

## Espesor óptico de aerosoles durante el año 2002 para distintas estaciones pertenecientes a la red AERONET – NASA

### Aerosol Optical Thickness For Different AERONET -NASA Stations During 2002

L. Otero<sup>1,4</sup>, P. Ristori<sup>2</sup>, F. Robledo<sup>3</sup>, B. Holben<sup>4</sup>, E. Quel<sup>1</sup>

1. CEILAP (CITEFA-CONICET) - Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli, Argentina.
  2. Laboratoire de Pollution de l'Air et du Sol, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
  3. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN), Universidad de Buenos Aires.
  4. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, U.S.A.
4. CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) Av. Paseo Colón 751, Capital.  
lotero@citefa.gov.ar

Se estudia la evolución durante el año 2002 del espesor óptico de aerosoles de diferentes estaciones AERONET: en Argentina, CEILAP-BA (-58.5, -34.5, 10 m) y Puerto\_Madryn (-65, -42.8, 15 m); en Brasil, Alta\_Floresta (-56, -9.9, 175m); en México, Mexico\_City (-99.2, 19.3, 2268m); y en Arabia Saudita, Solar\_Village (46.4, 24.9, 650 m). Se determina el tipo de aerosoles presentes en cada estación poniendo en evidencia comportamiento que tiene el espesor óptico de aerosoles versus el coeficiente de Ångström.

Palabras claves: aerosoles, fotómetro solar, espesor óptico.

The aerosol optical thickness evolution of different AERONET stations during 2002 were studied: in Argentina, CEILAP-BA (-58.5, -34.5, 10 m) and Puerto\_Madryn (-65, -42.8, 15 m); in Brazil, Alta\_Floresta (-56, -9.9, 175 m); in Mexico, Mexico\_City (-99.2, 19.3, 2268 m) and in Saudi Arabia, Solar\_Village (46.4, 24.9, 650 m). The aerosols type present in each station is determined putting in evidence the relationship between the aerosol optical thickness versus the Ångström coefficient.

Key words: aerosols, sun-photometer, optical thickness.

#### I. INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son una de las variables geofísicas menos estudiadas hasta el momento y sobre todo en el hemisferio sur. Los aerosoles pueden influir sobre el clima<sup>(1)</sup> en una gran cantidad de procesos, ya que producen calentamiento al absorber radiación o pueden provocar enfriamiento al reflejar parte de la radiación que incide en la atmósfera. Además el tamaño de los aerosoles tiene una función muy importante en la formación de distintos tipos de nubes ya que facilitan el proceso de condensación de vapor de agua en la atmósfera. En este trabajo se presenta un estudio comparativo de los aerosoles presentes en diferentes estaciones pertenecientes a la red mundial AERONET<sup>(2)</sup> durante el año 2002. Se han seleccionado estratégicamente para poner en evidencia los distintos tipos de partículas presentes en la atmósfera y verificar que la relación entre el espesor óptico de aerosoles ( $\tau$ ) y el coeficiente o exponente de Ångström ( $\alpha$ ) da información para distinguirlas. Cada estación está provista de un fotómetro solar calibrado con un proceso estandarizado de modo que sus datos pueden ser intercomparados.

#### II. ESTUDIO DE CASOS

En la Tabla I se presenta la ubicación geográfica de cada una de las estaciones en estudio. A continuación se da una descripción de cada una de ellas.

**CEILAP – BA:** se encuentra instalada en las afueras de la Ciudad de Buenos Aires, aproximadamente a 10 km

del centro. Esta influenciada por la actividad humana, dada la proximidad de una zona altamente urbanizada e industrializada.

**Puerto Madryn:** está ubicada en la región nororiental de la provincia del Chubut, a orillas del Golfo Nuevo y erigida al pie de las bardas de una meseta que alcanza los 120 metros sobre el nivel del mar. Esta altamente influenciada por la presencia de partículas salinas dada su proximidad con el mar y por ser una estación austral esta afectada por los vientos polares procedentes del continente antártico. Actualmente esta estación se encuentra desactivada.

**Alta Floresta:** esta ubicada en una zona con una alta densidad de vegetación denominada savanna, en la selva amazónica. Anualmente esta estación se ve influenciada por la quema proveniente de la agricultura o tala de árboles.

**México City:** esta estación se encuentra en una región plana de clima templado rodeada de montañas. Esta ciudad está altamente poblada e industrializada.

**Solar Village:** se encuentra en el centro de Arabia Saudita. Aproximadamente más de la mitad de la superficie del país es desierto. La mayor parte de Arabia Saudita se caracteriza por el calor extremo y aridez. En el país no existen ríos ni lagos permanentes.

En la Tabla II se presenta el número de días analizados y la cantidad de datos que estos días representan para cada estación para el año 2002. Los días puestos bajo estudio son claros y sin nubes, se seleccionan solamente los datos que pertenecen a la franja horaria entre las 10 y las 14 hora solar.

TABLA I				
Estación	País/Continente	Lat	Lon	Altura
CEILAP - BA	Argentina / América	34.5 S	58.5 O	10 m
Puerto Madryn	Argentina / América	42.8 S	65 O	15 m
Alta Floresta	Brasil / América	9.9 S	56 O	175 m
México City	México / América	19.3 N	99.2 O	2268 m
Solar Village	Arabia Saudita / Asia	24.9 N	46.4 E	650 m

TABLA II		
Estación	Días analizados	Cantidad de datos
CEILAP - BA	132	1023
Puerto Madryn	89	680
Alta Floresta	114	697
México City	61	202
Solar Village	252	3734

En las Figuras 1 a 5 se presentan los histogramas<sup>(3,4)</sup> de la evolución del espesor óptico de aerosoles para cada estación. Se puede observar que los valores máximos se presentan en la estación de México City y que todas presentan un máximo en primavera y verano. Esto puede ser debido a dos motivos<sup>5</sup>: 1) que en los meses más cálidos la capa de mezcla atmosférica es más alta que en el invierno ya que la inversión de temperatura por enfriamiento radiativo, durante la noche desde la superficie es mayor en la época estival 2) que generalmente coincide con la quema de biomasa que se realiza después de las cosechas. En cambio, presentan un mínimo en invierno.

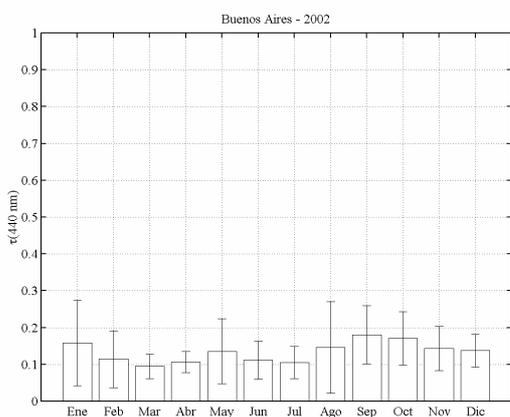


Figura 1. Histograma de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación CEILAP- BA (Argentina) para el año 2002.

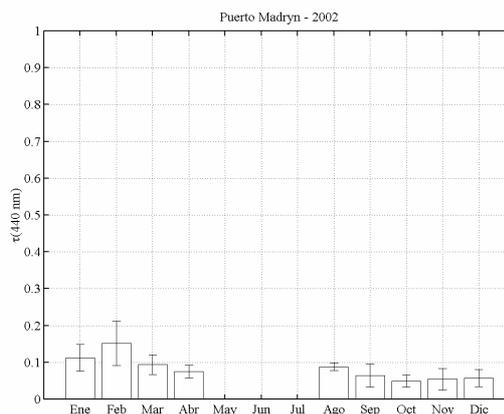


Figura 2. Histograma de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación Puerto Madryn (Argentina) para el año 2002.

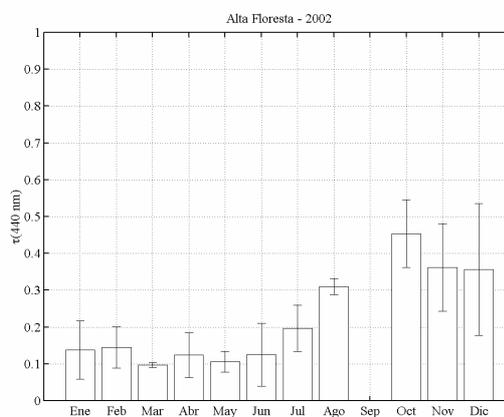


Figura 3. Histograma de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación Alta Floresta (Brasil) para el año 2002.

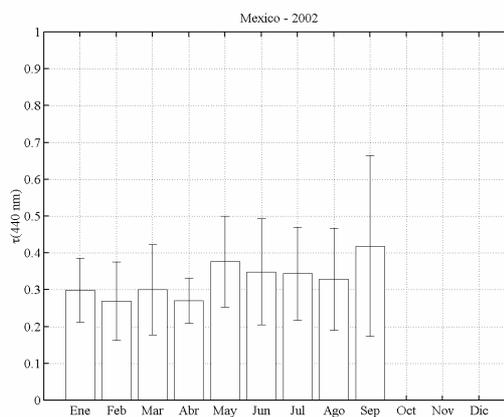


Figura 4. Histograma de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación México City (México) para el año 2002.

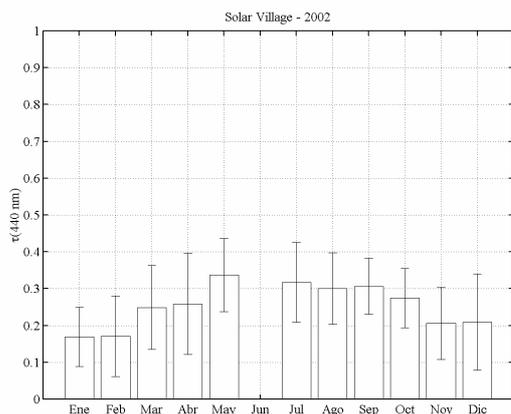


Figura 5. Histograma de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación Solar Village (Arabia Saudita) para el año 2002.

En la Tabla III se presenta el valor medio del espesor óptico de aerosoles para 440 nm para los períodos primavera – verano y otoño – invierno. Se puede observar que los valores de la ciudad de México duplican los valores de Buenos Aires.

TABLA III		
Estación	Primavera - Verano	Otoño - Inverno
CEILAP - BA	0.143	0.117
Puerto Madryn	0.086	0.022
Alta Floresta	0.222	0.160
México City	0.328	0.184
Solar Village	0.244	0.226

Con los datos presentados hasta el momento se puede estudiar la evolución anual de los aerosoles y su desviación del promedio, pero no se puede saber que tipo de aerosoles están presentes en cada estación. Para poder estudiar el tipo de aerosoles se calculó el exponente de Ångström para las longitudes de onda 380, 440, 500, 670 y 870 nm para todas las estaciones. En las Figuras 7 a 12 se presenta el coeficiente o exponente de Ångström ( $\alpha$ ) versus el espesor óptico de aerosoles para 440 nm ( $\tau(440 \text{ nm})$ ). Se puede apreciar que cada estación presenta una gráfica característica por medio de la cual es posible determinar el tipo de aerosoles presentes<sup>(3,4)</sup>.

En la Figura 6 se presenta  $\alpha$  versus  $\tau(440 \text{ nm})$  para la estación CEILAP-BA donde es posible apreciar tres zonas bien definidas<sup>(4,6)</sup> correspondientes a tres tipos de aerosoles presentes. El primer tipo es Continental Limpio, poco influenciado por de agentes antropogénicos. La segunda zona es Continental Promedio, en donde hay presentes aerosoles antropogénicos y polvo. La tercera, Continental Contaminado, con una gran influencia de aerosoles antropogénicos y de origen industrial. Esta última clase se encuentra principalmente en zonas altamente pobladas.

En la Figura 7 se presenta la estación de Puerto Madryn. Comparando este gráfico con los anteriores es posible observar la gran diferencia entre estaciones. Se pueden distinguir tres zonas, de las cuales dos de ellas tienen puntos en común ya que están estrechamente ligadas

como son los aerosoles Marítimos, con alto contenido de sales y los Antárticos, con sales y sulfatos. La tercera zona que presenta valores de  $\tau(440 \text{ nm}) < 0.05$  y  $1 < \alpha < 2$  puede deberse a una mezcla de aerosoles de origen industrial, polvo y arena.

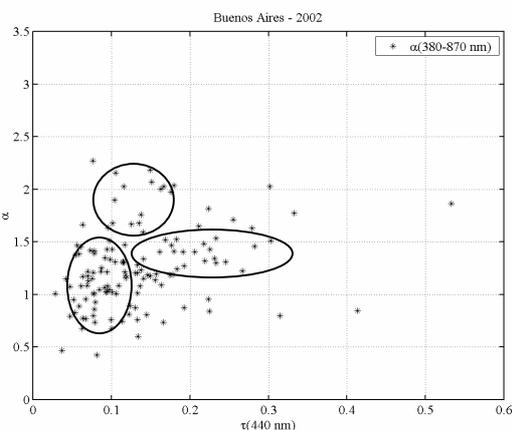


Figura 6. Espesor óptico de aerosoles a 440 nm versus el exponente de Ångström,  $\alpha$ , para la estación de CEILAP-BA (Argentina).

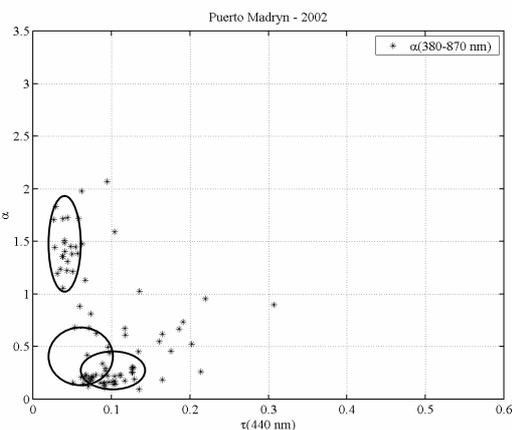


Figura 7. Espesor óptico de aerosoles a 440 nm versus el exponente de Ångström,  $\alpha$ , para la estación de Puerto Madryn (Argentina).

En la Figura 8 se presenta  $\tau(440 \text{ nm})$  versus  $\alpha$  para la estación de Alta Floresta. Se pueden distinguir dos zonas que corresponden a dos tipos de aerosoles. La primera es Continental Contaminado y la segunda Quema de Biomasa<sup>(6)</sup>. Este último tipo de aerosoles corresponde a aerosoles con un alto contenido de humo proveniente de la quema de vegetación, actividad muy frecuente en la zona.

En la Figura 9 se puede observar la relación entre el  $\tau(440 \text{ nm})$  y el  $\alpha$  para Mexico City. Se destaca un solo tipo de aerosoles Urbanos/Industriales<sup>(6)</sup> altamente contaminado y con influencia de una actividad antropogénica intensa. Este tipo de aerosoles se presenta en zona con una elevada densidad de población y gran cantidad de industrias.

La estación Solar Village se presenta en la Figura 10. En el gráfico se pueden observar tres zonas, correspondiendo a aerosoles Continental Limpio, Continental Promedio y Desértico. Este último tipo de aerosoles tienen fundamentalmente arena en su composición. Se puede ver una zona intermedia entre la

que corresponde a Continental Promedio y Desértico<sup>(3,6)</sup>, la cual puede deberse a una mezcla de ambos tipos.

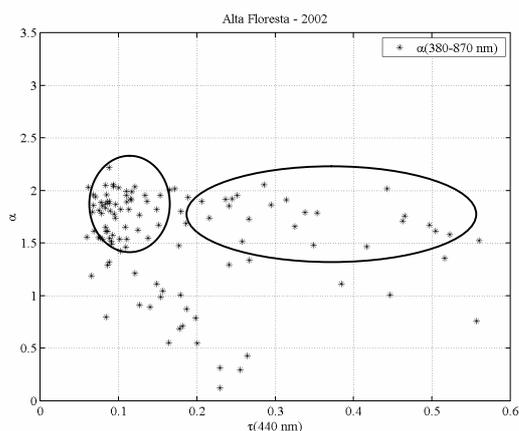


Figura 8. Espesor óptico de aerosoles a 440 nm versus el exponente de Ångström,  $\alpha$ , para la estación de Alta Floresta (Brasil).

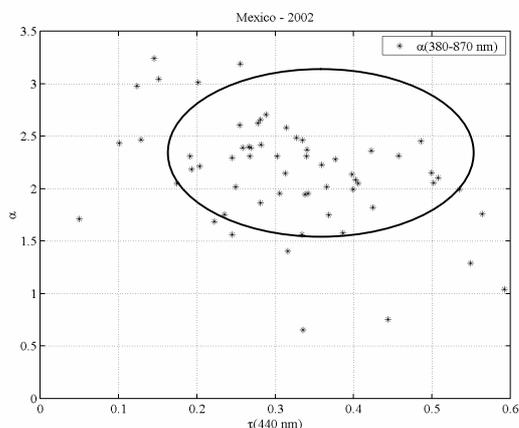


Figura 9. Espesor óptico de aerosoles a 440 nm versus el exponente de Ångström,  $\alpha$ , para la estación de México City (México).

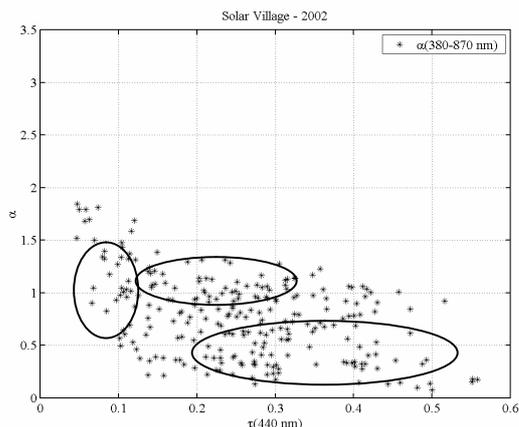


Figura 10. Espesor óptico de aerosoles a 440 nm versus el exponente de Ångström,  $\alpha$ , para la estación de Solar Village (Arabia Saudita).

### III. CONCLUSIONES

La relación entre el espesor óptico de aerosoles ( $\tau$ ) y el coeficiente o exponente de Ångström ( $\alpha$ ) dan información para poder distinguir el tipo de partículas

presentes. En la Tabla IV se presenta una clasificación de tipos de aerosoles y los valores de  $\tau$  y  $\alpha$  extraídos del análisis de estas estaciones.

TABLA IV		
Tipo	$\tau(440 \text{ nm})$	$\alpha$
Continental Limpio	0.05 – 0.15	0.8 – 1.5
Continental Promedio	0.1 – 0.3	1.3 – 2
Continental Contaminado	0.08 – 0.2	1.3 – 2.5
Urbanos/Industriales	> 0.2	1.5 - 3
Desértico	> 0.2	< 0.5
Marítimo	< 0.15	< 0.3
Quema de Biomasa	> 0.3	1.5 – 2.6
Antártico	< 0.1	< 0.8

Los valores mostrados en la Tabla IV corroboran los resultados publicados por Hess<sup>(7)</sup> y Dubovik<sup>(8)</sup>. De todos modos, los límites de estos valores son un poco difusos y pueden depender también de características particulares de la estación a estudiar.

### IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT, CONAE y especialmente al Dr. Marcos Machado por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

### V. REFERENCIAS

- Andreae M. O., "Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels in World Survey of Climatology" vol 16, Future Climates of the World, A. Henderson-Sellers, 341-392 Elsevier, New York, (1995).
- Holben B., T. F.Eck, I. lutsker, D.Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak, and A. Smirnov, "AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization", *Remote Sens.* 12, 1147-1163, (1991).
- 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.
- Otero L. A., P. Ristori, E. Quel. "Estadística de la Evolución de los Aerosoles Medidos en las Estaciones de la Red AERONET en Argentina desde 1999". AFA, 2004.
- Iribarne, J. V. "Termodinámica de la atmósfera". Eudeba, (1964).
- 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, 31, 333-349, (1999).
- Hess M., P. Koepke, I. Schult, "Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC" *Bulletin of the American Meteorological Society* 831 - 844 Vol. 79, No. 5, (1998).
- Dubovik, O., B.N.Holben, T.F.Eck, A.Smirnov, Y.J.Kaufman, M.D.King, D.Tanre, and I.Slutsker, 2002: Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations, *J.Atmos.Sci.*, **59**, 590-608