

EVENTO DE INTRUSIÓN DE AEROSOLES DETECTADO EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE AEROSOLES DE NEUQUÉN: ENERO 2014

Lidia Otero^{1,2}, Pablo Ristori¹, Sebastián Papandrea¹, Juan Pallotta¹, Raúl D'Elia¹, Sandra Sambueza³, Eduardo Quel^{1,2}

lotero@citefef.gob.ar lidia1116@gmail.com

¹División Lidar, CEILAP, UNIDEF (MINDEF – CONICET)

²TUE - Escuela Superior Técnica, Facultad de Ingeniería del Ejército

³Servicio Meteorológico Nacional

RESUMEN

Luego de la erupción del volcán chileno Puyehue - Cordón Caulle, que afectara severamente la aeronavegación y las actividades agrícola-ganaderas en Patagonia Argentina a partir del 4 de junio de 2011, se diseñó y construyó una red de monitoreo para la detección de aerosoles en la atmósfera tales como cenizas volcánicas, polvo y quema de biomasa. Esta actividad se desarrolló en el marco de un proyecto especial del Ministerio de Defensa. Las estaciones de la red cuentan un sistema lidar, un fotómetro de la red AERONET e instrumentos pasivos complementarios. Actualmente se encuentran instaladas en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de los aeropuertos de San Carlos de Bariloche, Comodoro Rivadavia, Neuquén, Río Gallegos y Aeroparque. Las mismas tienen, no sólo la capacidad de ofrecer información complementaria para la aeronavegación, sino también permiten realizar estudios medioambientales que permitirán comprender mejor la calidad del aire de la región patagónica. En este trabajo se analiza un evento de intrusión de aerosoles detectado en la estación de Neuquén durante enero 2014.

ABSTRACT

After the eruption of the Chilean volcano Puyehue-Cordón Caulle, that seriously affected the aerial navigation, agricultural and livestock activities after June 4, 2011, we designed and built an air monitoring network to detect the presence of aerosols, volcanic ash, mineral dust and biomass burning. This activity was done by means of a special project from the Ministry of Defense. The stations of this network have a lidar system, an AERONET sun-photometer and complementary passive instrumentation. They are installed at San Carlos de Bariloche, Comodoro Rivadavia, Neuquén, Río Gallegos and Aeroparque dependencies of the National Meteorological Service inside or close to the airports. They have not only the ability of providing additional information for aerial navigation, but also to perform environmental studies to better understand the air quality in the Patagonian region. This work provides an analysis of an aerosol intrusion event detected at Neuquén station during January 2014.

Palabras clave: lidar, fotómetro solar, aerosoles.

1) INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son partículas en suspensión en la atmósfera, cuyo origen puede ser natural o antropogénico. Las fuentes naturales inyectan en el aire polen, esporas, moho, levaduras, hongos y bacterias. Eventos tales como incendios forestales, erupciones volcánicas y sequías también producen humo, polvo y gran cantidad de material particulado en suspensión en la atmósfera.

Básicamente existen dos técnicas de observación remota de aerosoles: la pasiva y la activa. Los fotómetros solares son ejemplos de sensores pasivos, que detectan la reducción de irradiancia solar incidente en la superficie terrestre producida por los aerosoles en las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del espectro. El producto obtenido es el espesor óptico de aerosoles que se calcula como el logaritmo de la razón entre la radiación medida y la que se observaría en ausencia de ellos. El LIDAR (acrónimo de Light Detection and Ranging) es un sistema de teledetección (monitoreo remoto) activo que utiliza pulsos láser para medir los aerosoles en la atmósfera. Su principio de funcionamiento se asemeja al del radar aunque su longitud de onda es un millón de veces más pequeña, comparable con el tamaño de los aerosoles que mide. Es por esta razón que un lidar permite obtener información de la distribución espacial y temporal de los aerosoles en suspensión (Otero et al., 2011; Otero et al., 2012a).

Las erupciones volcánicas, que se producen en tanto en Chile como en nuestro país, afectan frecuentemente la región patagónica. El material particulado en suspensión generado por estas erupciones finalmente depositado en la superficie afecta la calidad del aire en general, los suelos, las aguas, la salud y el ecosistema. Afecta la actividad humana en la región produciendo pérdidas económicas relacionadas con la actividad agrícola-ganadera, el transporte terrestre y aéreo y el turismo (Otero et al., 2012b; Otero et al., 2012c).

Este trabajo estudia un evento de transporte de aerosoles detectadas con el sistema lidar y el fotómetro solar de la estación de monitoreo de Neuquén a principios del año 2014.

2) DESCRIPCIÓN DE LA ESTACION

La estación de monitoreo atmosférico del Aeropuerto de Neuquén ($38^{\circ} 57' S$; $68^{\circ} 08' O$; 271 m) fue puesta en funcionamiento en noviembre de 2013, con el objetivo de suministrar información de distribución vertical de aerosoles y nubes para facilitar la aeronavegación y caracterizar los aerosoles en la región, (Otero et al., 2012c; Ristori et al., 2012). La estación fue diseñada, construida e instalada por la División Lidar del CEILAP - UNIDEF (MINDEF - CONICET) en el marco del Proyecto Especial del Ministerio de Defensa N°31554/11 siendo operada en la actualidad por personal del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La figura 1 muestra una foto del contenedor instalado en el aeropuerto. La tabla I enumera los instrumentos instalados en la actualidad en dicha estación.



Figura 1. Estación de monitoreo de aerosoles en el Aeropuerto de Neuquén.

TABLA I		
Instrumento	Tipo de dato que mide	Características
Lidar multilongitud de onda (Otero et al., 2011; Otero et al., 2012a)	Perfiles verticales de retrodifusión de aerosoles, entre los 150 m a 13 km.	Sistema de 3 canales (1064, 532, y 355 nm). Emisor: láser sólido de Nd:Yag; receptor: telescopio newtoniano.
Fotómetro solar (Holben et al., 1991)	Espesor óptico de aerosoles y nubes.	CIMEL C318. Sistema que mide en 8 longitudes de onda (1640, 1020, 870, 670, 500, 440, 380 y 340 nm)

Tabla I. Descripción de los instrumentos instalados en la estación de monitoreo.

Cabe señalar que el fotómetro solar mencionado ha sido integrado a la red AERONET de la NASA (Holben et al., 1991, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), lo que asegura su correcta calibración y procesamiento de los datos, permitiendo la intercomparación con otros sitios.

3) RESULTADOS

En la figura 2 se muestra la evolución temporal del espesor óptico de aerosoles (AOD) medido con el fotómetro solar 440 nm (nivel 1.5) durante el mes de enero de 2014. El gráfico muestra varios días con espesores ópticos mayores a 0,2 (en 440 nm), valor calculado a partir de la medición de la atenuación de la radiación solar directa, superior al 18 %, que fue realizada por fotómetro solar de la estación. El día 19 el valor de AOD alcanza los 0,65, lo que equivale a una atenuación de la radiación solar directa superior al 48 %.

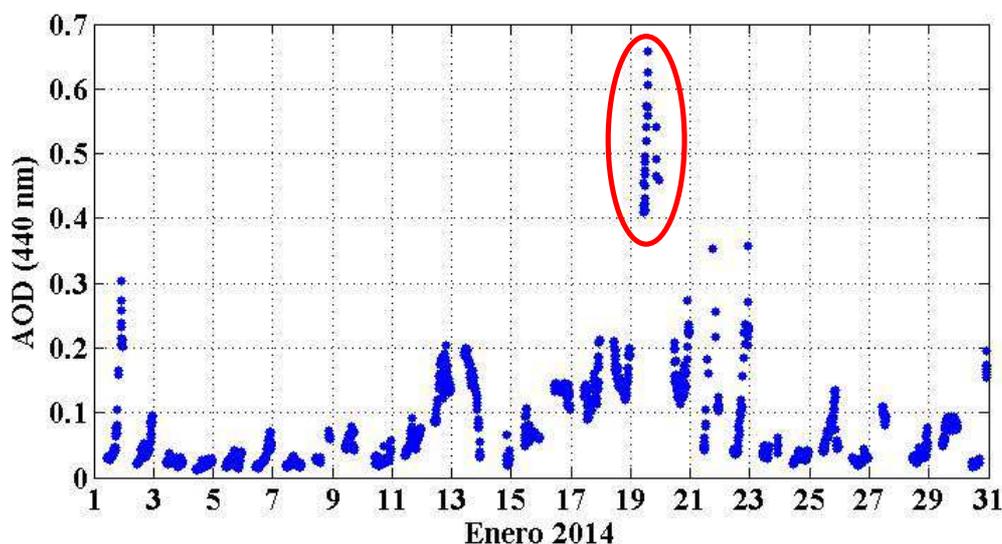


Figura 2. Evolución temporal del espesor óptico de aerosoles en 440 nm medido con el fotómetro solar durante enero 2014 en la estación de Neuquén.

La figura 3 corresponde a la medición realizada por el sistema lidar el día 19 de enero de 2014. La imagen muestra en color el coeficiente de retrodifusión de aerosoles para una emisión láser de 532 nm.

Se puede observar la evolución espacio-temporal de la capa límite atmosférica (CLA) y capas de aerosoles de transporte. A partir de las 11 h hora local se puede ver como aparece una nube a los 5 km que se extiende hasta las 17 h aproximadamente. Se observan capas de aerosoles muy cercanas al borde la CLA y otras capas que se extienden entre los 2 y los 5 km. A las 14:00 y 17:30 h aproximadamente se observa como capas de aerosoles ingresan a la CLA.

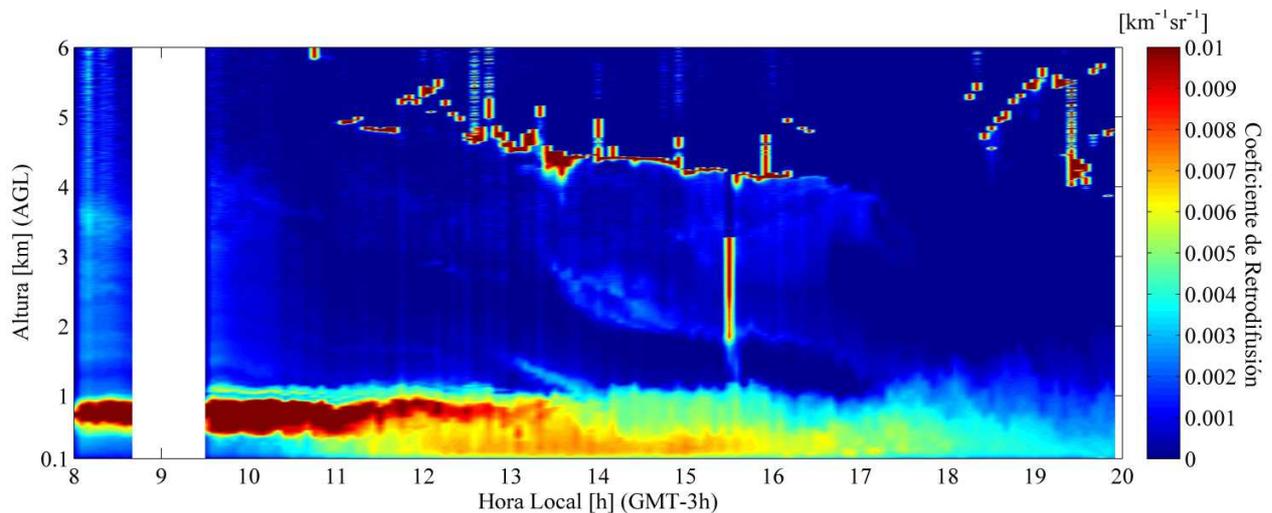


Figura 3. Señal lidar de retrodifusión de aerosoles 532 nm medida el 19 de enero de 2014 en la estación de Neuquén.

Para poder caracterizar de forma independiente el tipo de aerosoles presentes, se calcula con los datos del fotómetro solar el coeficiente de Ångström, parámetro que describe la dependencia espectral del espesor óptico de aerosoles, definido por la ecuación:

$$AOD(\lambda_1) = AOD(\lambda_2) \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{\text{Å}}$$

siendo λ_1 y λ_2 , dos longitudes utilizadas para calcular el coeficiente de Ångström, Å, es sensible al radio cuadrático medio de las partículas (Shifrin, 1995). Este valor se lo grafica en función del AOD en 440 nm en la figura 4. Se puede observar que el día 19 (puntos rojos en la figura 4) presenta valores de AOD muy altos, mayores a 0,4 y un coeficiente de Ångström en el entorno de 1. Estos valores coinciden con la presencia de cenizas volcánicas de removilización (Otero et al., 2006; Otero et al., 2011; Otero et al., 2012b), levantadas y transportadas por los vientos de la región. Además se puede ver cómo estas mediciones se apartan significativamente de las otras observaciones obtenidas durante el mes de enero.

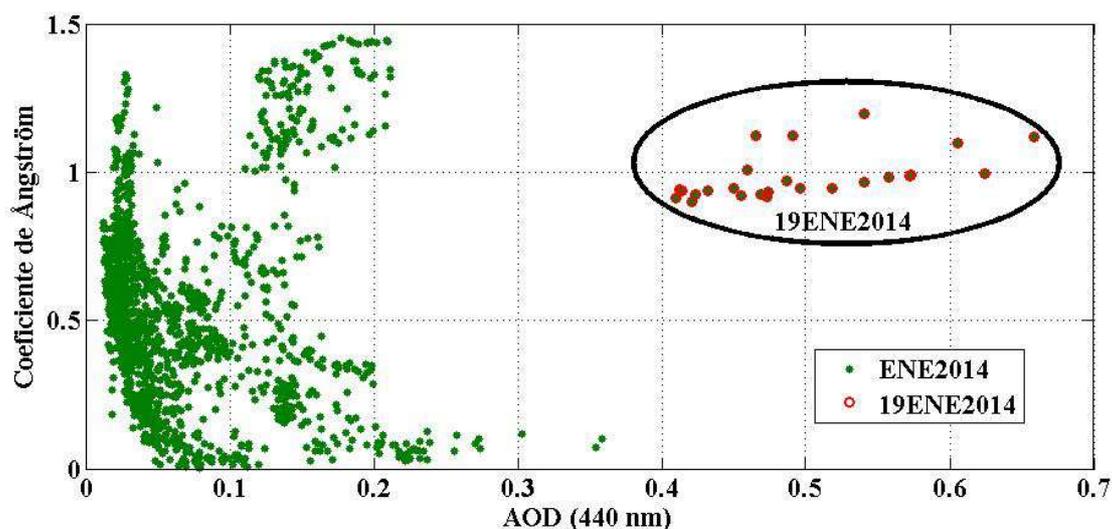


Figura 4. Coeficiente de Ångström versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm para el mes de enero de 2014 de la estación de Neuquén.

Para verificar si este tipo de evento es frecuente en la estación, también se grafican todos los datos disponibles desde el comienzo de las observaciones. La figura 5 muestra la dispersión del Coeficiente de Ångström en función del AOD (440 nm) entre el 12 de noviembre de 2013 y el 14 de agosto de 2014, con un total de 4939 datos. Se puede observar que no se ha producido ningún evento similar.

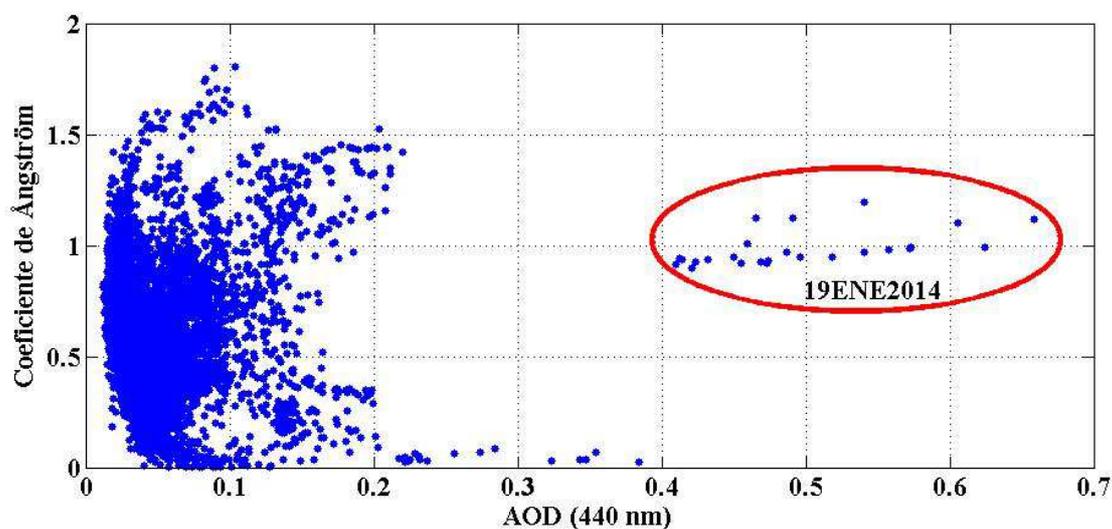


Figura 5. Coeficiente de Ångström versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm entre noviembre de 2013 y agosto de 2014 de la estación de Neuquén.

Para el día en estudio y para diferentes horas del día se observa en la distribución en talla de los aerosoles (figura 6) calculada con los datos del fotómetro (Dubovik, O., 2000) un segundo modo dominante con un máximo en 4 μm . La figura 7 muestra otro sub-producto de la red AERONET, el Single Scattering Albedo (SSA), que es la razón entre la dispersión y la extinción de los aerosoles, para cuatro longitudes de onda. La dependencia del SSA con la longitud de onda es directa, o sea, la

pendiente es positiva. Tanto la presencia de un segundo modo dominante como la dependencia directa del SSA con la longitud de onda son características de las masas de aerosoles con un alto contenido de polvo.

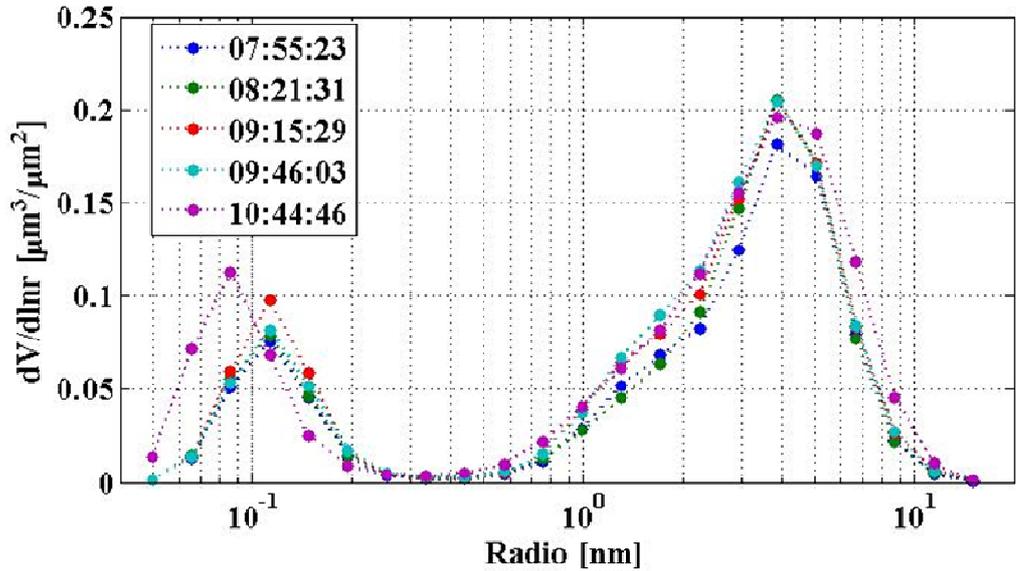


Figura 6. Distribución de tamaño de aerosoles para el 19 de enero de 2014 en la estación de Neuquén.

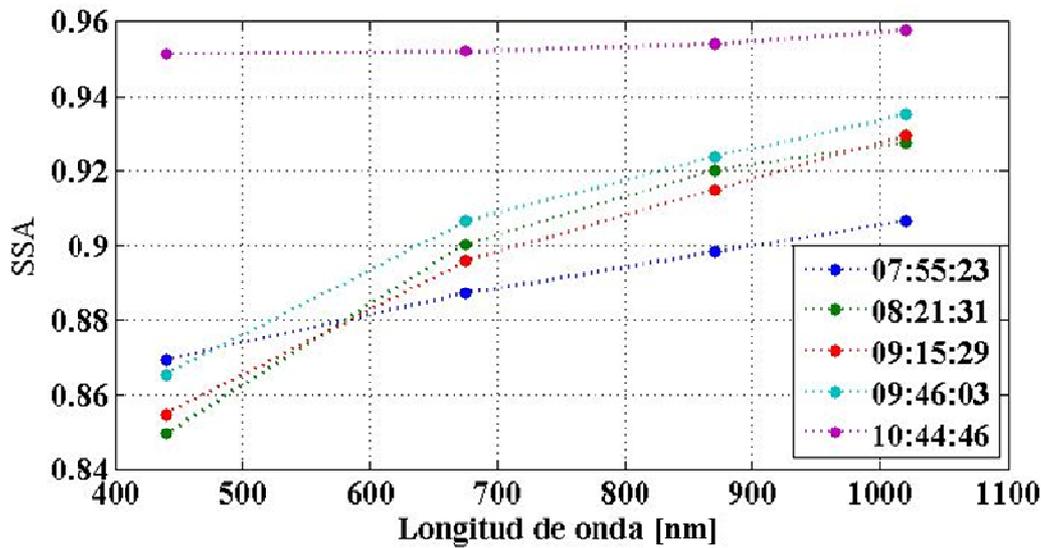


Figura 7. Single Scattering Albedo para el 19 de enero de 2014 en la estación de Neuquén.

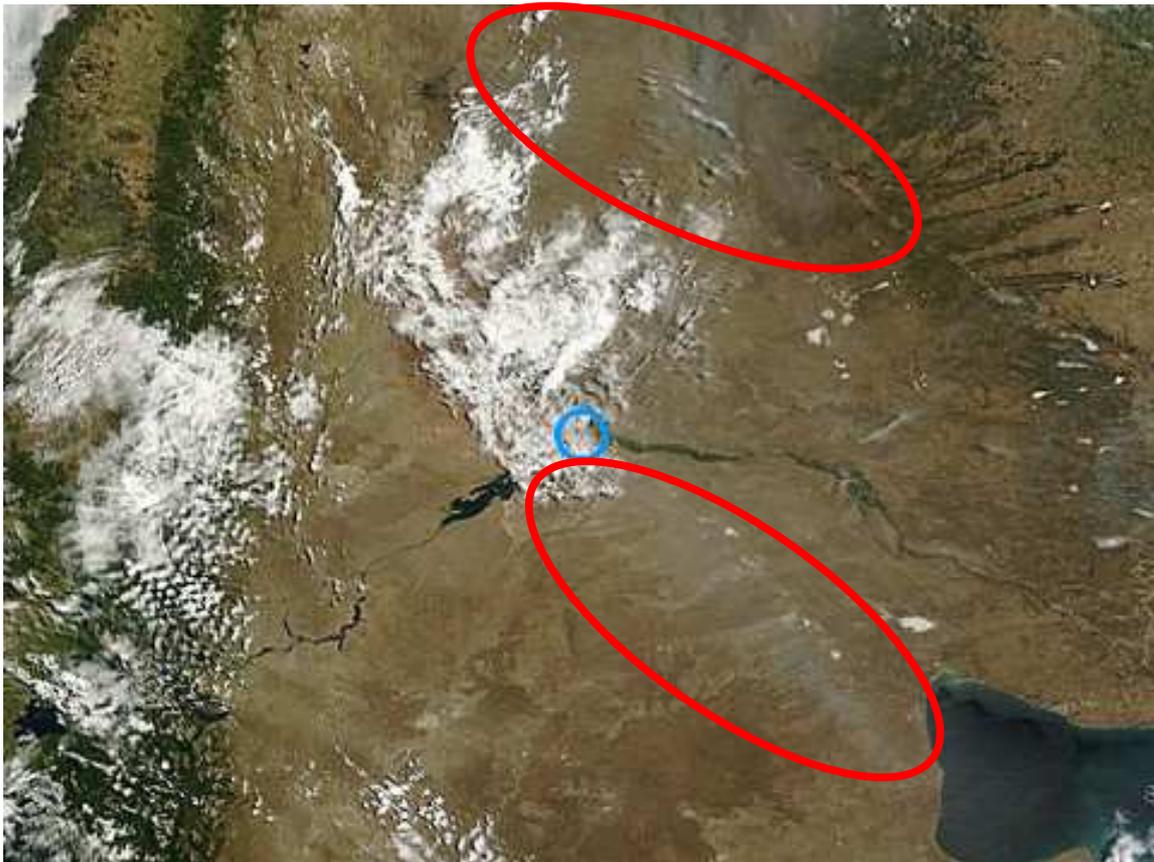


Figura 8. Imagen satelital TERRA del 19 de enero de 2014 a las 14:35 UTC. (el círculo celeste muestra la ubicación de la estación, en rojo se observa las plumas de aerosoles).
http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/bamgommas_interactive.

Para brindar más información del evento de intrusión de aerosoles medido el 19 de enero, se muestra en la figura 8 la imagen satelital del instrumento MODIS del satélite AQUA correspondiente a las 14:35 h UTC (11:35 hora local), en la cual se pueden ver nubes de polvo, de color beige (marcadas en rojo), también se observan nubes en color blanco. Se marca en la imagen la zona donde está instalado el fotómetro con un círculo celeste. La imagen muestra claramente la presencia de nubes. Esta es la razón por la cual el fotómetro solar es incapaz de proseguir su medición luego de las 11:01 h.

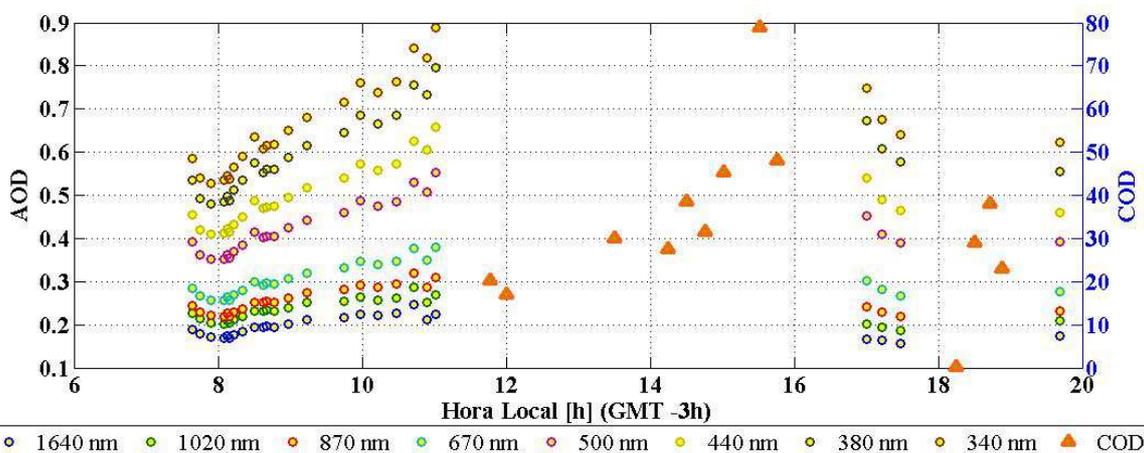


Figura 9. Evolución temporal del AOD medido en las 8 longitudes de onda disponibles y del espesor óptico de las nubes (COD) del 19 de enero de 2014 en la estación de Neuquén.

Para verificar el horario y el efecto producido por de la presencia de las nubes, se utilizan las mediciones del espesor óptico de nubes (Cloud Optical Depth - COD) medido por el fotómetro solar (Chiu, 2010). En la figura 9 se presenta la evolución temporal del AOD en las 8 longitudes de onda disponibles (1640, 1020, 870, 670, 500, 440, 380 y 340 nm) y el COD para el día de estudio. Se puede ver que para el horario de pasada del satélite, el fotómetro detectó nubes y dejó de medir el AOD. Por lo tanto se verifica que la medición del AOD no se ve afectada por la presencia de nubes. Se destaca que, aunque el fotómetro solar detuvo su medición, el sistema lidar siguió midiendo y registrando el avance de las capas de aerosoles y la entrada de partículas en suspensión a la CLA (figura 3).

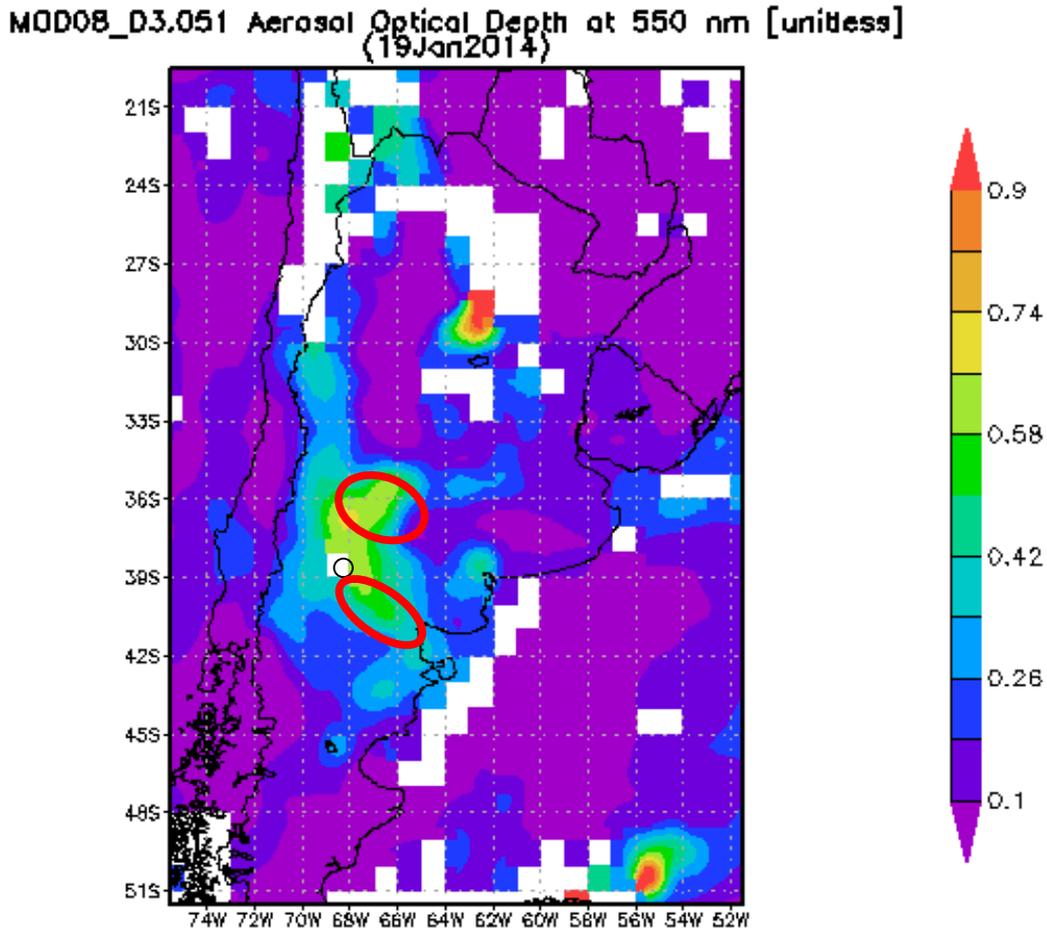


Figura 10. Espesor óptico de aerosoles en 550 nm, medido por el satélite TERRA con el instrumento MODIS el 19 de enero de 2014. (Con un círculo negro se marca la región donde está instalada la estación). http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-in/G3/gui.cgi?instance_id=aerosol_daily.

Una medición complementaria que se utiliza para estudiar este evento de aerosoles en Neuquén es el AOD calculado a partir de la medición satelital en 550 nm realizado por el instrumento MODIS instalado en el satélite TERRA. Esta medición se muestra en la figura 10 y se puede observar en la zona donde está instalada la estación, marcada con un círculo negro ($38^{\circ}57' S$; $68^{\circ}08' O$), valores de AOD mayores a 0,42. Esta región presenta en su conjunto altos valores de AOD y se encuentra donde la imagen satelital de la figura 8 muestra la presencia de la nube de polvo.

4) CONCLUSIONES

Se analizó un evento de intrusión de aerosoles observado en la estación de Neuquén el 19 de enero de 2014. Esta intrusión se midió con un sistema lidar multilongitud de onda y un fotómetro solar, ambos instalados en la estación de monitoreo atmosférico del Aeropuerto de Neuquén y puesta en funcionamiento en el marco del Proyecto Especial del Ministerio de Defensa N° 31554/11.

Del análisis de este evento se destaca la fuerte presencia de capas de aerosoles que ingresan a la CLA, espesores ópticos muy elevados en comparación con todos los valores disponibles en la base de datos. En particular se observan valores de AOD en 440 nm entre 0,4 y 0,7 con un Coeficiente de Ångström en torno a 1. La distribución en talla de los aerosoles presenta un segundo modo dominante indicando la presencia de partículas de radio medio alrededor de 4 μm . Con todos los datos disponibles se puede inferir que las partículas en suspensión tienen un alto contenido de polvo y cenizas volcánicas levantadas y transportadas por el viento.

AGRADECIMIENTOS: Los autores agradecen al Ministerio de Defensa, a la red AERONET, al SMN, ANPCyT y a la JICA por el apoyo brindado para llevar adelante este proyecto. También agradecemos muy especialmente al Jefe del Aeropuerto de Neuquén, al Jefe de estación del SMN tanto como a los observadores involucrados en la operación de la estación de monitoreo de aerosoles.

REFERENCIAS

Otero, L., Ristori, P., Holben, B., Quel, E., 2006: 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, 355-364.

Otero, L., Ristori, P., Pawelko, E., Pallotta, J. y Quel, E., 2011: Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEILAP. *Opt. Pura Apl.*, 44, 13–18.

Otero, L., Ristori, P., Pallotta, J., Pawelko, E. y Quel, E., 2012-a: El Sistema LIDAR: Sensado y Caracterización de Aerosoles Atmosféricos, Buenos Aires, Argentina. Congreso Argentina Ambiental 2012. Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Otero, L., Ristori, P., Pallotta, J., Pawelko, E., Ballesteros, P., Orte, F., Nicora, G., Raponi, M., D’Elia, R., Wolfram, E., Salvador, J., Bulnes, D., Martorella, E., Pereyra, A., González, F., Vilar, O., Dworniczak, J., Quel, E., 2012-b: Medición de cenizas del volcán Puyehue – Cordón Caulle con un sistema Lidar en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011. *Anales AFA*, 23, 148 - 152.

Otero, L., Ristori, P., Fernandez, M., Lema, S., Pallotta, J., Pawelko, E., Chouza, F., D’Elia, R. y Quel, E., 2012-c: Detección de cenizas volcánicas en el Aeropuerto de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina el 23 de febrero de 2012. *CongreMet XI. Congreso Argentino de Meteorología*, Av. Ruíz Leal s/n Parque General San Martín. Mendoza, Argentina.

Ristori, P., Otero, L., Pawelko, E., Pallotta, J., D’Elia, R., Chouza, F., Gonzalez, F., Dworniczak, J., Pereyra, A., Fernández, M., Lema, S., Sugimoto, N. y Quel, E., 2012: Development of an Argentinean Lidar Network to Monitor the Volcanic Plume and Dust in Patagonia. Reviewed and Revised Papers Presented at the 26th International Laser Radar Conference., Vol I, 357 – 360. 25-29.

Holben B., Eck, T., Lutsker, I., Tanré, D., Buis, J., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J., Kaufman

Y., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I. y Smirnov, A., 1991: AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization. *Remote Sens.* 12, 1147-1163.

Shifrin, K. S., 1995: Simple relationships for the Ångström parameter of disperse systems., *Applied Optics*, 34(21), 4480-4485.

Dubovik, O., Smirnov, A., Holben, B. N., King, M. D., Kaufman, Y. J., Eck, T. F., Slutsker, I.: 2000. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 105(D8), 9791-9806

Chiu, J. C., Huang, C. H., Marshak, A., Slutsker, I., Giles, D. M., Holben, B. N., Wiscombe, W. J., 2010: Cloud optical depth retrievals from the Aerosol Robotic Network (AERONET) cloud mode observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 115(D14).