

MEDICIÓN DE CENIZAS DEL VOLCÁN CHAITÉN EN BUENOS AIRES

MEASUREMENT OF CHAITÉN VOLCANO ASHES IN BUENOS AIRES

**Ezequiel Pawelko^{1,5}, Juan Pallotta^{1,4}, Lidia Otero¹, Elian Wolfram¹, Raúl D'Elia¹,
Jacobó Salvador^{1,3}, Marcelo Raponi^{1,2}, Evangelina Martorella¹, Osvaldo Vilar¹,
Francisco Gonzalez¹, Juan Dworniczak¹ y Eduardo Quel¹**

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

² Departamento Ciencias de la Atmósfera, Instituto Antártico Argentino, DNA.

³ Becario UNSAM-CONICET, Río Gallegos

⁴ Becario CONICET

⁵ Becario ANPCyT

epawelko@citefa.gov.ar

Sobre el cordón Chaitén de la Cordillera de los Andes, se encuentra el Volcán Chaitén (42°50'S; 72°39'O; 962 m) considerado inactivo hasta el pasado 3 de mayo del 2008, fecha en la que inesperadamente y tras 9428 años de su aparentemente última actividad, erupción introduciendo enormes volúmenes de cenizas en la atmósfera patagónica. Estas cenizas, se dispersaron por el territorio argentino afectando la visibilidad, la calidad del aire y la radiación solar incidente sobre nuestro suelo. En la provincia de Buenos Aires, en la División Lidar del CEILAP (CITEFA-CONICET) (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones) (34°33' S; 58°30' O) se realizaron mediciones del evento con el empleo de instrumentos pasivos y activos. En el presente trabajo se reporta dicha situación empleándose datos de los instrumentos Lidar y radiómetros operativos en el CEILAP de Villa Martelli. De esta manera se pudo determinar la altura de las plumas de aerosoles, que junto con los modelos de viento e imágenes satelitales, permitieron verificar para los días de estudio una disminución significativa de la radiación solar. También se determinaron los tipos de aerosoles de las plumas observadas y las atenuaciones que producen en el espectro visible, UVA y UVB.

Palabras clave: Lidar, Cenizas Chaitén, aerosoles

The Chaitén Volcano is located over Chaitén chain, in Cordillera de los Andes (42°50'S; 72°39'O; 962 msnm), and it was considered inactive until last May 3rd of 2008 when suddenly, and after 9,428 years of its apparently last activity, erupted introducing large volumes of ashes into the Patagonic atmosphere. These ashes scattered through the Argentinean territory, affecting visibility, air quality and solar radiation at ground level. The Lidar Division of CEILAP (CITEFA - CONICET), located in Buenos Aires (34°33' S; 58°30' O), has measured this event using passive and active instruments. In this work, this situation is reported using data from Lidar instruments and radiometers. The heights of the aerosol plumes were determined, which along with wind models and satellite images corroborated a significant decrease of solar radiation. In this work, the types of the aerosols plumes and its attenuation in the visible, UVA and UVB spectrum were determined.

Keywords: Lidar, Chaitén ashy, aerosols

I. INTRODUCCIÓN

El volcán Chaitén ubicado en el sector patagónico de la cordillera de los Andes (42°50' S, 72°39' O, 962 msnm), en el extremo norte del cordón Chaitén ⁽¹⁾, entró en erupción el 1 de mayo de 2008, luego de haber estado inactivo durante los últimos 9428 años, inyectando a la atmósfera grandes cantidades de cenizas. Las plumas de cenizas fueron transportadas por la acción de los viento hasta la provincia de Buenos Aires, donde se encuentra la División Lidar Villa Martelli, perteneciente al CEILAP (CITEFA-CONICET), en la que operan sistemas de sensado remoto atmosféricos con los cuales se efectuó un detallado seguimiento del evento a fin de estudiar la

evolución temporal y espacial de las plumas aerosólicas provenientes del volcán.

Se pudo determinar que las plumas de aerosoles presentes en la atmósfera de Buenos Aires, estaban constituidas por cenizas volcánicas, empleándose para ello información proveniente de un fotómetro-solar CIMEL, de la red AERONET/NASA (AEROSOL ROBOTIC NETWORK), ubicado en el laboratorio de la División Lidar. También, el origen y recorrido de las cenizas fue observado mediante imágenes satelitales del AQUA y MODIS.

Las alturas de las plumas de cenizas fueron registradas durante los días 9 y 10 de mayo, empleándose un Sistema Lidar Multilongitud de Onda.

Adicionalmente, se estudiaron los efectos producidos por dichos aerosoles sobre la radiación

visible y ultravioleta en superficie en el rango UVA y UVB.

II. SITIO EXPERIMENTAL E INSTRUMENTOS

Las experiencias se realizaron en la División Lidar del CEILAP (34°33' S, 58°30' O, 10 msnm), la cual posee un conjunto de instrumentos de sensado remoto pasivo y activo. Uno de los instrumentos empleados en las mediciones es el sistema lidar (light detection and ranging), construido para el sensado remoto de la atmósfera desde los 300 m hasta la tropopausa, pudiendo obtener la evolución temporal de los perfiles espaciales de extinción y retrodifusión de aerosoles locales y de transporte, como así también la evolución de la Capa Límite Atmosférica (CLA) y la distribución espacial y temporal del vapor de agua⁽³⁾.

El fotómetro-solar CIMEL (modelo CE318)⁽⁴⁾ de NASA, que opera conjuntamente al instrumento lidar, realiza mediciones de la atmósfera en columna total. Las mediciones realizadas son automáticamente enviadas a NASA, quien posteriormente las publica en su website, en diferentes niveles: nivel 1 datos crudos, nivel 2 extracción de nubes y nivel 3 extracción de nubes y calibración. El Espesor Óptico de Aerosoles o AOT (Aerosol Optical Thickness), el coeficiente de Angström y la distribución del tamaño de partículas⁽²⁾ para Buenos Aires son los productos de AERONET que se emplean en esta publicación.

En este análisis también se emplearon sensores remotos pasivos: radiómetro UV-B (Biómetro MS-210D, EKO 280-320nm), radiómetro UV-A (MS-210A, EKO, 315-400nm) y piranómetro CM11 (K& Z, 305nm – 2.8 µm).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguimiento de las plumas de cenizas mediante imágenes satelitales

Mediante el empleo de imágenes satelitales se realizó un seguimiento de las plumas de cenizas inyectadas en la atmósfera por el volcán Chaitén. En las figuras 1, 2 y 3 pueden verse imágenes satelitales de las plumas de cenizas emitidas por el volcán, para los días 6, 8 y 10 de mayo de 2008, en los canales visibles del AQUA y MODIS, a bordo del TERRA, respectivamente, transportadas y dispersadas por los vientos predominantes del Oeste y Sur hacia la provincia de Buenos Aires.

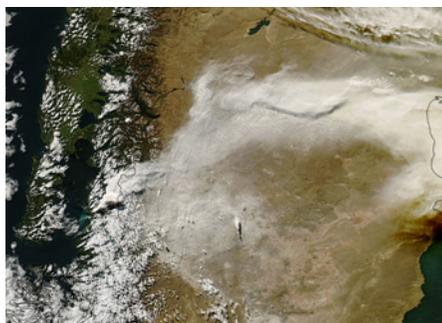


Figura 1. Imagen satelital AQUA, 6 mayo de 2008.

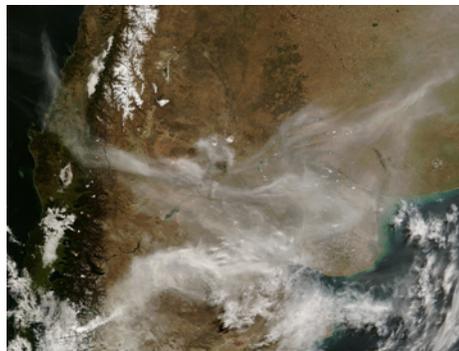


Figura 2. Foto satelital TERRA 8 mayo de 2008.



Figura 3. Imagen satelital TERRA del 10 mayo de 2008.

Análisis de la influencia de las cenizas con lidar y fotómetro solar

Basados en el análisis de imágenes satelitales y reportes de pilotos, el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas de Buenos Aires (VAAC) informó que plumas de cenizas provenientes del Chaitén estuvieron presentes continuamente entre el 7 y el 13 de mayo, y durante el 7 al 9 de mayo éstas ascendieron a altitudes entre 6,1 y 10,1 km snm.

En los días siguientes a la erupción del volcán, los vientos en la zona media de la atmósfera transportaron las cenizas hacia la provincia de Buenos Aires. En las imágenes satelitales de las figuras 2 y 3 se muestra una densa nube de cenizas sobre todo el sur de la provincia de Buenos Aires. Los vientos predominantes del SSO entre 2 y 5 km/h, transportaron estas partículas en suspensión hacia la Capital Federal. Esto se evidencia en el aumento del espesor óptico de aerosoles medido por el fotómetro solar de la red AERONET operativo en el CEILAP.

En la figura 4 puede verse la evolución temporal del espesor óptico de aerosoles en 440 nm, apreciándose un aumento significativo para los días 8, 9 y 10 de mayo, alcanzado valores 7 veces mayores a su valor normal.

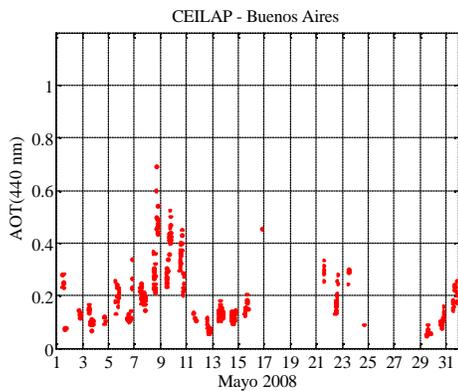


Figura 4. Evolución temporal del espesor óptico de aerosoles en 440 nm medido con fotómetro solar Cimel AERONET/NASA en Buenos Aires.

Con el sistema Lidar, se midió durante los días 9 y 10 de mayo la evolución en altura del arribo de plumas de aerosoles de transporte. Por medio de las imágenes satelitales y el modelo de viento HYSPLIT se determinó que las plumas de cenizas provinieron del volcán Chaitén. Se realizaron mediciones en forma continua desde el viernes 9 a las 6:50 hs, hasta las 18 hs del sábado 10. La figura 5 muestra la señal lidar corregida en rango para la longitud de onda de 1064 nm con resolución espacial de 7.5 m y temporal de 1 min. Es posible observar la presencia de plumas de cenizas durante las primeras horas de medición alrededor de los 5500 m, con un espesor promedio de 450-500 m. Aproximadamente a las 13 h (hora local=UTC-3) se comenzó a visualizar una capa de cenizas más baja centrada en 2600 m que persistió durante el resto del día viernes y durante todo el día sábado. También, se puede apreciar como la capa de cenizas en la troposfera libre se engrosó durante el transcurso del día sábado.

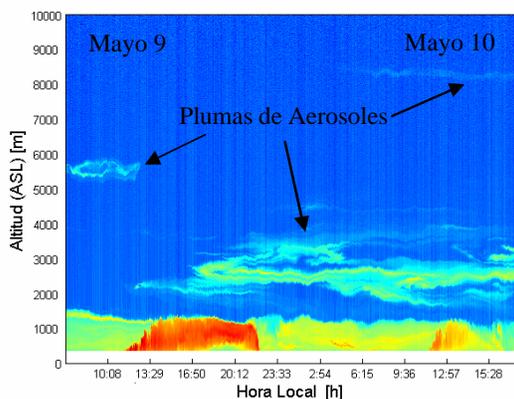


Figura 5. Evolución temporal de la señal lidar corregida en rango para la longitud de onda de 1064 nm. Por encima de los 1500 m se observan las nubes de cenizas provenientes del volcán Chaitén.

En la imagen lidar se puede apreciar que, la pluma de cenizas centrada en los 5500 m desaparece del campo de visión del instrumento a las 13:30 hora local. En ese momento se registró que la dirección de los

vientos en este nivel, cambió a la dirección oeste noroeste y cesó el transportar cenizas sobre el instrumento lidar. Por el contrario, en capas medias de la troposfera la dirección del viento fue del sector Sur Oeste durante todo el día jueves 8 de mayo, mientras que el viernes luego de un momento de calma, producto del paso sobre la provincia de Buenos Aires de un sistema de alta presión, el viento volvió a soplar del Sureste en el nivel de los 800 mb (2000 m aprox.) favoreciendo el transporte de las cenizas dispersas en el sur de la provincia de Buenos Aires y el mar hacia la ciudad de Buenos Aires. En la figura 6 se muestra el Registro meteorológico de la dirección y velocidad el viento para los días de estudio.

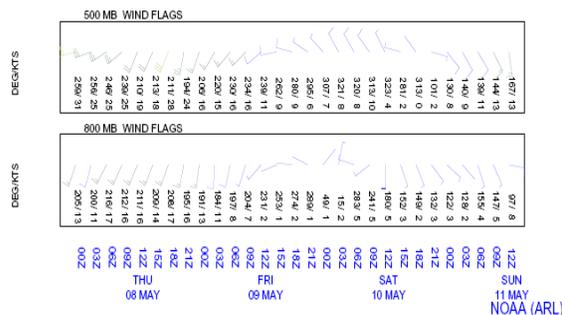


Figura 6. Registro meteorológico de la dirección y velocidad el viento desde el 8 al 11 de mayo. Panel superior: nivel de 500 mb, aprox. 5000 m; panel inferior: nivel de 800 mb, aprox. 2000 m. El registro hora rio se encuentra en hora UTC: 03Z=03 UTC 0 h local.

Caracterización de aerosoles como cenizas

La distribución de tamaños de aerosoles presentes sobre la ciudad de Buenos Aires se obtuvo como un subproducto de la inversión de los datos de espesor óptico de aerosoles medidos por el fotómetro solar perteneciente a la red AERONET/NASA.

Cabe mencionar que la distribución de tamaño de los aerosoles típica de Buenos Aires, es bimodal, con su primer modo dominante (es decir, predominan partículas de radio medio menor a $1\mu\text{m}$). En la figura 7 puede observarse como la distribución para los días 6 a 10 de mayo, en los que se registra intrusión, es diferente, cambiando a una distribución con un segundo modo dominante (partículas con radio medio mayor a $1\mu\text{m}$). Este segundo modo se debió a la influencia ejercida por la presencia de cenizas en la atmósfera, ya que predominaron partículas con radios medios mayores a $1\mu\text{m}$ ⁽⁶⁾.

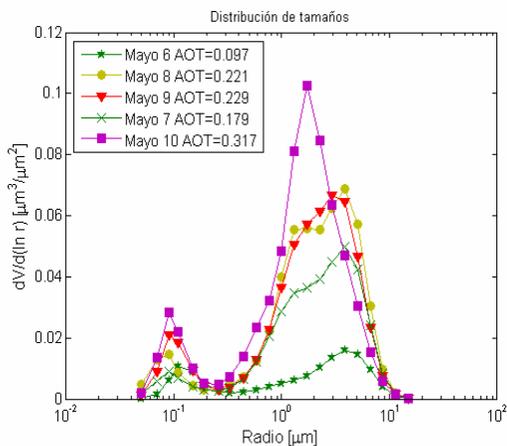


Figura 7. Distribución de tamaños de aerosoles obtenidos como subproductos de las mediciones del fotómetro solar Cimel AERONET/NASA.

Influencia de las cenizas sobre la radiación UV y visible

Utilizando instrumentos de sensado remoto pasivo, se pudo evaluar el impacto que las cenizas tuvieron en la atenuación de la radiación solar. Las comparaciones de las irradiancias solares medidas en plano horizontal entre un día sin cenizas y un día con cenizas, nos permitieron evaluar el porcentaje de atenuación que las mismas produjeron sobre la radiación solar en distintas regiones del espectro electromagnético.

Como día de referencia para esta comparación se eligió el 7 de mayo, mientras que el día estudiado fue el 9 de mayo. En las figuras 8, 9 y 10 se presentan mediciones del flujo solar visible, de la irradiancia solar UVA y UVB, respectivamente.

De los gráficos se deduce que la atenuación al mediodía solar producida por las cenizas para el día 9 de mayo fue del 6,6 % en el visible, 13,1 % en el UVA y del 16,1 % en el UVB.

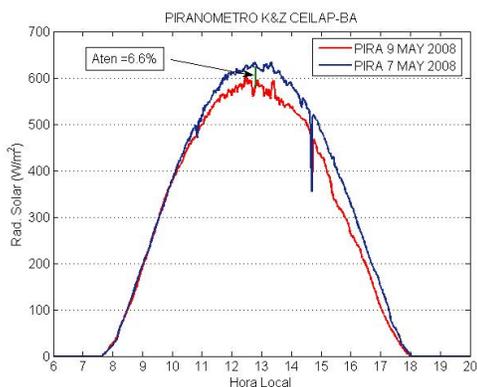


Figura 8. Flujo solar visible medido por el piranómetro CM11 K&Z en el CEILAP para los días 7 de mayo (sin cenizas) y el 9 de mayo (con cenizas).

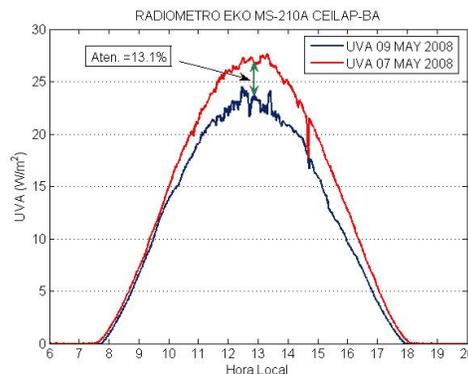


Figura 9. Irradiancia solar UVA medida por el radiómetro EKO MS-210 A para el 7 y el 9 de mayo.

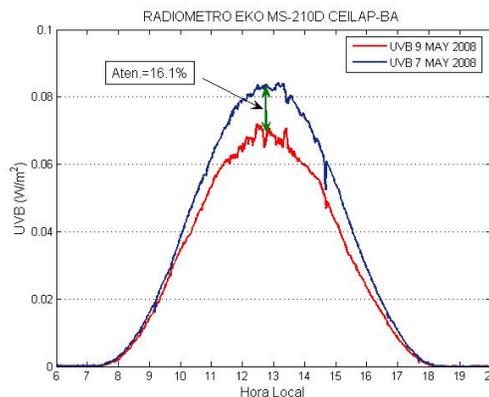


Figura 10. Irradiancia eritémica (UVB + filtro simula piel) medida por el radiómetro EKO MS-210D para el 7 y el 9 de mayo.

IV. Conclusiones

Por medio de datos de AERONET/NASA se determinó que las plumas de aerosoles observadas sobre Buenos Aires entre los días 7 a 10 de mayo del 2008, estuvieron conformadas por partículas con radios medios mayores a $1\mu\text{m}$. como ocurre en una atmósfera con predominio de cenizas volcánicas.

Mediante el empleo de imágenes satelitales, se pudo corroborar que las cenizas registradas en Buenos Aires provinieron del volcán Chaitén. Los vientos predominantes del Sur y Sudoeste transportaron las cenizas presentes en el sur patagónico dispersándolas en el cielo de Buenos Aires.

Se observó además que, los elevados espesores ópticos de aerosoles registrados, provocaron el día 9 de mayo una disminución de la radiación en superficie, del orden de 6,6% (en el visible), 13,1% (en el UVA) y de 16,1% (en el UVB) respecto del día 7 de mayo.

De importancia para la aeronavegación, por sus efectos de disminución de la visibilidad, y de interés para la ejecución de modelos climáticos, se presentó una imagen del arribo de plumas de cenizas y su evolución continuamente durante los días 9 y 10 de mayo, tomadas con la línea elástica de 1064 nm del sistema lidar del CEILAP. Las plumas registradas rondaron los 2,5, 5,5 y 8,5 km. snm. De esta imagen, además, resulta importante destacar en cuanto a calidad del aire que, si

bien la pluma de cenizas más baja se encontró a alturas que alcanza la Capa Límite Atmosférica de Buenos Aires en ciertas ocasiones, durante la medición no se registró contacto.

V. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a este trabajo a las siguientes instituciones: JICA, ANPCyT, CONICET, CONAE, CITEFA y muy especialmente a Belén Benzo, Silvina Brusca, Jesica Mlacak y Mirta Rinaldi por su indispensable apoyo.

VI. Referencias

1. Manríquez Tirado, H., El Volcán Chaitén (www.igm.cl/39_Chaitén.html), Geógrafo, 2008.
2. Tesis Doctoral "Estudio de las propiedades ópticas de aerosoles en Argentina con técnicas de sensado pasivo y activo de la atmósfera.", Lidia Ana Otero, FIUBA, 2007.
3. Otero L., P. Ristori, J. Dworniczak, O. Vilar, E. Quel. "Nuevo sistema lidar de seis longitudes de onda en el CEILAP". Anales AFA (Asociación Física Argentina), Vol. 18 282-285, ISSN: 0327-358 X ISSN (Online) 1850 - 1158, Asociación de Física Argentina, Editor Dr. Roberto Gratton (2007).
4. Holben B., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov. AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization. Remote Sens. 12, 1147-1163, 1991.
5. Holben B., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov, "AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization", Remote Sens. Environ., 66 (1), 1-16, [doi:10.1016/S0034-4257(98)00031-5], 1998.
6. Mather T. A. and D. M. Pyle, Tropospheric Volcanic Aerosol, Volcanism and the Earth's Atmosphere, Geophysical Monograph 139, Copyright by the American Geophysical Union 10.1029/139GM12, 2003.