

## BREVE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Volcán Puyehue – Cordón Caulle: medición de las cenizas en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011

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

La Patagonia Argentina es afectada frecuentemente por las erupciones volcánicas que se producen en nuestro país y en los países limítrofes. Estos eventos perturban la calidad del aire en general, generan pérdidas económicas y en especial pueden causar efectos dañinos para la salud.

En este trabajo se estudia un evento de erupción volcánica del volcán chileno Puyehue - Cordón Caulle. Los productos eyectados por esta erupción afectaron la Patagonia, centro y norte de nuestro país, siendo las cenizas detectadas en varios países del hemisferio sur.

Los datos utilizados para el estudio de este evento son los pertenecientes a las mediciones de un sistema lidar, un fotómetro solar perteneciente a la red AERONET [1], retrotrayectorias y dispersión de cenizas volcánicas calculadas con el modelo HYSPLIT de NOAA [2, 3, 4, 5, 6, 7].

### Descripción del evento

El volcán Puyehue-Cordón Caulle ubicado en la cordillera de Los Andes, entre la Región de Los Ríos y Región de Los Lagos, Chile, al norte del

paso internacional Cardenal Samoré, (40,590° S; 72,117° O; 2240 m), entró en erupción el 4 de junio de 2011. Esta erupción emitió cenizas a una altura máxima 14.000 m, de acuerdo con el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas de Buenos Aires (Buenos Aires Volcanic Ash Advisory Center – VAAC [7]). La nube de cenizas se mantuvo por encima de los 12.000 m durante los días 5 y 6 de junio. Estos dos días de emisiones continuas creó una nube de cenizas que se extendió más de 1.900 km desde Chile, a lo largo de la Argentina alcanzando a Uruguay, Paraguay y Brasil. También fueron detectadas cenizas en Nueva Zelanda, sur de África y Australia.

Las figuras 1 y 2 muestran la evolución de la pluma de cenizas volcánicas calculada con el modelo HYSPLIT/VOLCANIC ASH de NOAA. Cada imagen es una composición de capas entre la superficie y los aproximadamente 16 km (FL550 – fly level (nivel de vuelo) 55000 pies) [6]. En ellas se puede observar que las cenizas avanzan sobre el centro del país alcanzando la provincia de Buenos Aires.

1. CEILAP, UNIDEF (MINDEF - CONICET), UMI-IFAEI-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.

Autor Responsable: **Dra. Lidia Otero**, contacto:  
e-mail: [lotero@citedef.gob.ar](mailto:lotero@citedef.gob.ar) [lidia1116@gmail.com](mailto:lidia1116@gmail.com)

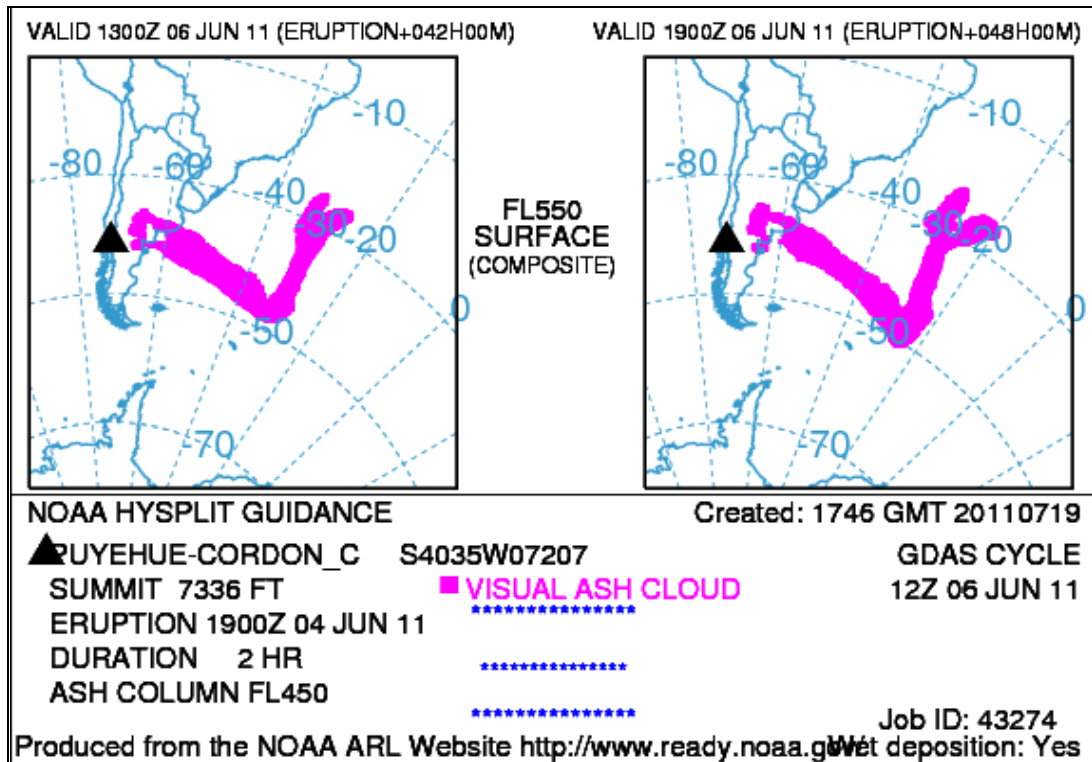


Figura 1. Evolución de las cenizas volcánicas calculadas con el modelo HYSPLIT/VOLCANIC ASH de NOAA para 48 horas después de la primera erupción.

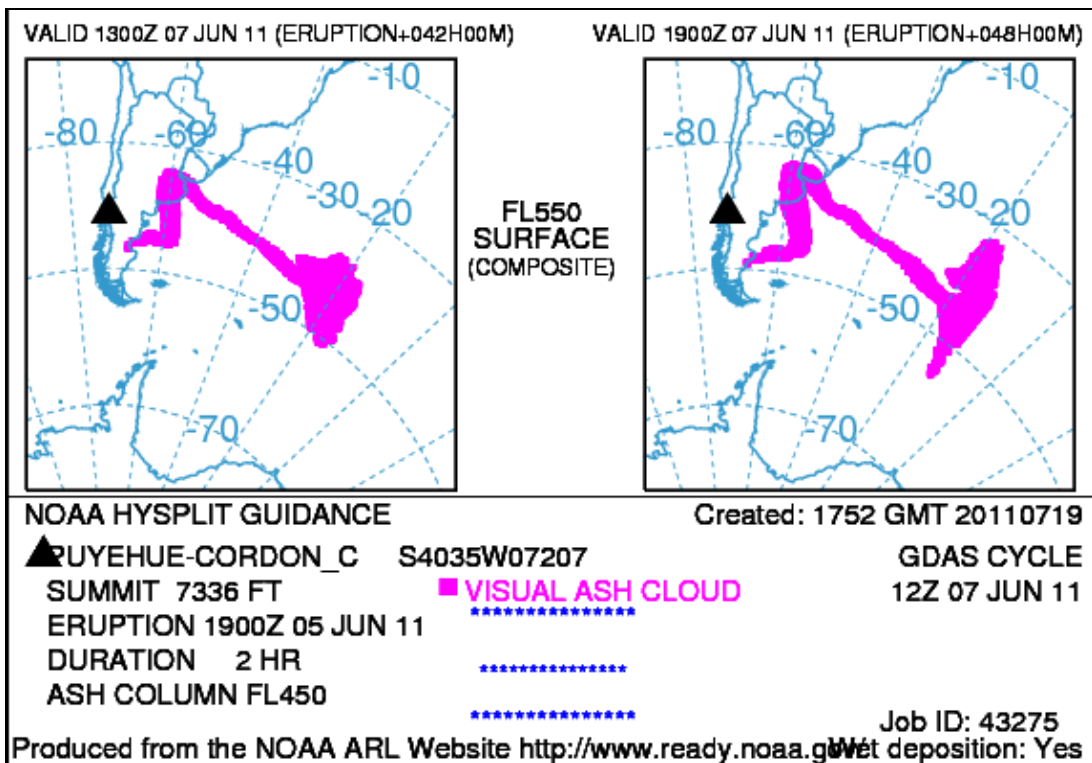
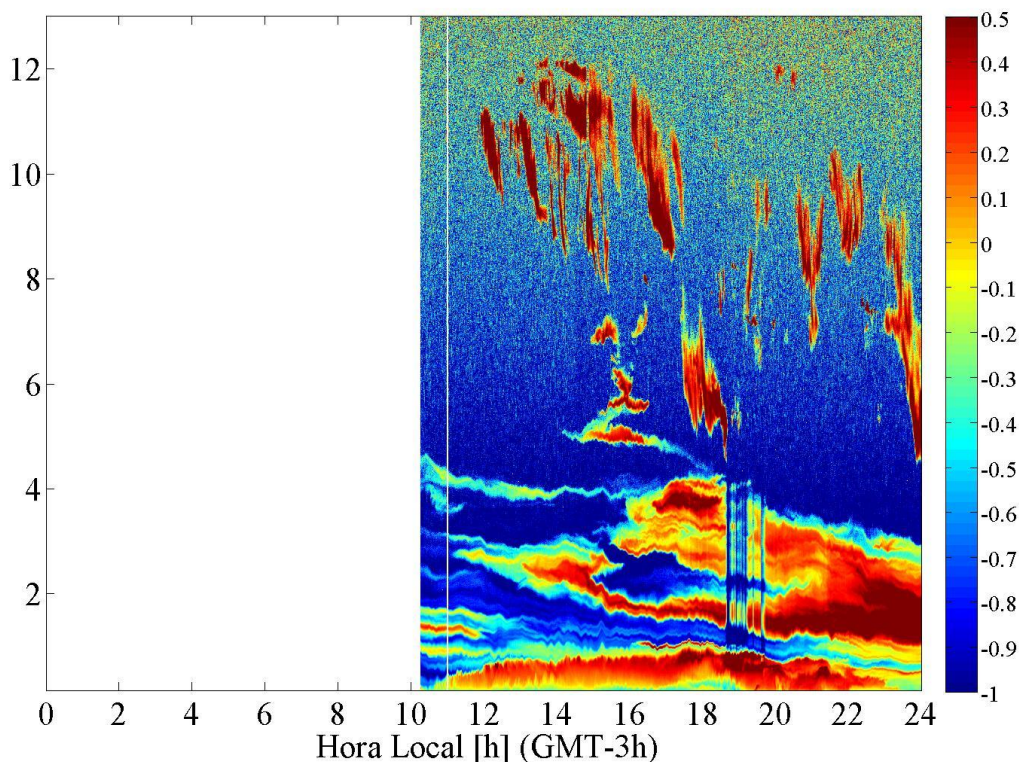


Figura 2. Evolución de las cenizas volcánicas calculadas con el modelo HYSPLIT/VOLCANIC ASH de NOAA para 48 horas después del segundo día de erupción.

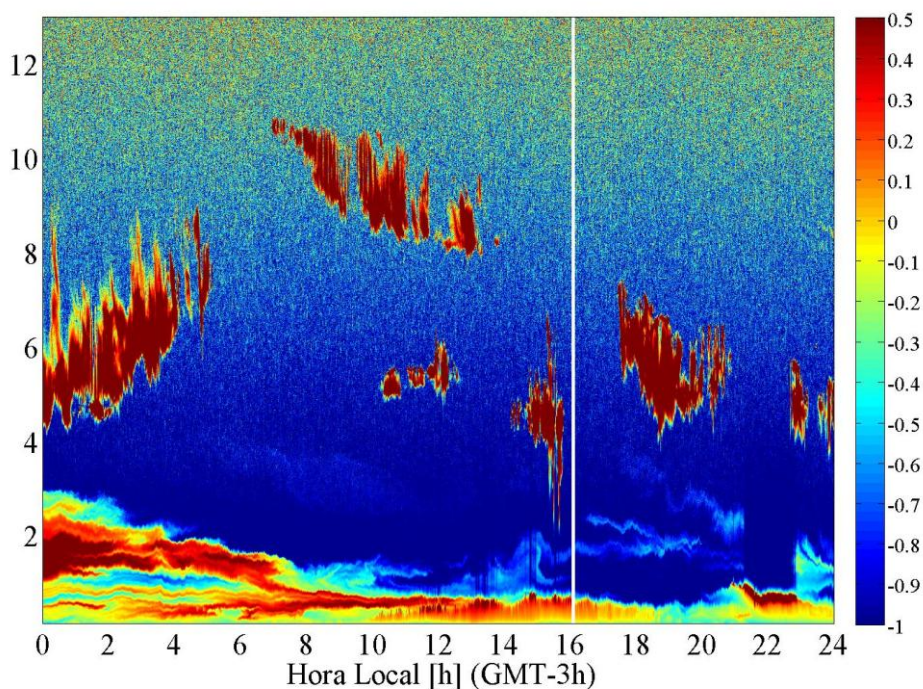
## Resultados

En la División Lidar del CEILAP-BA (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones – sede Villa Martelli, provincia de Buenos Aires, 34,5° S; 58,5° O) se encuentra instalado un sistema lidar coaxial multilongitud de onda [8] capaz de medir desde los 80 m a los 13 km la evolución de la capa límite, capas de aerosoles (partículas en suspensión en la atmósfera), nubes y vapor de agua con una resolución espacial de 7,5 m y temporal de 10 s.

En las figuras 3 y 4 se muestra la evolución temporal y espacial de la señal de retrodifusión de aerosoles en 1064 nm (en unidades logarítmicas arbitrarias), medido con el sistema lidar desde las 10 de la mañana del día 7 de junio (figura 3) hasta la medianoche del 8 de junio (figura 4). En las imágenes se pueden distinguir claramente la evolución de la capa límite atmosférica y su estructura e importantes capas de aerosoles hasta los 6 km, entre los 8 a 12 km se observa la presencia de nubes.



**Figura 3.** Evolución de la capa límite atmosférica y de las capas de aerosoles para el día 7 de junio de 2011, medido con el sistema lidar en 1064 nm, (eje horizontal: hora local – eje vertical: altura en km – escala de colores en unidades arbitrarias: intensidad de la señal).



**Figura 4.** Evolución de la capa límite atmosférica y de las capas de aerosoles para el día 8 de junio de 2011, medido con el sistema lidar en 1064 nm, (eje horizontal: hora local – eje vertical: altura en km – escala de colores en unidades arbitrarias: intensidad de la señal).

Para poder verificar que los aerosoles presentes sobre la capa límite son aerosoles de transporte producto de las erupciones volcánicas del Puyehue, se calcularon retro trayectorias con el modelo HYSPLIT [4], para tres alturas, 3,5 km, 4 km y 4,5 km. Este análisis mostró que las masas de aire que arribaron a Buenos Aires se originaron en torno al volcán. Este resultado es una verificación más de análisis previo que se realizó por medido del modelo HYSPLIT/VOLCANIC ASH de NOAA [5, 6] en donde se observaba que las mismas arribarían a Buenos Aires días después de su eyección a la atmósfera.

En el CEILAP-BA también se encuentra instalado un fotómetro solar de la red mundial AERONET [1]. Este sistema permite medir en forma integrada la extinción de aerosoles. En la figura 5 se puede observar la evolución temporal del espesor óptico de aerosoles (AOD) en 440 nm del 7 al 13 de junio. Se puede ver claramente como los valores superan, más de 5 veces, la media esperada para el mes de junio que es de 0,1,

representada con línea continua en el gráfico y su desvío estándar en línea de punto (0,05). Es de notar que el día 11 de junio, en donde no se observaron capas significativas de aerosoles de transporte, los valores medidos están dentro de los valores esperados.

Una forma de identificar diferentes tipos de aerosoles es graficar el coeficiente de Ångström [9], que está relacionado con el radio medio de las partículas, versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm [10]. En la figura 6 se muestra este tipo de gráfico indicando que entre los días 7 y 13 de junio se pueden identificar tres tipos diferentes: continental limpio, desértico y volcánico [10]. Se puede observar que el día 11 de junio es el que presenta aerosoles de tipo continental limpio. También hay que remarcar que en el análisis de cenizas que se hizo del volcán Chaitén en mayo de 2008 [11], se encontraron aerosoles desérticos además de los aerosoles del tipo volcánico esperados como sucedió en este caso.

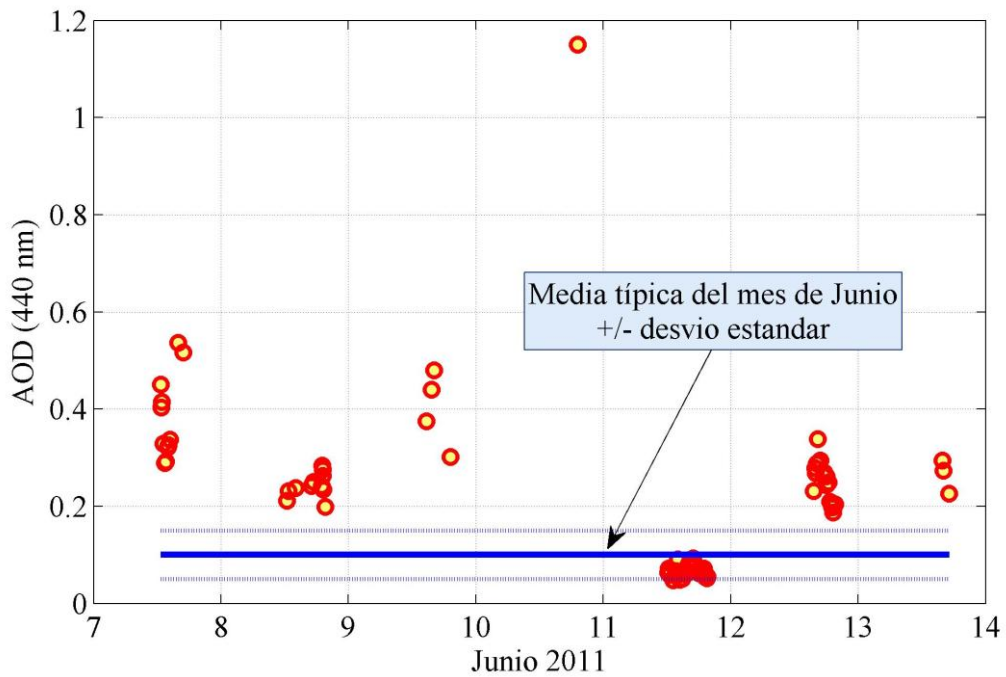


Figura 5. Evolución del espesor óptico de aerosoles medido con un fotómetro solar en la estación de CEILAP-BA.

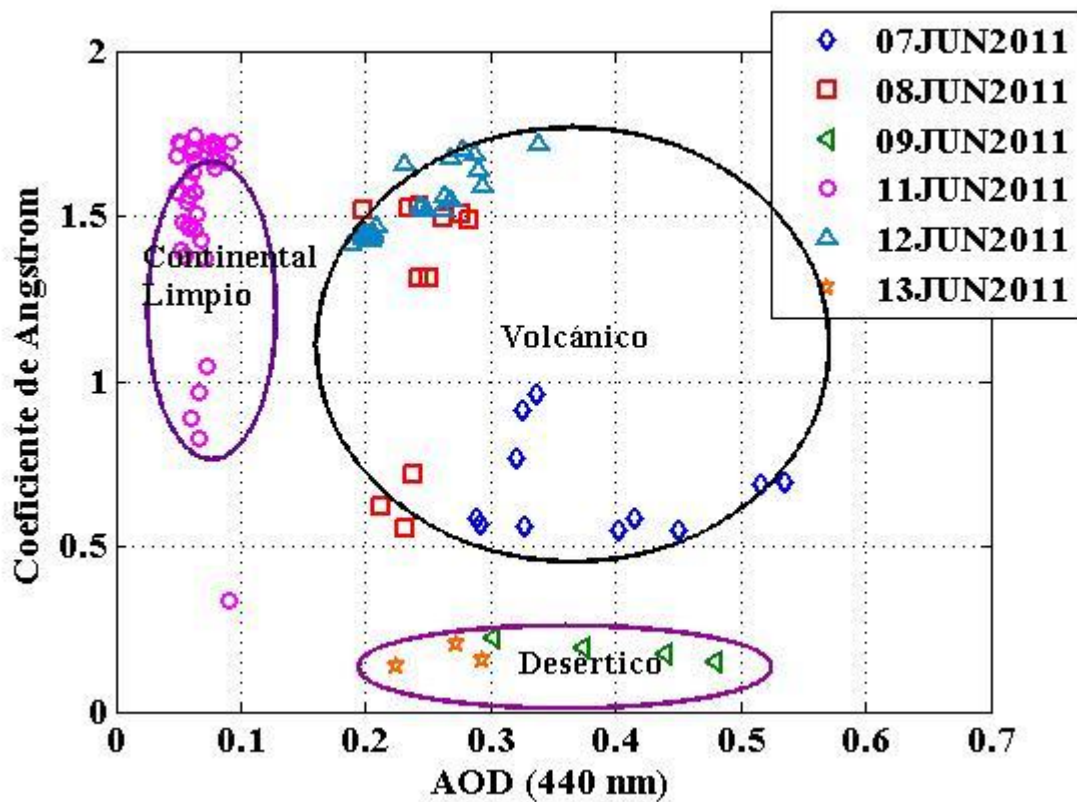


Figura 6. Coeficiente de Ångström versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm para la estación de CEILAP-BA.

## Monitoreo de las cenizas volcánicas en la Patagonia

En febrero de 2012 instaló una estación de monitoreo atmosférico en el Aeropuerto de San Carlos de Bariloche (41,1° S; 71,2° O; 840 m ASL) y en octubre de 2012 se inauguró otra estación en el Aeropuerto de Comodoro Rivadavia (47,8° S; 67,5° O; 58 m ASL). Ambas estaciones se instalaron con el objetivo de suministrar datos complementarios que faciliten la aeronavegación y el seguimiento de la evolución de la pluma de cenizas en la región. En la actualidad dichas estaciones cuentan con: un sistema lidar multilongitud de onda de 6 canales, que detecta la presencia de plumas de aerosoles y nubes entre los 150 m y los 13 km de altura y un fotómetro solar integrado a la red mundial AERONET de NASA [1] que mide espesor óptico de la columna total de aerosoles. Próximamente, se completará cada observatorio con sensores UV, una estación meteorológica automática y medidores de temperatura de suelo. Cabe señalar que el aeropuerto de San Carlos de Bariloche cuenta con una estación meteorológica y un medidor de partículas TOPAS (Turnkey Optical Particle Analysis System) que registra su concentración a nivel del suelo de PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> y material particulado total en suspensión (TSP) mediante un método de nefelometría óptica. Las señales medidas con lidar en tiempo real se muestran en la página web de la división [12] y sus datos son utilizados por el SMN para realizar reportes cada 3 horas. Se prevé que durante el 2013/2014 se instalen tres estaciones más en la Patagonia.

## Conclusiones

En este trabajo se analizó la evolución del espesor óptico de aerosoles de un evento de cenizas volcánicas sobre la ciudad de Buenos Aires.

Es posible destacar como estos eventos hacen que el espesor óptico de aerosoles aumente significativamente produciendo un cambio desfavorable en el balance radiativo, influyendo en el clima de la región. Esto ocasiona a su vez

una reducción en la visibilidad y un incremento de las afecciones respiratorias.

Estas técnicas de detección generan datos que son de gran utilidad para realizar el seguimiento y posible pronóstico de las trayectorias de las cenizas volcánicas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a: el Ministerio de Defensa, la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT y CONAE por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a NOAA Air Resources Laboratory (ARL) por permitirnos el uso del modelo de transporte HYSPLIT y HYSPLIT/VOLCANIC ASH utilizados en esta publicación.

## 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. Lavenue, I. Jankowiak, and A. Smirnov. AERONET- A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens.* 12, 1147-1163, (1991).
- [2] - Draxler, R. R. and G. D. Rolph. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. (2003).
- [3] - Rolph, G. D. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. (2003).
- [4] - [http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php)
- [5] - <http://ready.arl.noaa.gov/READYVolcAsh.php>
- [6] - <http://www.arl.noaa.gov/VolcAsh.php>
- [7] - <http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/OTH/AG/messages.html>
- [8] - Otero, L., P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta, E. Quel. Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEILAP. V Workshop on Lidar Measurements in Latin America. OPT. PURA APL Sociedad Española de Óptica (S.E.D.O.) vol.44, p13 – 18, ISSN 0030-3917 (2011).
- [9] - Ångström, A., On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geografis Annal.*, 2,156-166, (1929).

- [10]- 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).
- [11]- Pawelko, E., J. Pallotta, L. Otero, E. Wolfram, R. D'Elia, J. Salvador, M. Raponi, E. Martorella, O. Vilar, F. Gonzalez, J. Dworniczak y E. Quel. Medición de cenizas del Volcán Chaitén en Buenos Aires, (Measurement of Chaitén Volcano ashes in Buenos Aires) *Anales AFA (Asociación Física Argentina)* Vol. 20, 255-259, ISSN: 0327-358 X ISSN (Online) 1850 – 1158, Asociación de Física Argentina, Editor Dr. Roberto Gratton, (2009).
- [12]- <http://www.division-lidar.com.ar>

**Recibido:** 28 de Diciembre de 2012.

**Aceptado:** 16 de Enero de 2013