan pocos datos.

Se analizaron los datos del espesor óptico de aerosoles (Aerosol Optical Thickness - AOT) en la región visible, en 440 nm, para determinar la carga aerosólica que tiene cada estación. Para una fácil visualización se grafica la distribución para cada una, en forma de histograma en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7. Se puede observar que en todos los casos más de 85 % de los datos son menores a 0,1, con un máximo en 0,05. Esto indica la presencia de muy baja cantidad de aerosoles en suspensión y una atenuación, por presencia de aerosoles, de la radiación solar directa de 10 %. Se resalta que hay muy pocos casos en que el valor del AOT supera el valor de 0,2.

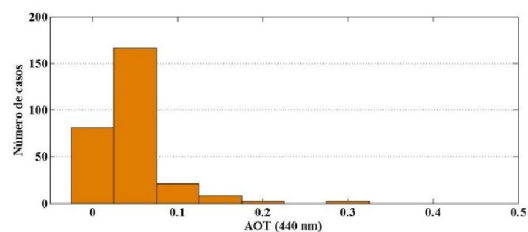


Figura 3. Histograma de distribución del AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Bariloche.

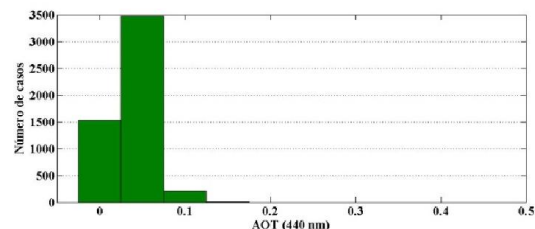


Figura 4. Histograma de distribución del AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Comodoro.

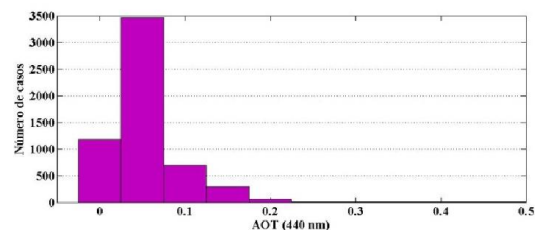


Figura 5. Histograma de distribución del AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Neuquén.

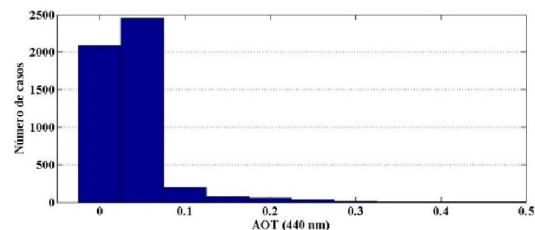


Figura 6. Histograma de distribución del AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-RG.

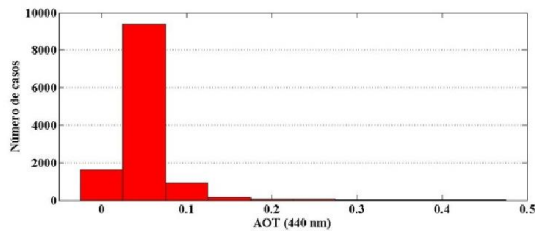


Figura 7. Histograma de distribución del AOT en 440 nm para la estación de Trelew.

La ley de Ångström [2] es una ley potencial que representa la variación espectral de la atenuación atmosférica debida a los aerosoles. El coeficiente de Ångström está relacionado con la distribución cuadrática media de los radios de aerosoles correspondientes a los rangos micrométricos y sub-micrométricos variando entre 0 y 4, donde 4 representa la difusión Rayleigh. Calculando este coeficiente en el rango 870 a 440 nm podemos clasificar si las partículas presentes son finas o gruesas. Para facilitar la comparación entre estaciones se grafican en las figuras 8 a 12 los histogramas de la distribución de dicho coeficiente. Se puede ver que en todos los casos el valor central está comprendido entre 0,5 y 1 y que el valor de corte superior es 1,5 salvo en la estación de CEILAP-Bariloche en donde se encuentran valores cercanos a 4 y algunos pocos casos en la estación de Trelew. Esto implica que en todas las estaciones predominan las partículas gruesas, mayores que 1  $\mu\text{m}$ .

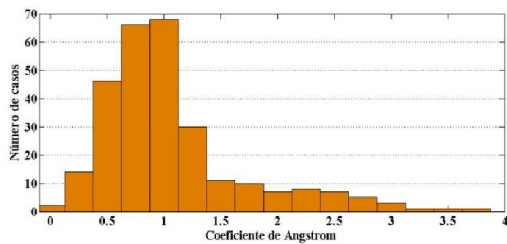


Figura 8. Histograma de distribución del Coeficiente de Ångström para la estación de CEILAP-Bariloche.

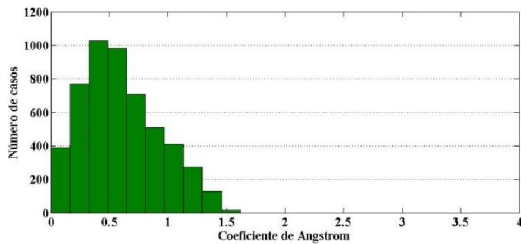


Figura 9. Histograma de distribución del Coeficiente de Ångström para la estación de CEILAP-Comodoro.

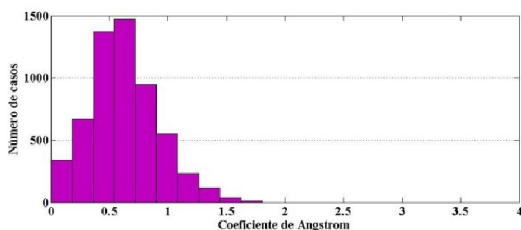


Figura 10. Histograma de distribución del Coeficiente de Ångström para la estación de CEILAP-Neuquén.

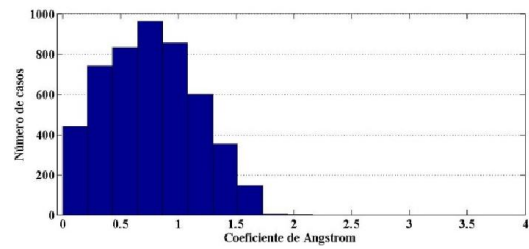


Figura 11. Histograma de distribución del Coeficiente de Ångström para la estación de CEILAP-RG.

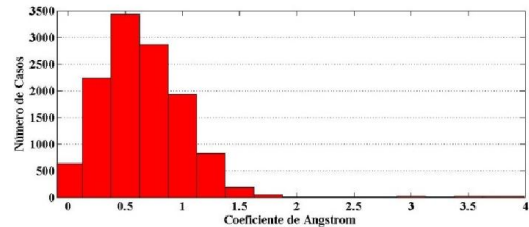


Figura 12. Histograma de distribución del Coeficiente de Ångström para la estación de Trelew.

Para poder clasificar el tipo de aerosoles presentes en cada estación se grafica en las figuras 13 a 17 el Coeficiente de Ångström versus el AOT en 440 nm.

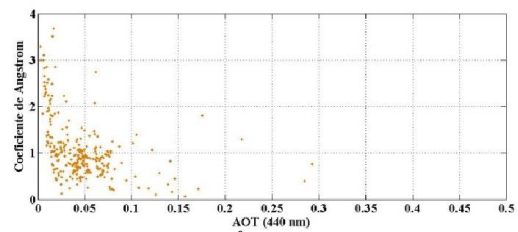


Figura 13. Coeficiente de Ångström versus AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Bariloche.

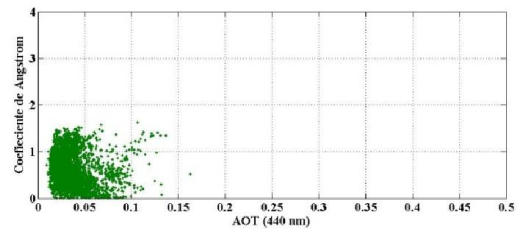


Figura 14. Coeficiente de Ångström versus AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Comodoro.

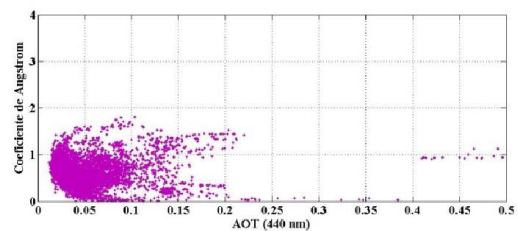


Figura 15. Coeficiente de Ångström versus AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-Neuquén.

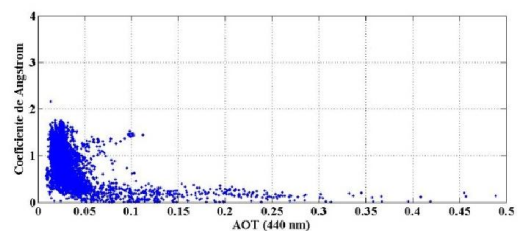


Figura 16. Coeficiente de Ångström versus AOT en 440 nm para la estación de CEILAP-RG.

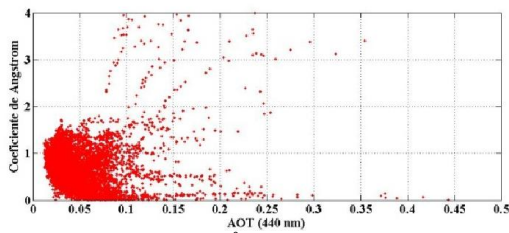


Figura 17. Coeficiente de Ångström versus AOT en 440 nm para la estación de Trelew.

Se puede observar que cada estación genera un patrón de distribución en el gráfico Coeficiente de Ångström versus el AOT en 440 nm. Con este gráfico y con la tabla de clasificación de tipos de aerosoles publicada en [3, 4] se puede inferir el tipo presente en cada estación. Se puede ver que los patrones guardan una gran semejanza entre estaciones, evidenciando que presentan el mismo tipo de partículas en suspensión. El tipo Continental Limpio ( $0,05 \leq AOT \leq 0,15$  y  $0,8 \leq Coef \text{ \AA}ng \leq 1,5$ ) se encuentra presente en las cinco estaciones y representa en todos los casos en mayor número de mediciones. Continental Promedio ( $0,1 \leq AOT \leq 0,3$  y  $1 \leq Coef \text{ \AA}ng \leq 1,7$ ) se observa en Bariloche, Neuquén y Trelew. Del tipo Marítimo ( $AOT \leq 0,15$  y  $Coef \text{ \AA}ng \leq 0,3$ ) en las estaciones de Comodoro, RG y Trelew. Los de tipo Antártico ( $AOT \leq 0,1$  y  $Coef \text{ \AA}ng \leq 0,8$ ) se presentan en Comodoro, RG, Trelew y algunos días en Bariloche. Finalmente el tipo Desértico ( $0,2 \leq AOT$  y  $Coef \text{ \AA}ng \leq 0,8$ ) en RG, Neuquén y Trelew. En la tabla 2 se resumen los tipos por estación.

TABLA 2: TIPO DE AEROSOL PRESENTES EN CADA ESTACIÓN

Nombre de la estación	Tipo de aerosol
CEILAP-Bariloche	Continental Limpio, Continental promedio, Antártico
CEILAP-Comodoro	Continental Limpio, Marítimo, Antártico
CEILAP-Neuquén	Continental Limpio, Continental promedio, Desértico
CEILAP-RG	Continental Limpio, Desértico, Antártico, Marítimo
Trelew	Continental Limpio, Continental promedio, Desértico, Marítimo, Antártico

## V. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis estadístico de los datos, en nivel 1,5, de cinco fotómetros solares instalados en la Patagonia Argentina perteneciente a la red AERONET. En todos los casos se puede observar que domina la presencia de partículas gruesas, mayores a  $1 \mu m$ . El tipo de aerosol denominado Continental, tanto en su modo Limpio como Promedio son los más frecuentes en la región. Se encuentran trazas del tipo Marítimo y Antártico en Trelew, RG y Comodoro y algunos pocos días del tipo Antártico en Bariloche. Se detectan pocas mediciones de características desérticas en Neuquén, RG y Trelew. Se puede observar que todas las estaciones presentan un AOT (Aerosol Optical

Thickness) en 440 nm centrado en 0,05 y un coeficiente de Ångström entre 0,5 y 1.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT y MINDEF por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico que mantienen en funcionamiento los fotómetros solares en las estaciones.

## VII. REFERENCIAS

- 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, A. Smirnov. Remote Sens. 12, 1147-1163, (1991).
- Ångström, A., Geografis Annal., 2,156-166, (1929).
- Otero L., P. Ristori, B. Holben, E. Quel. Opt. Pura Apl. 39 (4) 355-364, (2006).
- Otero, L., P. Ristori, J. Pallotta, E. Pawelko, P. Ballesteros, F. Orte, G. Nicora, M. Raponi, R. D'Elia, E. Wolfram, J. Salvador, D. Bulnes, E. Martorella, A. Pereyra, F. González, O. Vilar, J. Dworniczak, E. Quel. Anales AFA, 23 (1), 148 - 152, (2012).