

ESTADÍSTICA DE LA EVOLUCIÓN DE LOS AEROSOLES MEDIDOS EN LAS ESTACIONES DE LA RED AERONET EN ARGENTINA DESDE 1999

L. A. Otero^{1,5}, P. R. Ristori², G. J. Fochesatto³, E. J. Quel¹, B. Holben⁴

(1) CEILAP (CITEFA-CONICET) - San Juan B. De La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli-Argentina.

(2) Laboratoire de Pollution de l'Air et du Sol, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, Suisse.

(3) Chemistry Department University of Waterloo. Waterloo, Ontario, Canada

(4) NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, U.S.A.

(5) Becaria CONAE.

lotero@citefa.gov.ar

La red AERONET (Aerosols Robotic Network) de la NASA tiene instalados en el territorio argentino tres fotómetros solares ubicados en las siguientes provincias: de Córdoba, CETT (Centro Espacial Teófilo Tabanera), CONAE, (31.5° S, 64.4° W), de Buenos Aires, CEILAP (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones), CITEFA (34.5° S, 58.5° W) y de Chubut, Puerto Madryn (42.78° S, 65.0° W). Se presentan análisis estadísticos de la evolución de todos los datos disponibles desde 1999, del espesor óptico de los aerosoles y del cálculo del coeficiente de Ångström para dos de las estaciones nombradas. Esto permite identificar las diferentes masas de aire con el fin de caracterizar los tamaños de las partículas en suspensión de la atmósfera.

AERONET (Aerosols Robotic Network) NASA has installed in Argentina three solar photometers in the following provinces: Cordoba, CETT (Space Center Teófilo Tabanera), CONAE, (31.5° S, 64.4° W), Buenos Aires, CEILAP - CITEFA (34.5° S, 58.5° W) and Chubut, Puerto Madryn (42.78° S, 65.0° W). Statistical analyses of the evolution of all the data available from 1999, aerosols optical thickness the Ångström coefficient for two stations are shown. This allows to identify the different air masses with the purpose of characterizing the sizes of particles in the atmosphere.

I. INTRODUCCIÓN

En la atmósfera permanecen suspendidas sustancias muy distintas como partículas de polvo, polen, hollín, metales (plomo, cadmio), sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, etc. Se suele utilizar la palabra aerosol para referirse a estos materiales muy pequeños, sólidos o líquidos suspendidos en la atmósfera. Según su tamaño y las propiedades aerodinámicas del fluido en que se encuentren, pueden permanecer suspendidas en la atmósfera desde uno o dos días, los de 10 micrómetros o más y hasta varios días o semanas, los más pequeños. Algunas de estas partículas son especialmente tóxicas para los humanos y, en la práctica, los principales riesgos para la salud humana por la contaminación del aire provienen de este tipo de polución, especialmente abundante en las grandes ciudades. Los aerosoles pueden influir sobre el clima en una gran cantidad de procesos. Pueden producir calentamiento al absorber radiación o pueden provocar enfriamiento al reflejar parte de la radiación que incide en la atmósfera.

Los aerosoles primarios son emitidos a la atmósfera directamente desde la superficie del planeta, proceden principalmente de: los volcanes, la superficie oceánica, los incendios forestales, polvo del suelo, origen biológico (polen, hongos y bacterias) y causas antropogénicas. Los aerosoles secundarios se forman en la atmósfera por diversas reacciones químicas que afectan a gases, otros aerosoles, humedad, etc. Entre los aerosoles secundarios más abundantes están los iones sulfato, la mitad de los cuales tienen su origen en emisiones producidas por la actividad humana. Otro componente importante de la fracción de aerosoles secundarios son los iones nitrato y silicato.

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis estadístico de los parámetros físicos de los aerosoles medidos en Argentina para poder discriminar el tipo de masa de aire presente.

II. LA RED AERONET

La red AERONET de NASA⁽²⁾ realiza el monitoreo de aerosoles en forma periódica y global empleando fotómetros solares estandarizados, con más de 389 equipos en funcionamiento en la actualidad estratégicamente distribuidos a lo largo del planeta. Mediante el Convenio NASA-CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) se han instalado tres de estos equipos en el país. Uno de ellos se encuentra ubicado en el CEILAP (CITEFA - CONICET) (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones) (34.5° S, 58.5° W). Los otros dos se encuentran uno en Córdoba, en el Centro Espacial Teófilo Tabanera en Falda del Carmen (31.5° S, 64.4° W) y el otro en Puerto Madryn (42.78° S, 65.0° W). Estos instrumentos efectúan mediciones del espesor óptico de aerosoles (τ) en 1020 nm, 870 nm, 670 nm, 500 nm, 440 nm, 380 nm, 340 nm y del agua precipitable en 940 nm. Dichas mediciones son de fundamental importancia para comprender las evoluciones temporal y espacial del contenido de aerosoles en la atmósfera y para estudiar su influencia en los procesos radiativos y de contaminación. Es posible a través de esta red mundial conocer la integración de la masa de aire local en la atmósfera efectuando un análisis combinada entre instrumentos en superficie y plataformas satelitales.

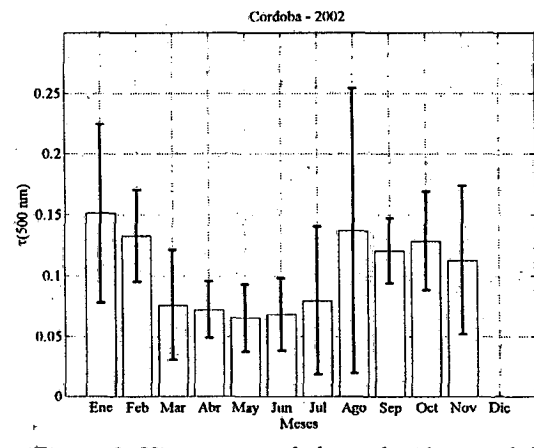
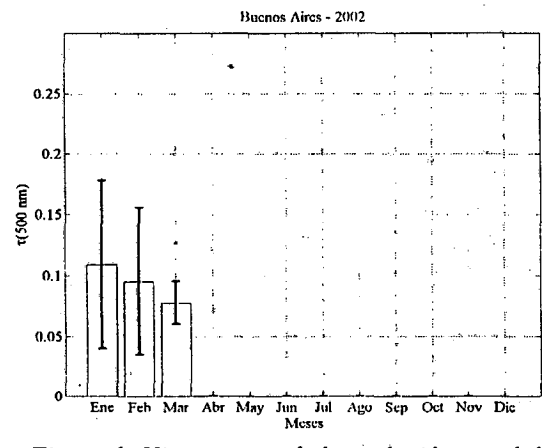
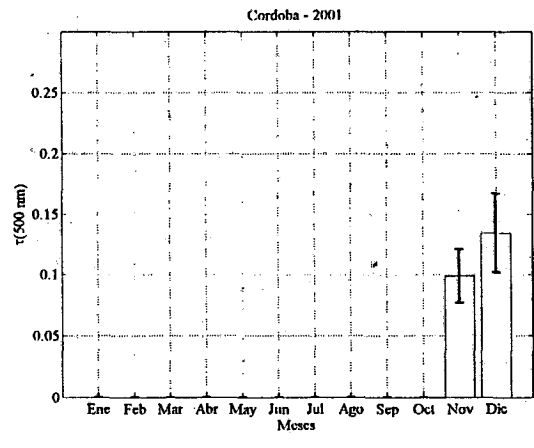
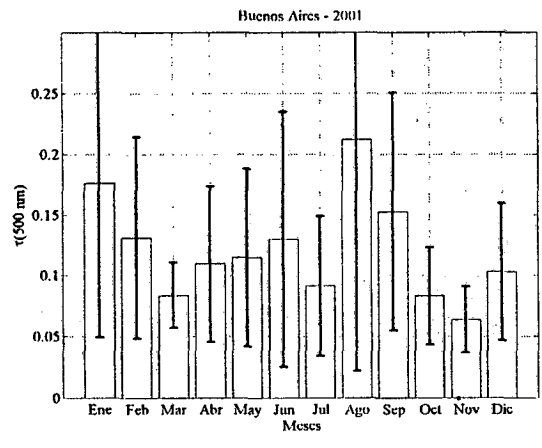
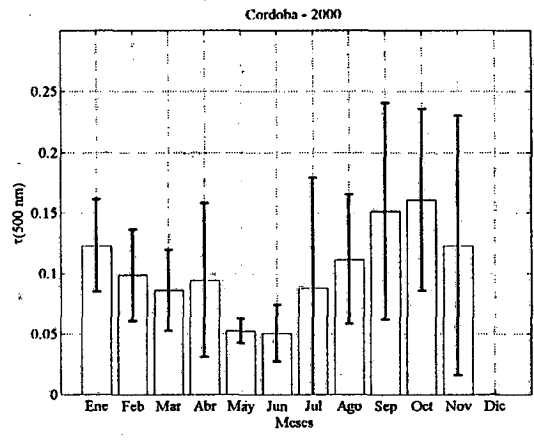
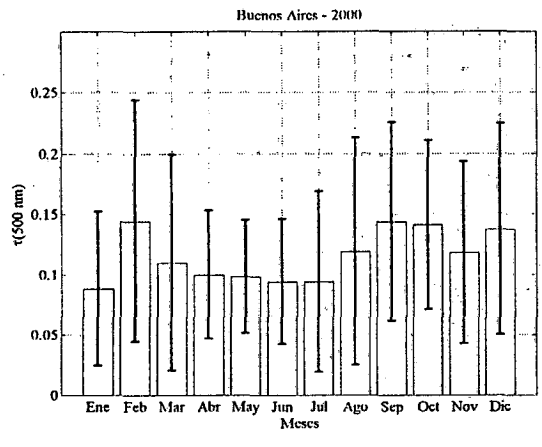
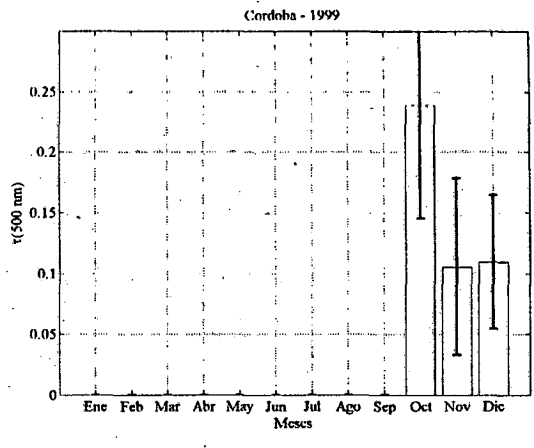
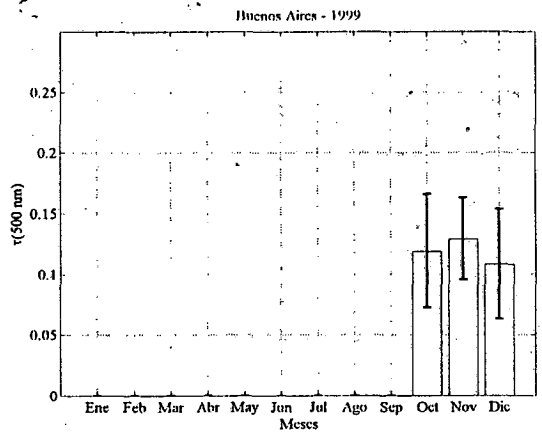


Figura 1. Histogramas de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación de Buenos Aires para los años 1999 al 2002.

Figura 2. Histogramas de la evolución anual del espesor óptico de aerosoles para la estación de Córdoba para los años 1999 al 2002.

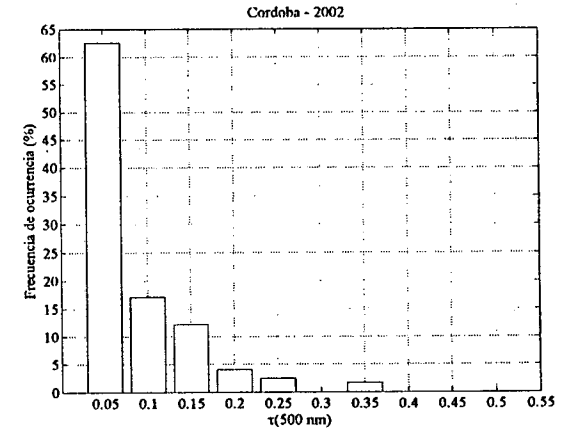
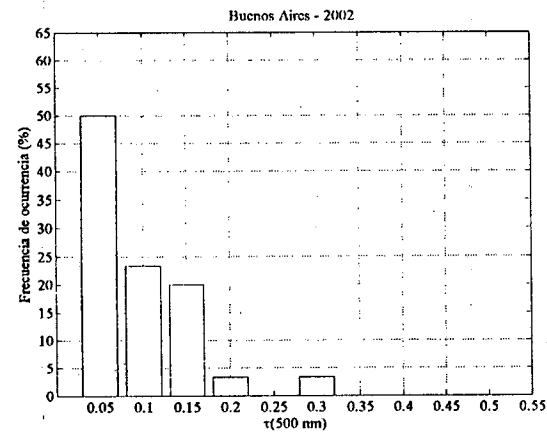
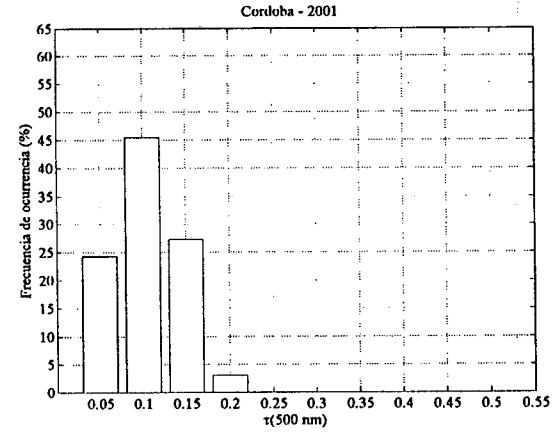
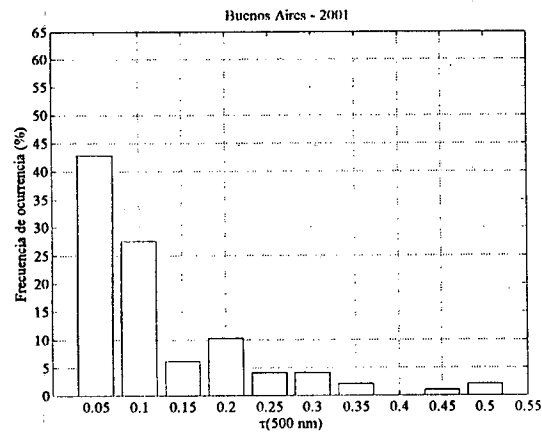
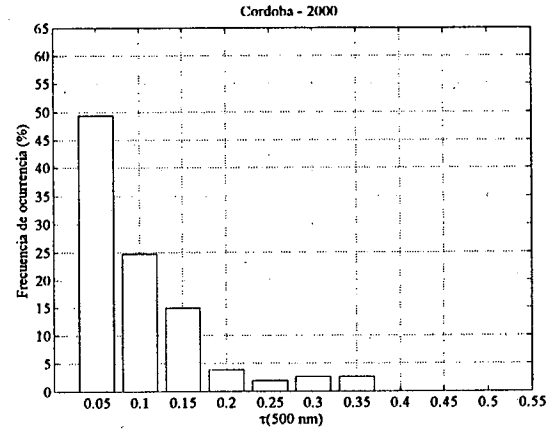
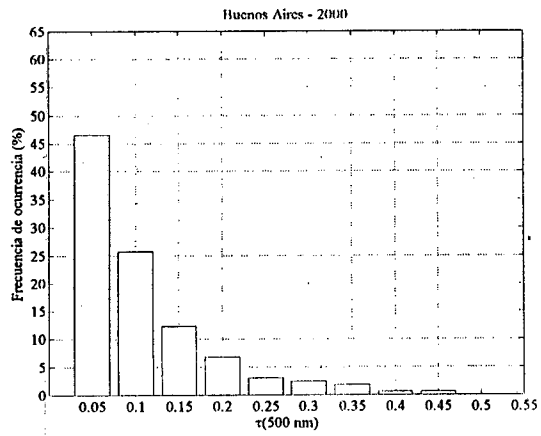
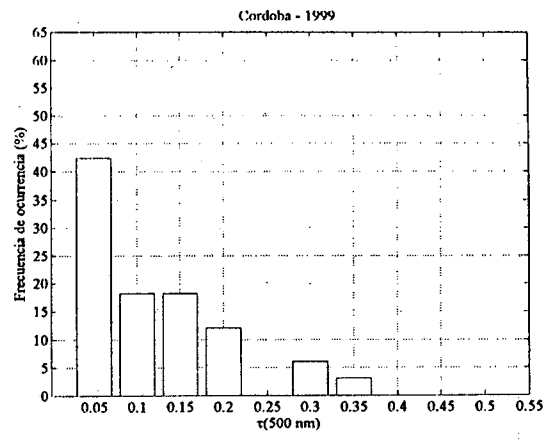
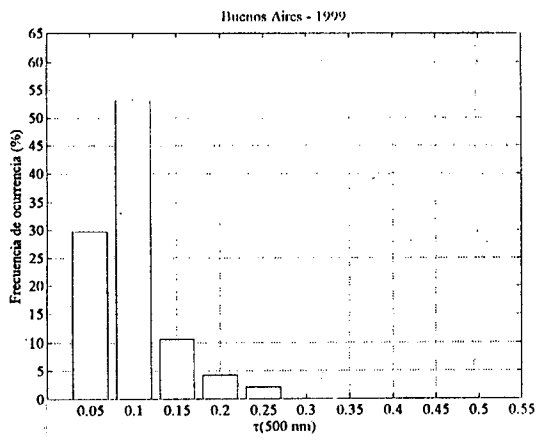


Figura 3. Histogramas de distribución del espesor óptico de aerosoles a 500 nm para la estación de Buenos Aires para los años 1999 al 2002.

Figura 4. Histogramas de distribución del espesor óptico de aerosoles a 500 nm para la estación de Córdoba para los años 1999 al 2002.

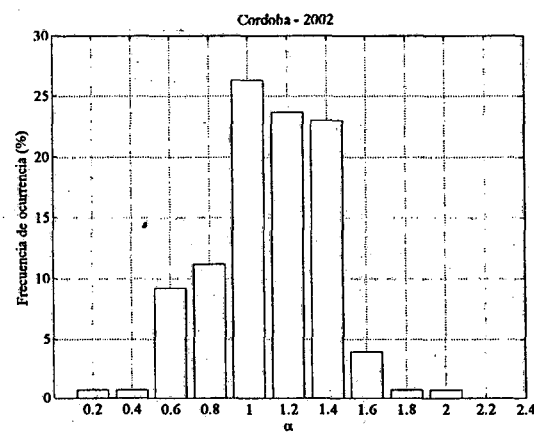
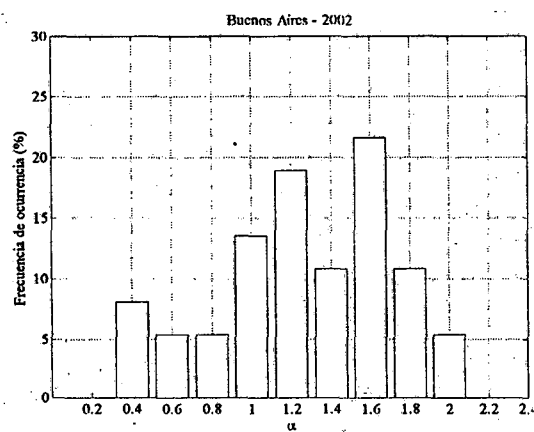
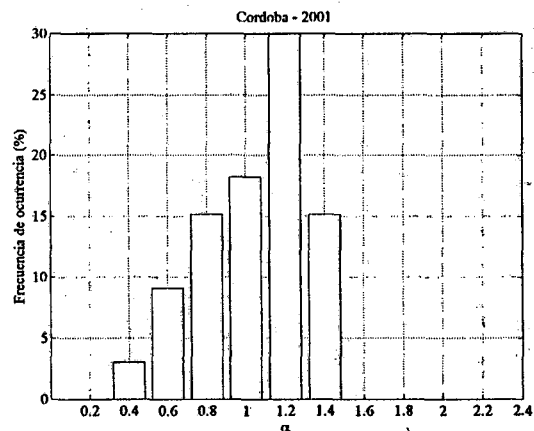
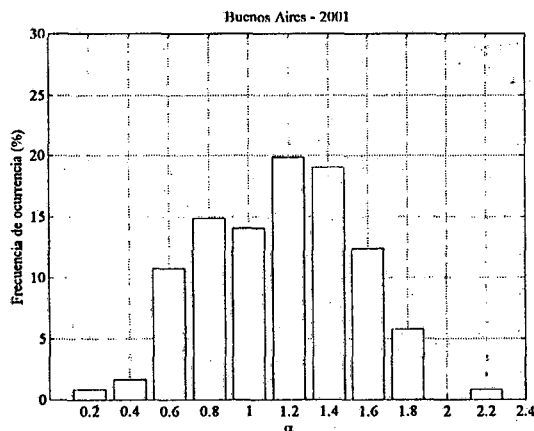
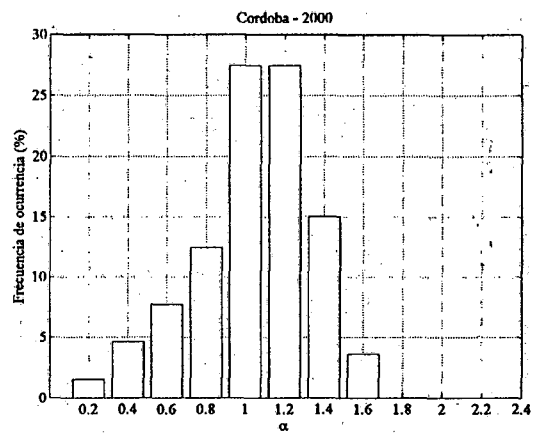
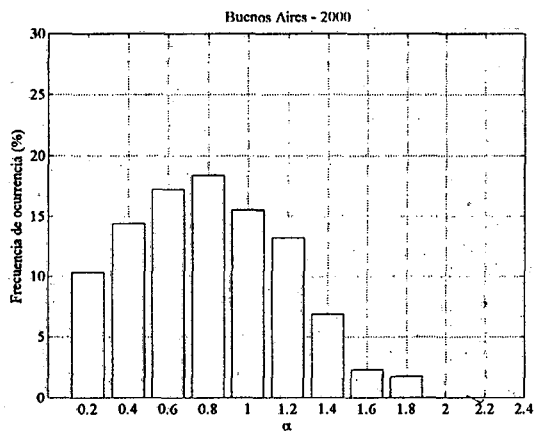
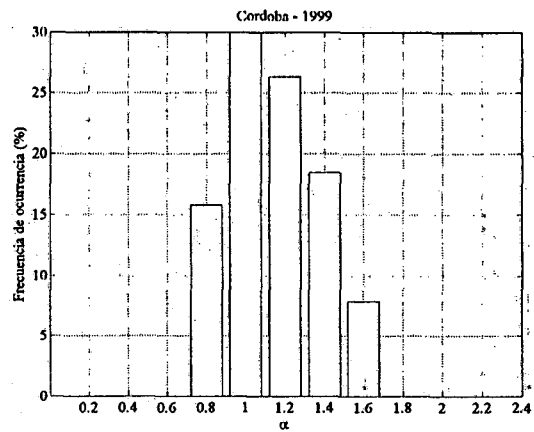
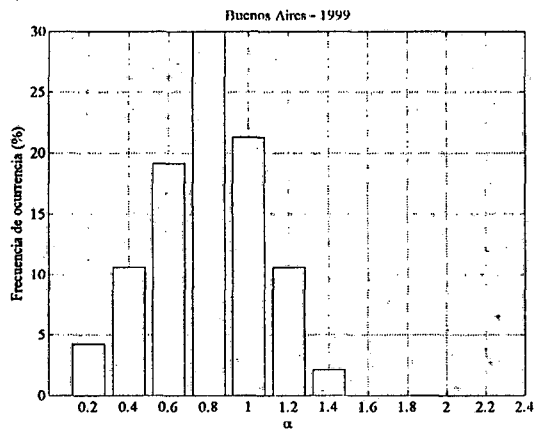


Figura 5. Histogramas de distribución del exponente de Ångström, α para la estación de Buenos Aires para los años 1999 al 2002.

Figura 6. Histogramas de distribución del exponente de Ångström, α para la estación de Córdoba para los años 1999 al 2002.

El fotómetro solar realiza tres tipos de mediciones: directa al sol, almucantar y planos principales. El perfil de almucantar se obtiene realizando mediciones sobre todo el campo azimutal con un ángulo de elevación igual al solar. Las mediciones de plano principal barren el cielo variando el ángulo de elevación.

III. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Con el fin de observar la evolución de los aerosoles en dos de las estaciones de AERONET de la Argentina^{(3), (4)}, se realizó un estudio estadístico del compartimiento del espesor óptico de aerosoles (τ) y del coeficiente α de la Ley de Ångström, el cual está ligado directamente con el radio medio de los aerosoles.

Para realizar este estudio se cuentan con datos desde 1999 hasta 2002, con un total de 27 meses para la estación de Córdoba que están representados por 416 días con un total de 4427 registros analizados entre las 10 y las 14 hora local y 30 meses para la estación de Buenos Aires, con 396 días y 3489 registros en el mismo intervalo de tiempo, ver Tabla I.

TABLA I

Año	Buenos Aires		Córdoba	
	Días	Registros	Días	Registros
1999	48	302	38	230
2000	190	1708	193	1942
2001	121	1146	33	350
2002	37	333	152	1905
Total	396	3489	416	4427

Para la obtención de la media mensual y de la desviación estándar del τ 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 observar en la Figura 1 y 2 como el τ se modifica a lo largo del año obteniéndose un mínimo en invierno y un máximo en primavera y verano.

Para el cálculo del parámetro α , se siguieron los mismos criterios de selección: primero se seleccionaron los datos entre las 10.00 y las 14.00 hora solar. Con ellos se calculó el coeficiente mediante técnicas de inversión de la de la Ley de Ångström y luego se calculó la media diaria. En la Figura 5 y 6 se observa un histograma para cada año, que ponen en evidencia la existencia de diferentes tipos de partículas en suspensión en cada estación. Cuanto más grande es el valor de α , más pequeño será el radio medio de las partículas presentes⁽⁷⁾.

IV. RESULTADOS

En las Figuras 1 y 2 se muestra el promedio mensual y la desviación estándar del espesor óptico de aerosoles para 500 nm ($\tau(500\text{nm})$), obteniéndose una importante variabilidad durante el año. En las Figuras 3 y 4 la frecuencia de distribución del espesor óptico para 500 nm ilustra claramente que el 80 % de los días analizados para ambas estaciones esta por debajo de 0,1.

La frecuencia de distribución del coeficiente de Ångström^{(5), (6)}, en la Figura 5, muestra un rango

dominante de valores entre 0,6 – 1 para la estación de Buenos Aires para el año 1999, con un 70 % de los casos, para el año 2000 se conserva el rango de valores de α , pero la curva de distribución se hace mas platicúrtica. Para los años 2001 y 2002 la curva de distribución se sesga hacia valores de α más grandes. Esto indicaría que el radio medio de las partículas ha disminuido⁽⁷⁾. En cambio, para la estación de Córdoba, Figura 6, se puede observar que la distribución se mantiene bastante conservada en los cuatro años analizados, con máximos en el rango de 1 – 1.4.

La relación entre el coeficiente de Ångström, α , y el espesor óptico de aerosoles a 500 nm ($\tau(500\text{nm})$) es mostrado en las Figuras 7 y 8 para las dos estaciones. La importancia de este gráfico radica en el hecho en que pone en evidencia la variabilidad del espesor óptico de aerosoles y el coeficiente de Ångström. Se puede apreciar una tendencia de aumento del α con el τ . Los valores altos de α y τ indican presencia o transporte de aerosoles de origen industrial o una mezcla de estos con partículas de polvo. Según la tabla de clasificación de aerosoles de Hess M. et al.⁽¹⁾ se distinguen fácilmente tres tipos de aerosoles presentes. En particular para Buenos Aires: Antártico, Continental Limpio y Continental; para Córdoba: Continental Limpio y Continental.

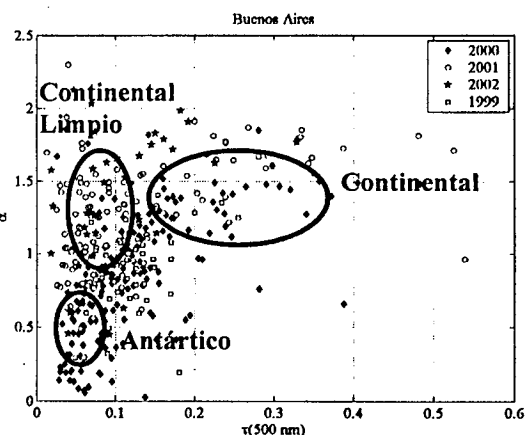


Figura 7. Espesor óptico de aerosoles a 500 nm versus el exponente de Ångström, α , para la estación de Buenos Aires.

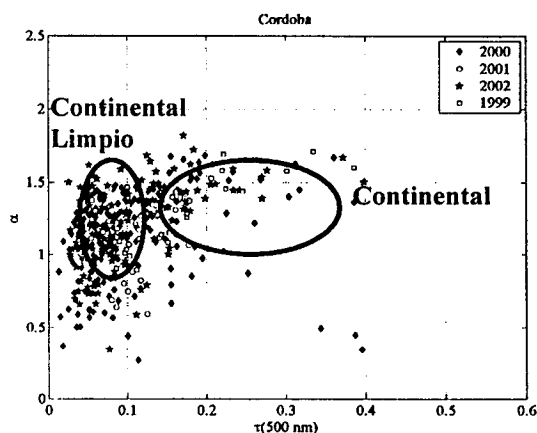


Figura 8. Espesor óptico de aerosoles a 500 nm versus el exponente de Ångström, α , para la estación de Córdoba.

V. CONCLUSIONES

El estudio realizado refleja una gran variabilidad estacional del espesor óptico de aerosoles para las estaciones de Buenos Aires y Córdoba. Mediante el análisis de las Figuras 7 y 8 se pudo clasificar el tipo de aerosoles⁽¹⁾ presentes en Buenos Aires y Córdoba. Es de destacar la diferencia entre ambas estaciones, primero la presencia de aerosoles arrastrados por vientos provenientes del sur, Aerosoles Antárticos, en Buenos Aires durante los meses de invierno, no así en la otra estación, ya que esta está ubicada en el centro del país y la influencia de vientos polares se ve disminuida por el continente. Segundo, la estación de Córdoba presenta más días con aerosoles del tipo Continental Limpio que la estación de Buenos Aires. Esto último indica que el grado de contaminación en la atmósfera de Buenos Aires es mayor que en la de Córdoba.

VI. REFERENCIAS

1. Hess M. et al., "Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC" Bulletin of the American Meteorological Society 79, No. 5, May 1998.
2. Holben, B.N., et al., "AERONET- A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization", Remote Sens. 12, 1147-1163, 1991.

3. Holben, B.N., et al., "An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET" *J. Geophys. Res.*, 106, 12,097-12,097, 2001.
4. Otero L. A., et al., "Spaciotemporal Evolution Of Atmospheric Aerosol Properties in Argentina from AERONET / NASA". Conference of American Geophysical Union, Washington DC, 2002
5. Otero, L.A., et al., "Aerosoles Atmosféricos Medidos en Diferentes Lugares de la Argentina con la Red AERONET/ NASA". *Anales AFA*, vol 13, 280-284, 2001.
6. Ristori, P. et al., "Characterization of the Atmospheric Aerosols in the Buenos Aires Area Using Sun Photometer Measurements". *Proc. SPIE*, Vol. 4419. pp. 506-509. 2001.
7. Shifrin K.S., "Simple relationships for the Ångström parameter of disperse systems". *App. Opt* 34, 21, 4480 - 4485, 1995.

VII. AGRADECIMIENTOS

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