

# DETECCIÓN, MONITOREO Y EFECTOS PRODUCIDOS POR PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA DURANTE 2009 SOBRE ARGENTINA CON DATOS DE SENSORES REMOTOS

Inés Velasco<sup>1</sup> - Silvana Carina Bolzi<sup>2</sup> - Diana Rodriguez<sup>2</sup>  
Adriana Burés<sup>2</sup> - Mónica Marino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Cs. de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN-UBA.  
Ciudad Universitaria, Pab. 2, (1428) CABA, Argentina. 54-11-4576-3356, [velasco@at.fcen.uba.ar](mailto:velasco@at.fcen.uba.ar)  
Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, Departamento Estación Satelital HRPT.  
Av. de los Constituyentes 3454, (1427) CABA, Argentina.

<sup>3</sup>Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación  
25 de Mayo 658, (1002) CABA, Argentina

## RESUMEN

En este trabajo se documentan distintos episodios de nubes de polvo y de sal que se produjeron sobre el territorio Argentino durante el año 2009, originados en parte, como consecuencia de una importante sequía. Para el estudio se usan datos de los sensores AVHRR y MODIS que fueron calibrados y procesados para obtener las variables físicas y productos derivados. Como una primera aproximación del impacto ambiental de los fenómenos mencionados se analiza y discute el efecto de la presencia de partículas en la atmósfera sobre el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y el error que pueden contener estos valores cuando son generados automáticamente por algoritmos que no filtran los efectos de una fuerte presencia de aerosol. Los resultados indican que algunos mapas del NDVI podrían estar indicando una “falsa sequía”, resultante del impacto del polvo presente en la atmósfera sobre las respuestas espectrales de las bandas reflectivas.

## 1.- INTRODUCCION

La presencia de grandes cantidades de polvo, arena o sal en la atmósfera pueden ser detectadas por los instrumentos ubicados en distintos sistemas o plataformas espaciales. El origen de las mismas está vinculado en la mayoría de los casos, a la existencia de grandes superficies desérticas en distintas regiones del planeta. Sin embargo, el progresivo cambio del uso del suelo, como el introducido por el reemplazo de forestación natural por cultivos de granos y actividades de sobrepastoreo han favorecido la aparición de áreas expuestas del suelo en todo el planeta, incluyendo nuestro país

[1], desde las cuales el viento, dependiendo de su intensidad, puede levantar las partículas del suelo hasta distintas alturas, y a grandes distancias. La estabilidad vertical de la atmósfera es otra variable que influye en la distribución de las partículas.

Como fenómeno meteorológico, para las tormentas de polvo en nuestro país, no se cuenta con datos estadísticos, ya que hay dificultades desde como estos fenómenos son definidos por la *World Meteorological Organization* (WMO) [2] hasta las normas de codificación para los partes meteorológicos [3]. Una revisión de las estadísticas climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina indica que recién en el período 1991-2000, se

incluye entre los fenómenos de tiempo presente lo que la WMO define como “tempestad de polvo y arena”. En cuanto a estudios de casos particulares se pueden citar los realizados por [4].

La ocurrencia de estas tormentas de polvo produce altas concentraciones de partículas en el aire que pueden causar impactos negativos en la salud de los seres vivos y en numerosas actividades de la sociedad. El transporte terrestre y aéreo es una de las actividades más perjudicadas y las autoridades responsables de la seguridad aeronáutica están demandando definiciones más precisas de los códigos, pero por sobre todo de los alertas de ocurrencia y de su pronóstico. Además, el incremento de la turbidez del aire, por la presencia de aerosoles afecta al clima de diversas maneras, al afectar directa o indirectamente el balance de radiación en la atmósfera. El efecto directo tiene que ver con las propiedades selectivas de absorción, dispersión y emisión de los posibles componentes del aerosol atmosférico. Estos procesos producen una redistribución en la energía de la atmósfera proveniente de la radiación solar y terrestre y pueden producir calentamientos o enfriamientos dependiendo del tipo y distribución de los aerosoles.

Los datos obtenidos con sensores remotos instalados en distintos sistemas satelitales han contribuido en forma muy importante a la detección [5], monitoreo, comprensión y desarrollo de estrategias para la mitigación de numerosos fenómenos naturales de impacto desfavorable en el ambiente y la sociedad entre los que se encuentran los citados anteriormente. Un caso que se puede citar como ejemplo es el problema del mar de Aral [6] para el cual los datos satelitales se usaron intensamente junto con los sistemas de información geográfica, tanto para su estudio como para proveer las bases necesarias para desarrollar medidas paliativas con sustento científico.

En este trabajo se documentan a través de imágenes de los sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) y AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer/3),

tres ejemplos de nubes de polvo que se produjeron durante el año 2009 en la provincia de Buenos Aires y un caso en el que la misma imagen se pueden observar nubes de humo (plumas) ocasionadas por incendios y nubes de sal originadas en el entorno de la Laguna de Mar Chiquita, ambos fenómenos en la provincia de Córdoba. Además, se evalúa el impacto del aumento del aerosol atmosférico en el cálculo del índice de vegetación normalizado comúnmente designado por sus siglas en inglés (NDVI) y se plantean futuras líneas de trabajo en el tema, incorporando datos in situ y uso de modelos numéricos para su mejor comprensión y pronóstico.

## **2.- CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Durante el año 2008 todo el cuadrante de Argentina, delimitado aproximadamente por los paralelos 25°S a 45°S y los meridianos 55°O a 65°O presentó un patrón de déficit de precipitación del orden del 40 al 60%, según un informe especial del Servicio Meteorológico Nacional [7]. En particular la provincia de Buenos Aires en el último trimestre del 2008 alcanzó los registros más bajos desde 1961, [7]. Durante Enero 2009 persistieron las mismas condiciones, destacándose la alta continuidad de días sin registros de precipitación [7]. En Febrero continuó este régimen, con la excepción que se dieron algunas precipitaciones muy intensas en forma aislada y puntual. Estas condiciones de extrema sequía condujeron a una reducción muy importante de la cobertura vegetal, a una reducción de los espejos de agua y en algunos casos a su desaparición, con la consiguiente salinización de las superficies expuestas. Cuando a estas condiciones de suelo se suma el factor meteorológico de vientos intensos las partículas del suelo son despegadas y arrastradas, dando origen a torbellinos, plumas, nubes y eventualmente, tormentas de polvo.

Durante el mes de Agosto del 2009 las temperaturas fueron muy superiores a las

normales, siendo este Agosto uno de los más calurosos de los últimos 50 años en el centro y norte del país y las precipitaciones registradas muy inferiores a las normales, salvo eventos puntuales aislados [7]. En particular, la última semana de Agosto en esta zona, además de temperaturas extremadamente altas, se registró una gran sequedad en la atmósfera, acompañada de vientos superiores a los 50 km/h favoreciendo el inicio y perduración de incendios en las áreas rurales y/o reservas naturales.

Dentro del contexto climático descrito se produjeron diversos episodios de nubes de polvo que fueron documentados desde el espacio por el MODIS Rapid Response Team, Goddard Space Flight Center, que pueden verse en <http://earthobservatory.nasa.gov/> y otros por Mattio [4]. En particular, en la Estación Satelital HRPT del SMN, se capturaron los datos correspondientes a tres casos de tormentas de polvo y otro de sal coincidente este último episodio con la ocurrencia de nubes de humo y son los que se analizan en el presente trabajo.

## 2.- METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El enfoque inicial fue inspeccionar visualmente las imágenes de los distintos eventos realizadas con pseudocolor para destacar la presencia de nubes, y luego analizar las respuestas espectrales de las imágenes por bandas dado que la presencia de nubes de polvo o de partículas de agua y/o hielo en las primeras imágenes pueden tener una apariencia similar, así como en algunas de las bandas individuales de los sensores usados, por lo que fue necesario el uso simultáneo de distintas bandas.

### Casos estudiados

1) El 17 de Febrero de 2009, se registró la presencia de una nube de polvo, principalmente en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires, que se extendía en dirección sudeste sobre el Océano Atlántico, apareciendo más débil e

indicando en su aspecto plumoso una curvatura anticiclónica (Figura 1), capturada por el sensor MODIS Aqua. En la Figura 2 se puede apreciar para la misma hora la imagen visible (0.469  $\mu\text{m}$ ), sobre la que se marcan dos transectas en las que se muestran los valores de reflectividad, que contrastan con el fondo, pero que son inferiores a los característicos de nubes de agua, como se verá en el caso siguiente.



Figura 1. 17/02/09, 18:35UTC, MODIS RGB 143

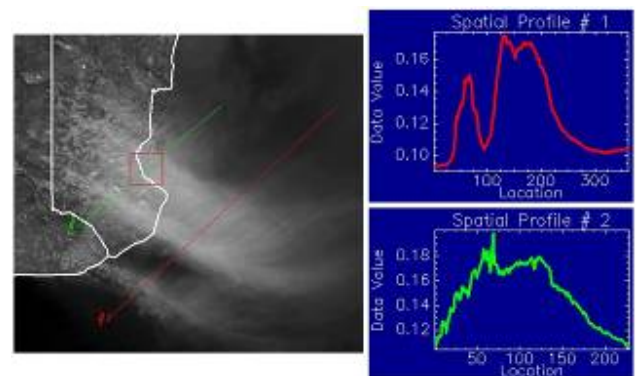


Figura 2. Ídem Fig. 1, imagen en 0.469 $\mu\text{m}$  y respuesta espectral sobre transectas.

2) El caso ilustrado a continuación corresponde a otra nube de polvo observada el 16 de Marzo de 2009, originada también en el sur de la provincia de Buenos Aires que se extiende en este caso en dirección nornordeste, con un patrón más uniforme que en el caso anterior

donde se distinguía en las nubes un aspecto plumoso (Figura 3). En la Figura 4 se muestra la imagen visible (0.469  $\mu\text{m}$ ) para la misma hora, conjuntamente con una serie de transectas donde se puede notar claramente como la nube de polvo si bien tiene mayor reflectividad que el fondo, ésta es bastante menor que la de las nubes (ver transectas 1 y 3) donde también es posible diferenciar la reflectividad de las nubes según el tipo.

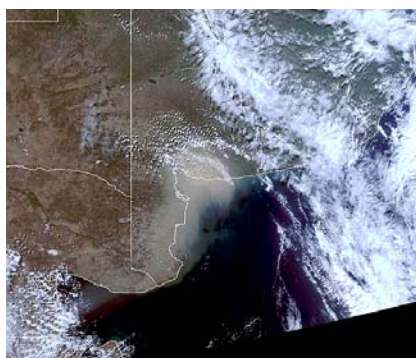


Figura 3. 16/03/09, 18:20UTC, MODIS RGB 143.

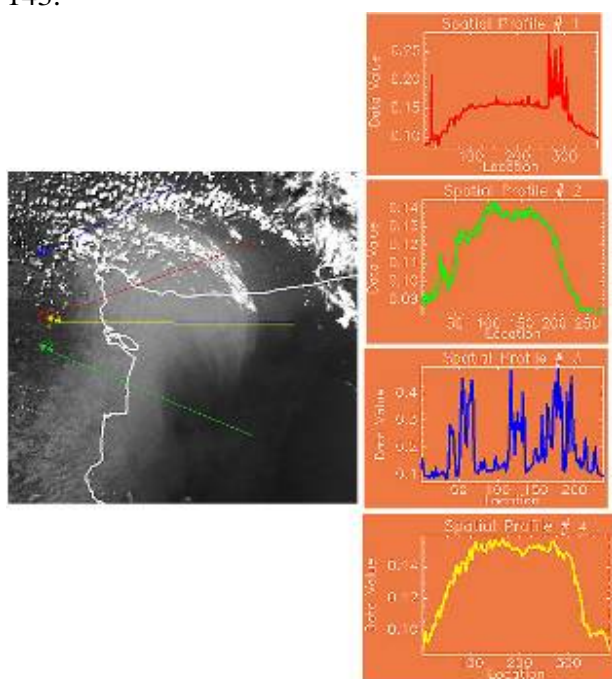


Figura 4. Ídem Fig. 2 para la banda 0,469 $\mu\text{m}$ .

Las imágenes para los dos ejemplos fueron obtenidas en formato crudo de

<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime>, con 500 m de resolución y luego convertidas a radiancias y reflectancia y finalmente georeferenciadas.

3) El 5 de Noviembre de 2009, una nube de polvo originada en el centro de la provincia de Buenos Aires fue captada por el sensor AVHRR/3 (MetOp-A), a las 12:57 UTC, (Figura 5). La nube es más claramente discernible sobre el Océano Atlántico, donde el contraste de brillo nube/fondo es mayor. También es posible observar el cambio en la dirección del viento cuando la nube penetra en el mar y en su región sur experimenta un giro ciclónico. En la Figura 6, de la imagen VIS (0.63  $\mu\text{m}$ ) se puede apreciar la reflectividad de la nube de polvo contrastando con el suelo de fondo. Esta modificación de la reflectividad va a producir cambios en los valores del NDVI (descensos) que no reflejan cambios reales en el estado de la cobertura vegetal, y que por tratarse de una nube de polvo, no es enmascarada como tal aplicando los algoritmos de rutina. En la Figura 7 se muestran en los dos cuadros superiores la imagen correspondiente de NDVI sin y con máscara de nube respectivamente, quedando evidenciado que la máscara para nubes de agua o hielo implementada en forma rutinaria operativa no detecta la nube polvo. En la misma figura en los dos cuadros inferiores se muestran para comparación los mismos resultados para una fecha próxima (10/11/09) donde se nota la uniformidad del NDVI, corroborando que la disminución observada el 05/11/09 se debió a la presencia de la nube de polvo. En la Figura 8 se presenta la misma imagen pero ahora aplicando un filtro de polvo a modo de ensayo, utilizando umbrales de reflectancia tomados de la transecta de la Figura 6, pero que requiere mayores investigaciones. Éste, si bien enmascara claramente la nube de polvo, también incluye regiones de bajo NDVI y áreas urbanas. Los datos fueron obtenidos de <http://www.class.ngdc.noaa.gov/>.

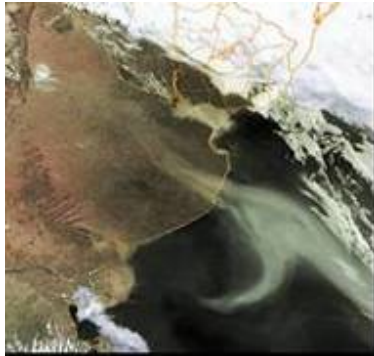


Figura 5. 5/11/09, 12:57UTC, AVHRR (MetOp-A), RGB 421.



Figura 8. Imagen de NDVI para imagen de la Fig. 5, con máscara de polvo y nube.

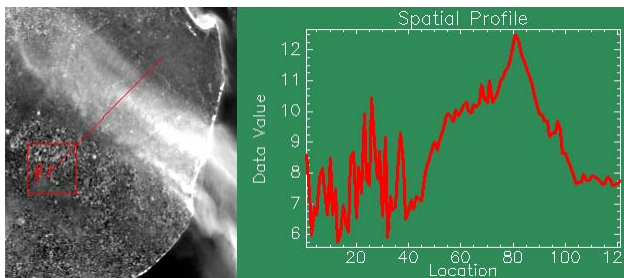


Figura 6. Ídem 5, imagen en 0.63µm y respuesta espectral sobre transecta.

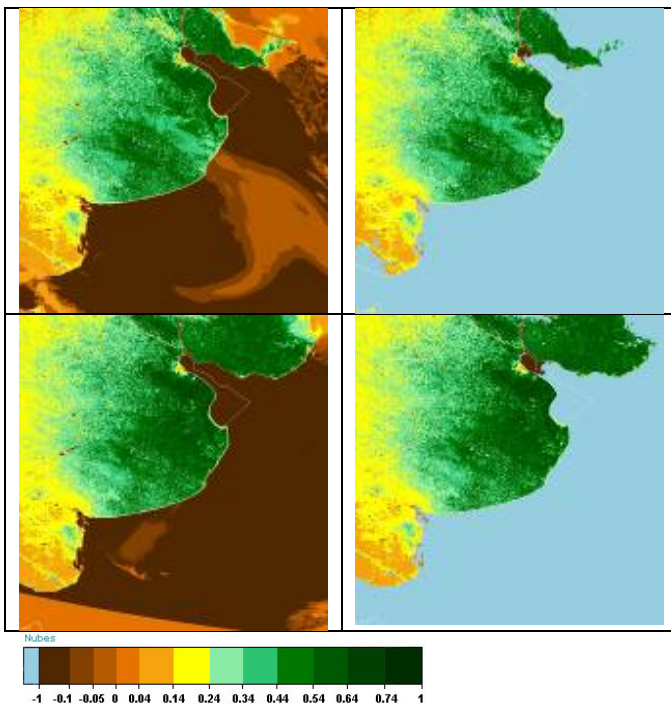


Figura 7. (Ver texto para explicación).

4) Este caso corresponde a la presencia de nubes de sal en la Laguna de Mar Chiquita y de plumas de humo más al sur. Si bien el caso presentado se da en condiciones climáticas excepcionales, las tormentas de sal en las proximidades de esta laguna son un hecho recurrente. Esta laguna ubicada en el NE de la provincia de Córdoba es el lago más grande de Argentina y el quinto lago salado más grande del mundo. ([www.promarmarchiquita.com.ar](http://www.promarmarchiquita.com.ar)). Según el Centro de Zoología Aplicada de la Universidad Nacional de Córdoba la superficie de la laguna ha oscilado a lo largo de los años, y en las tres últimas décadas esta variación ha sido documentada con imágenes de satélite (ver por Ej. [8]). Estas oscilaciones de la superficie de agua se manifiestan muy fuertemente en la costa norte debido a que tiene pendientes muy suaves dejando expuestas importantes superficies cubiertas de sal. Cuando estas superficies son barridas por vientos fuertes como el caso que presentamos (superior a los 50 km/h), la sal es levantada del suelo y forma plumas de sal que llegan a grandes distancias, dando origen a distintas consecuencias, que van más allá del objeto del presente estudio. En la Figura 9, una primera apreciación visual conduciría a identificar la presencia de nubes de sal cruzando la Laguna de Mar Chiquita en dirección norte-sur, y al sur y suroeste de ella varios focos de incendios desde los cuales se desprenden pequeñas plumas de humo, que al igual que las nubes de sal se orientan con el viento en

dirección norte-sur. Sin embargo, un análisis cuantitativo de las respuestas espectrales en las bandas reflectivas y térmicas indicaría la presencia de nubes de agua.

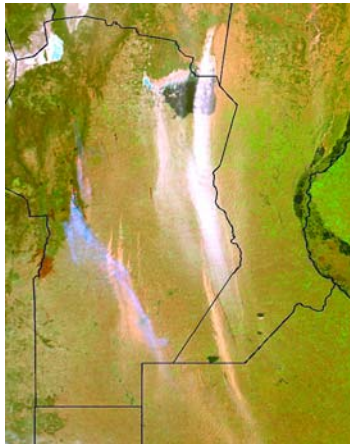


Figura 9. 29/08/09, 17:39UTC, MODIS. RGB 721.

En la Figura 10 se muestra la imagen en 0.469  $\mu\text{m}$  donde se aprecian diversas plumas de humo con distinto grado de desarrollo y las respuestas espectrales sobre rectas que las cruzan en zonas con distinto grado de reflectividad con valores máximos superiores a los registrados para las nubes de polvo, incluyendo tal vez alguna nube de agua formada por condensación del vapor de agua en las partículas del humo.

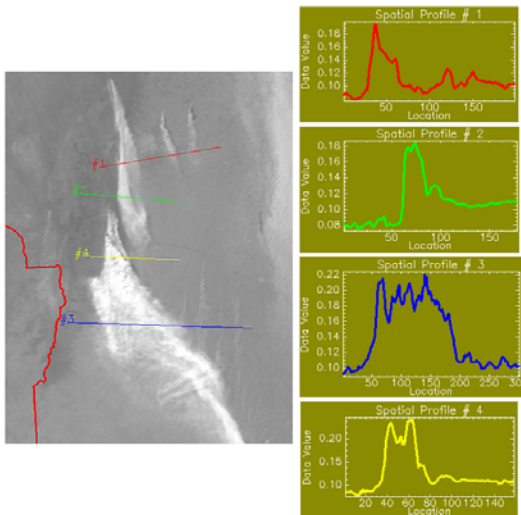


Figura 10. Ídem Fig. 9, respuestas espectrales sobre humo en 0.469  $\mu\text{m}$ .

Los análisis de las respuestas espectrales sobre lo que se asume es una nube de sal indican que los valores de reflectividad en su máxima expresión son semejantes a los de las nubes de humo (Figura 11). En este caso también se podría especular sobre un efecto de condensación sobre las partículas de sal que pueden actuar como efectivos núcleos de condensación.

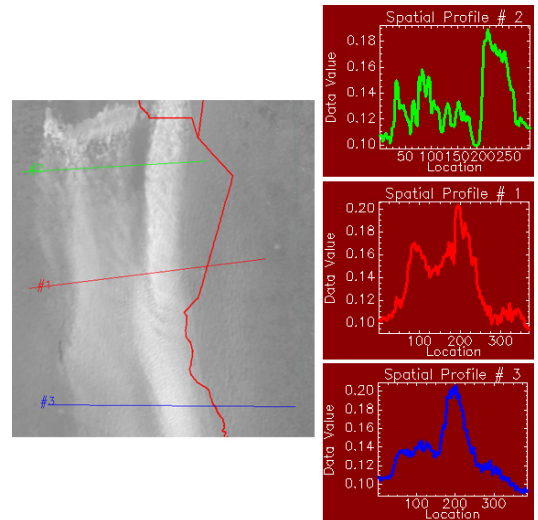


Figura 11. Ídem Fig. 9, respuestas espectrales sobre nube de sal en 0,469  $\mu\text{m}$ .

Una vista de la imagen térmica se puede ver en la Fig. 12. Las respuestas sobre las líneas se muestran en la figura 13.

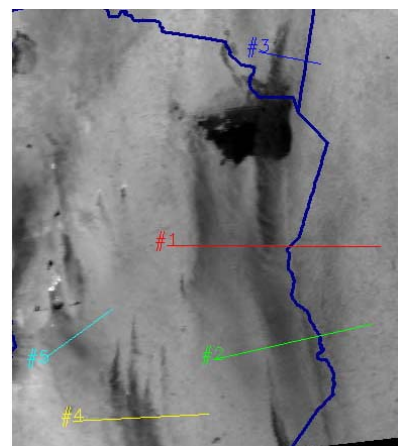


Figura 12. Ídem Fig. 9, banda centrada en 11,03 $\mu\text{m}$ .

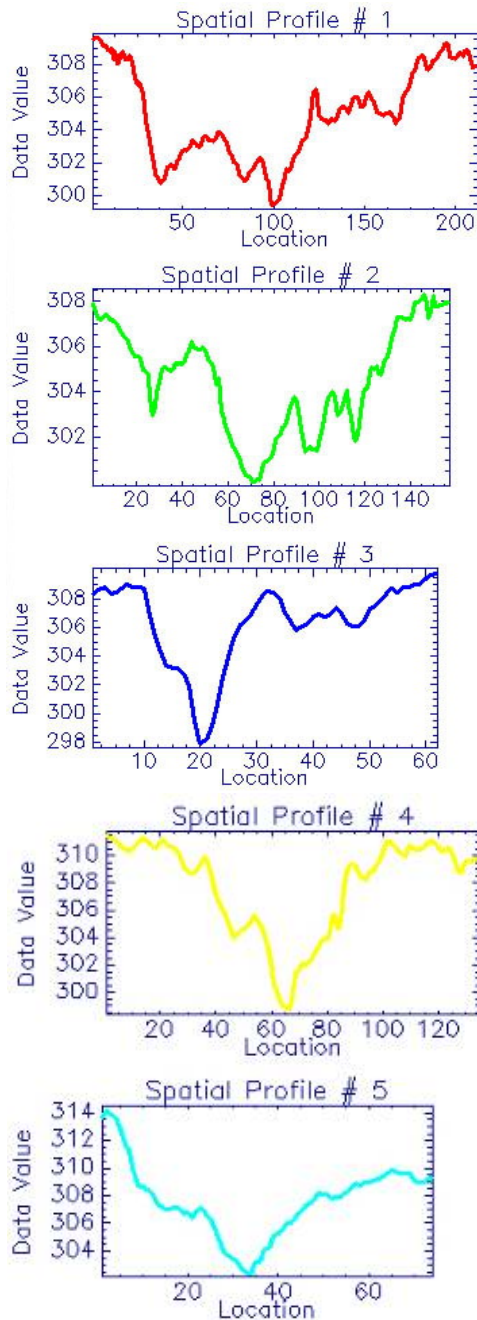


Figura 13. Respuestas de temperatura radiante sobre distintas transectas en la imagen de la Fig. 12.

Una inspección de la Figura 13 indica diferencias de temperatura entre el suelo despejado y la nube de algo más de 10 grados, esto estaría indicando que los topos de esta nube

podrían estar alcanzando los 1000 a 1500 m de altura sobre superficie.

En la imagen correspondiente de NDVI (Fig. 14), las nubes de humo y sal se manifiestan con valores inferiores a 0,14. Si se compara esa imagen con la del 12/09/09, (Fig. 15), en las que por ejemplo, la superficie de agua de la laguna aparece con valores de NDVI negativos, se nota la presencia de la nube de sal sobre la laguna. Si bien en el periodo que separa las dos imágenes puede haber existido algún desarrollo en la vegetación, en rasgos generales en la primera fecha hay una alteración del índice de vegetación por la presencia de altas concentraciones de aerosol introducidos por las nubes de humo y sal.

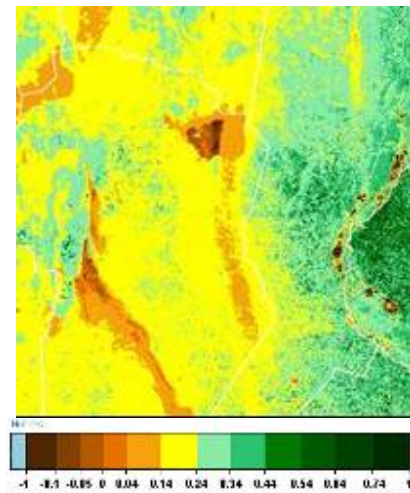


Figura 14. 29/08/09, 17:39UTC, MODIS. NDVI.

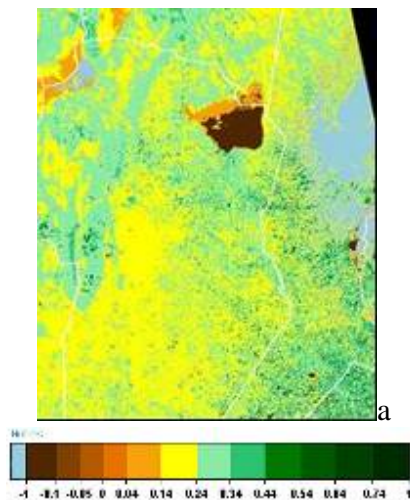


Figura 15. 12/09/09, 17:55UTC, MODIS. NDVI

## CONCLUSIONES

Los casos estudiados muestran cómo los datos obtenidos con los satélites de órbita polar NOAA y MODIS contribuyen a detectar las fuentes de origen de las nubes de polvo, humo y sal, lo que permitiría desarrollar una climatología de estos fenómenos, y dar información de base para su caracterización y predicción.

Sin embargo, a la luz de los resultados mostrados, aunque el número de casos es limitado, indican que si bien el uso de los datos provistos por los sensores remotos es promisorio, es necesario hacer mayores investigaciones para establecer algoritmos válidos para la detección y catalogación con criterio científico de los fenómenos descriptos.

Queda también documentado, como un aumento marcado del aerosol atmosférico modifica productos derivados de los datos satelitales como el NDVI, que cuando son calculados operativamente pueden contener información errónea, siendo necesario establecer filtros distintos de los que se aplican en general para las nubes.

## REFERENCIAS

[1] SOLBING O. T, MORELLO J. (1997). **Reflexiones generales sobre el deterioro de la capacidad productiva de la Pampa Húmeda Argentina.** *¿Argentina granero del mundo: hasta cuando?. Publicado por CEA-UBA. Harvard University. INTA. 21-24.*

[2] WMO No. 407 - **Manual on the Observation of Clouds and other Meteors**

[3] WMO No. 306 – **Manual on Codes.**

[4] CLAUDIO A. MATTIO (2010). **Aplication of the meteosat second generation satellite to monitoring events of volcanic ash and dust storms in the republic of Argentina.** <http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUM>

[ETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2010/SP\\_2010129112551446?l=en](http://www.etsat.org/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2010/SP_2010129112551446?l=en)

[5] LENSKY I. M., ROSENFELD D., (2008). **Clouds-Aerosol-Precipitation Satllite Analysis Tool (CAPSAT).** *Atoms. Chem. Phys.*,8, 6739-6853.

[6] MICKLIN P. (2008). **Using satellite remote sensing to study and monitore the Aral Sea and adjacent zone.** *Environmental Problems of Central Asia and their Economical, Social and Security Impacts. NATO Science for Peace and Security, Series-C: Environmental Security, 30-57.*

[7] Servicio Meteorológico Nacional. (2008, 2009). **Boletines Climatológicos.** <http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=50>

[8] VELASCO I., GONIADZKI D., ALMEIRA G. (1997). **Monitoreo de ambientes lacustres con imágenes NOAA-AVHRR sobre territorio argentino.** *Anales de la 7ª Conferencia Internacional sobre Conservación y Gestión de Lagos. 1-4. San Martín de los Andes, Argentina.*