

# Detección de cambios en la superficie originados por distintos fenómenos naturales usando sensores remotos

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

<sup>1</sup>Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Investigación, Capacitación y Desarrollo, Departamento Estación Satelital HRPT.  
Av. de los Constituyentes 3454 (1427) CABA, Argentina.  
[cbolzi@smn.gov.ar](mailto:cbolzi@smn.gov.ar). +5411 51676716.

<sup>2</sup> Dpto. Cs. de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN-UBA.

<sup>3</sup>Servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Investigación, Capacitación y Desarrollo.

## RESUMEN

Durante el transcurso del año 2009 un gran sector del territorio argentino estuvo afectado por una intensa sequía, mientras que otras regiones menores experimentaron tormentas muy severas que produjeron lluvias localmente intensas y hasta tornados. En este trabajo se presentan tres ejemplos de cómo estos fenómenos producen cambios en las coberturas del suelo que pueden ser detectados y evaluados en severidad y extensión, usando los datos provistos por sensores remotos. Como consecuencia de la intensa sequía que afectó en particular a la provincia de Córdoba, se produjeron en ésta numerosos incendios de pastizales y un notorio decrecimiento del área de importantes espejos de agua. Para la detección de focos de incendio se usaron datos MODIS/AQUA permitiendo determinar la ubicación de los focos de fuego y evaluar el área afectada, documentando los cambios producidos en la vegetación. En el NE de Argentina se experimentaron tormentas muy severas y se produjo un tornado sobre la zona selvática de la provincia de Misiones y en un área lindante de Brasil. Con datos MODIS/AQUA se logró evaluar la traza del tornado a través del daño producido en la vegetación. Como ejemplo de la modificación de los espejos de agua se presenta el caso de la variación observada sobre el Lago San Roque en Córdoba. En este caso se usaron datos del sensor MMRS/SAC-C y MODIS/AQUA.

Palabras claves: cambios en superficie, fenómenos naturales, incendios, tornados, espejos de agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el año 2009, Argentina fue afectada por varios fenómenos naturales adversos. Varios fueron consecuencia del déficit de precipitaciones en gran parte del país, y otros en menor número y muy localizados, estuvieron asociados a la ocurrencia de tormentas severas.

En la Figura 1, se puede apreciar que hasta Octubre de 2009 continuaban los déficits de precipitación en gran parte del país, así como en otras zonas muy localizadas se observaban excesos en las precipitaciones.

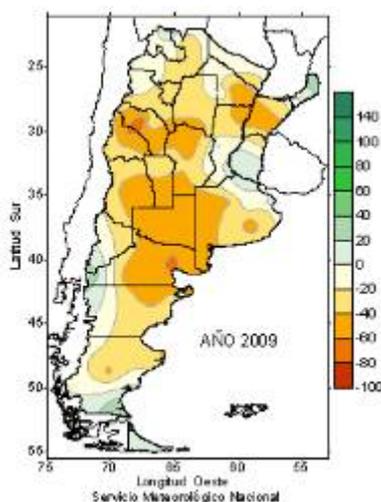


Figura 1. Desvíos porcentuales de la precipitación con respecto a la normal.

Asociado a este gran déficit hubo una extrema sequía y la provincia de Córdoba se vio afectada por varios fenómenos naturales adversos, como incendios y disminuciones extremas en los caudales de los ríos que alimentan el Lago San Roque, que provee de agua potable a la ciudad de Córdoba. Y es allí donde centramos dos fenómenos naturales causados por la intensa sequía. En contraparte, en el extremo Noreste del país, la provincia de Misiones, debido al desarrollo de tormentas locales muy intensas fue afectada por abundantes lluvias, vientos fuertes y hasta un tornado.

En este trabajo se presentan tres ejemplos de cómo estos fenómenos producen cambios en las coberturas del suelo que se detallan a continuación.

El 29/ago/2009, según fuentes periodísticas, numerosos incendios afectaban los cuatro puntos cardinales del territorio cordobés, siendo las zonas serranas las más afectadas, detectándose 22 focos de fuego. Vientos persistentes del orden de los 50 kilómetros por hora, junto con la sequía de varios meses y las elevadas temperaturas, se combinaron para agravar la situación. Según datos oficiales, en el primer semestre del 2009, se quemaron 41 mil hectáreas por incendios forestales. Además, fueron evacuadas varias poblaciones y se cortaron rutas principales, no sólo por el fuego sino también por la presencia de humo que condujo a condiciones de visibilidad nula.

El Lago San Roque tiene un Dique, construido para proveer agua a la Ciudad de Córdoba, almacenándola para la época en que las precipitaciones son escasas (de Marzo a Noviembre). Durante el año 2009 las precipitaciones que normalmente se esperan para Septiembre y Octubre no se produjeron y esto desencadenó una situación crítica en las condiciones hídricas de la región, dejando el lago prácticamente sin agua. Según fuentes periodísticas, el subsecretario de Recursos Hídricos provincial informó de un alerta medio a nivel provincial, que implicaba restricciones para el riego y el uso racional del agua potable y a niveles más localizados un alerta máximo que impone fuertes restricciones del uso del agua.

El 7/sep/2009 un tornado azotó la comuna de San Pedro, Provincia de Misiones. El fenómeno se clasificó como tornado de intensidad F4 en la escala Fujita, que corresponde a velocidades de viento entre 320 y 420 km/h, y que ocasiona daños que se califican de devastadores. En este caso el saldo fue de 10 muertos, más de 40 heridos y unos cientos de personas sin hogar (fuente: Cruz Roja Argentina).

Los sensores remotos resultan una herramienta muy eficaz para la detección y seguimiento de los cambios en superficie a distintas escalas espaciales y temporales, como ya fue demostrado en numerosos trabajos, se puede mencionar Bolzi et al. (2009), Chuvieco et al. (2002), Opazo y Chuvieco et al. (2007), Velasco et al. (1997). Yuan and Dickens-Micozzi (2002).

La detección de cambios temporales en las superficies es una de las aplicaciones más importantes de los datos provistos por los satélites, una revisión de estas técnicas fueron hechas por Lu et al. (2004), Pacifici et al. (2007).

En este trabajo se presentan resultados de aplicar técnicas para la detección de cambios en superficie afectados por fenómenos naturales, usando distintos sensores y corroborando la gran utilidad de la teledetección como herramienta para la generación de cartografía de áreas quemadas, áreas afectadas por el pasaje de tornados y monitoreo y evaluación de espejos de agua.

## **2. DATOS EMPLEADOS**

Las imágenes utilizadas, provenientes del sensor MODIS (AQUA y TERRA) con resoluciones espaciales de 250 y 500 metros, se detallan en las Tablas I y II, fueron obtenidas de la MODIS Rapid Response System, también se utilizaron imágenes del sensor MMRS del satélite SAC-C, las mismas fueron adquiridas del servidor de descarga de imágenes de la CONAE (Tabla III). En la tabla IV se muestran las bandas utilizadas del sensor MMRS, estas imágenes fueron utilizadas sin calibrar.

Tabla I. Imágenes AQUA-MODIS

Fecha	Hora UTC	Resolución	Fenómeno
27/ago/09	17:55	500 m	Incendios
29/ago/09	17:39	500 m	Incendios
12/sep/09	17:55	500 m	Incendios
31/ago/09	17:30	250 m	Tornado
14/sep/09	17:45	250 m	Tornado
19/nov/08	18:00	250 m	Lago
30/oct/09	17:55	250 m	Lago

Tabla II. Características de las imágenes.

Sensor MODIS		
Banda	Ancho (µm)	Siglas
1	0.620-0.670	VIS
2	0.841-0.876	NIR
7	2.105-2.155	SWIR

Tabla III. Imágenes SAC-C.

Fecha	Hora UTC	Resolución	Fenómeno
19/nov/08	11:55	175 m	Lago
09/oct/09	11:10	175 m	Lago

Tabla IV. Características de las imágenes.

Sensor MMRS		
Banda	Ancho (µm)	Siglas
3	0.63-0.69	VIS
4	0.795-0.835	NIR
5	1.550-1.700	SWIR

Como criterio de selección de todas las imágenes, se evaluó que la zona de estudio se encontrara en el cenit de la órbita satelital y en condiciones de poca o ninguna nubosidad.

### 3. METODOLOGIAS Y RESULTADOS

En este trabajo se utilizaron principalmente índices sintéticos como el NDVI y el NDWI para detectar y evaluar cambios en superficie producidos como consecuencia de fenómenos adversos severos, originados por fenómenos naturales, en particular incendios de pastizales, pasaje de un tornado y reducción del espejo de agua de un importante lago. Una revisión y discusión de los índices puede verse en Rodríguez et al. (2009). En dos de las evaluaciones también se hizo uso de composiciones RGB en falso color.

#### 3.1 Incendios

La detección de áreas afectadas por incendios se logra a partir de las diferencias que presentan las firmas espectrales de la vegetación quemada en contraste con la no quemada. Dichas diferencias responden principalmente a la disminución de la capacidad fotosintética de la vegetación (VIS), el cambio en su estructura (NIR), la pérdida del contenido hídrico (SWIR), o incluso en la proporción de cenizas y carbón acumulados en superficie (VIS y SWIR). Tales variaciones se manifiestan mediante un leve aumento de la energía reflejada en el espectro VIS, una caída notable en la región del NIR, y un comportamiento más variable en la porción del SWIR. En este caso para analizar los cambios en la cobertura del suelo se calculó el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) y luego se realiza una diferencia entre ambas imágenes.

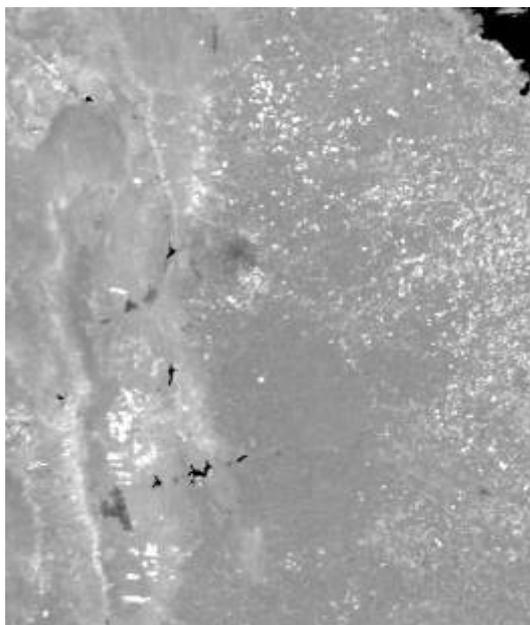
La combinación RGB 721 (SWIR, NIR, VIS) produce una imagen donde es posible apreciar visualmente los focos de incendio y las columnas de humo. En la Figura 2 se muestra el resultado para los incendios producidos en Córdoba el 29/ago/2009, donde los focos de fuego aparecen en rojo brillante (predominio del SWIR), las columnas de humo en turquesa o anaranjado y se observa en verde la vegetación por su fuerte respuesta en el NIR, los marrones-rosados representan superficies con escasa o ninguna cobertura vegetal, y en negro aparece el agua, con baja respuesta en las tres bandas.



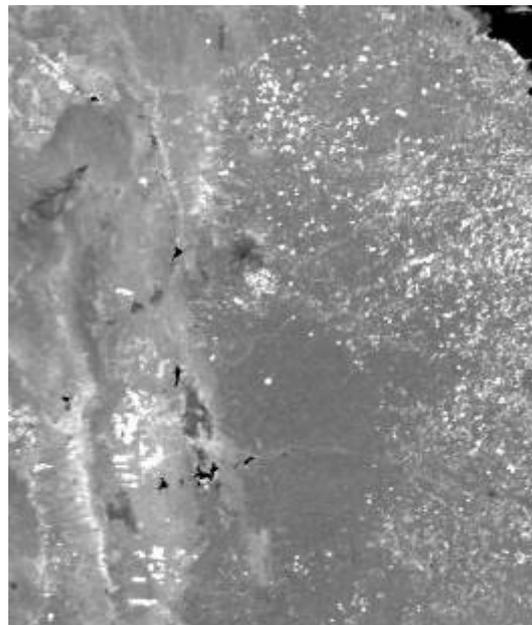
*Figura 2 RGB (SWIR, NIR, VIS)*

Para la detección de cambios en superficie se utilizaron imágenes, del satélite AQUA/MODIS (500 m) del 27/agosto/2009 (previa a los incendios) y 12/septiembre/2009 (posterior).

En la Figura 3a) y 3b) se muestran las imágenes de NDVI para las dos fechas consideradas. Una simple inspección visual de estas dos imágenes permite observar el descenso del valor de NDVI en la zona afectada por el incendio, grises más oscuros. En la imagen del día 12 se observa cómo la sequía siguió intensificándose, los valores de NDVI han bajado en toda la escena.



*a) 27/ago/09*



*b) 12/sep/09*

*Figura 3. NDVI.*

La imagen diferencia de los NDVI (Figura 4) permite apreciar el área donde la vegetación resultó afectada por el fuego. La extensión de la zona alcanza unas 24.000 ha, aproximadamente.

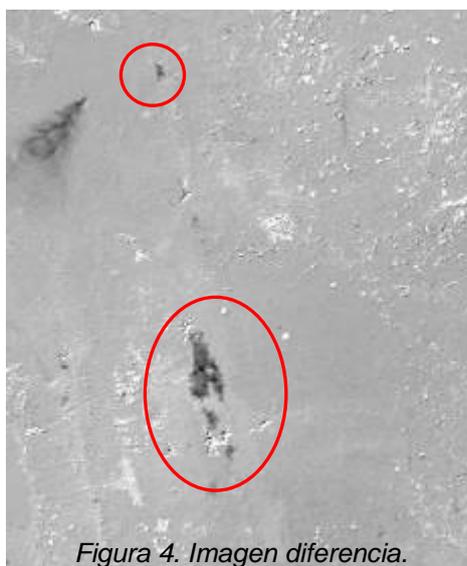


Figura 4. Imagen diferencia.

### 3.2 Tornado

La Figura 5 (imagen NOAA-17 08/sep/09, 22:00 hora local), muestra las tormentas convectivas que prevalecían en el área donde se produjo el tornado que azotó la comuna de San Pedro, provincia de Misiones, el 07/sep/2009 a las 20:30 hora local. Esta imagen puede tomarse como representativa del tipo de tormenta que dio origen al tornado y corresponde a una imagen de temperatura en IR, en la cual se aplicó un realce para destacar los valores en el rango de  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $-62^{\circ}$ . El rectángulo en la figura marca la zona afectada por el tornado coincidente con los topes más fríos de las nubes y cuyo valor máximo fue de  $-87,3^{\circ}\text{C}$ .

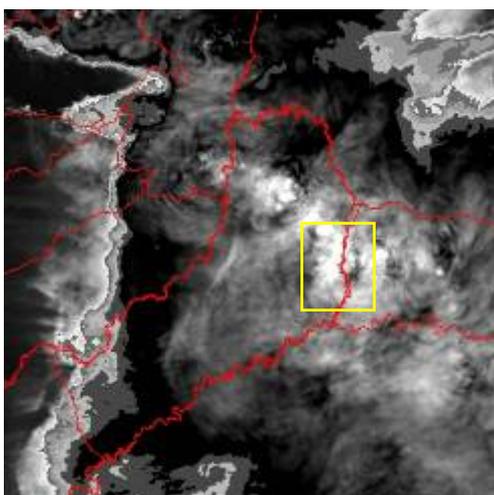
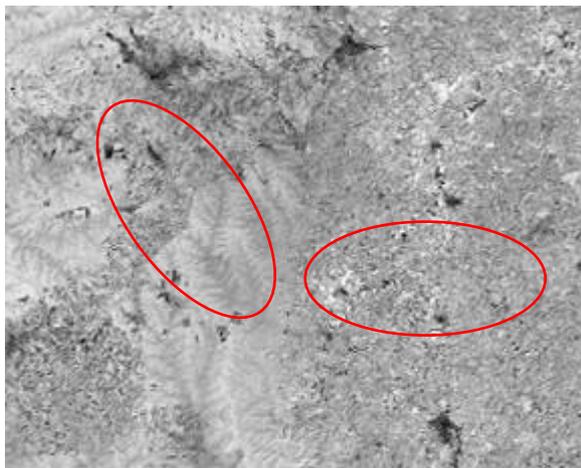
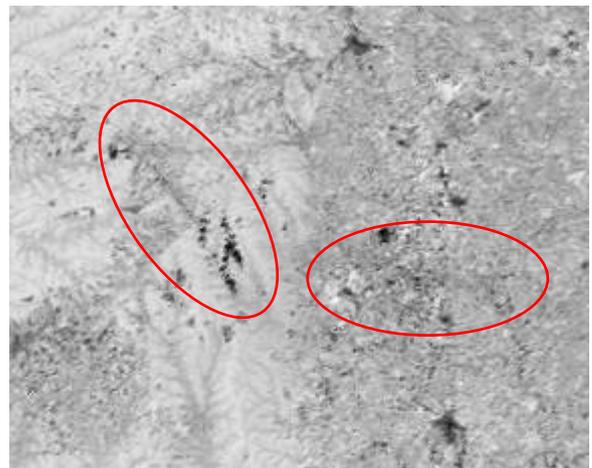


Figura 5. Imagen realzada.

Para el análisis de la traza del tornado se utilizó la misma metodología que para la detección de cambios de áreas quemadas, o sea detección de cambios en la vegetación, pero con imágenes de mayor resolución (AQUA/MODIS 250 m), del 31/ago/09 (anterior al evento) y del 14/sep/09 (posterior). En las Figura 6a) y 6b), imágenes de NDVI, se circunvalan las áreas afectadas. En la Figura 6b) se puede apreciar la disminución de los valores de NDVI, apareciendo en gris oscuro y negro.



a) 31/ago/09



b) 14/sep/09

Figura 6. NDVI.

La Figura 7, diferencia de los NDVI, permite observar una franja que está asociada a la trayectoria del tornado, de aproximadamente de 24 km de largo por 1 km de ancho, en dirección noroeste a sudeste. Esta trayectoria pasa al norte de la localidad de Tobuna e ingresa al Parque Provincial "El Piñalito" y también se observa otra franja menos definida en las cercanías de Guaraciaba, Brasil, de unos 22 Km. de largo. La Figura 8, para facilitar la ubicación de las áreas afectadas, presenta la imagen anterior con el límite internacional que separa Argentina de Brasil, en verde, y las localidades anteriormente mencionadas.

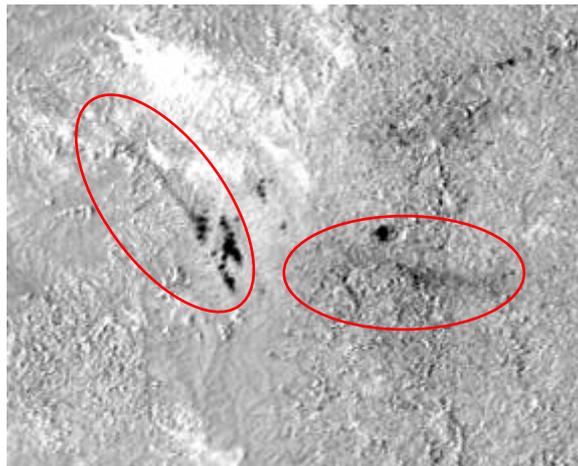


Figura 7. Imagen diferencia

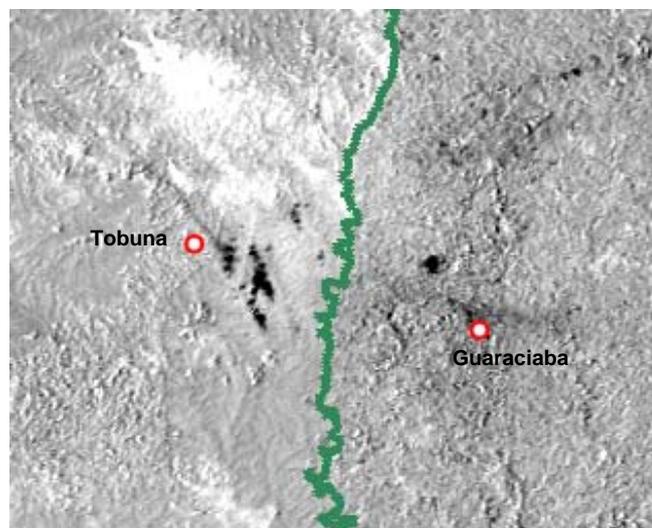


Figura 8. Ídem figura 7 con capa del límite internacional y localidades.

### 3.3 Espejo de agua

Para una primera estimación de las variaciones en la extensión del espejo de agua del Lago San Roque, con las imágenes del satélite SAC-C/MMRS se obtienen imágenes RGB 543 (SWIR, NIR, VIS) que permiten separar entre coberturas (agua, urbana y otras con o sin vegetación).

La Figura 9 muestra la imagen composición para el 19/nov/08, fecha en la cual el caudal del lago se encuentra dentro de parámetros normales. El Lago San Roque, aparece en negro (el agua absorbe la radiación del sol en las tres bandas), la vegetación en los valles y serranías cordobesas, en verde, las ciudades, entre las que se destaca a la derecha del lago la ciudad capital de la provincia, en cian y en magenta tierras asignadas a explotaciones agrarias.

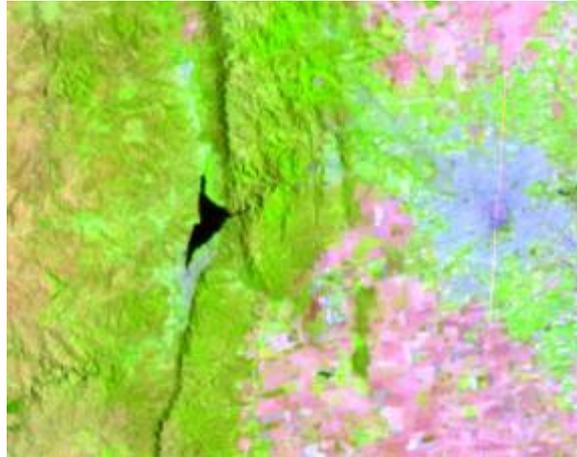


Figura 9. RGB (SWIR, NIR, VIS).

La Figura 10, del 09/oct/09, corresponde a una fecha en la que el área refleja el efecto del desarrollo de una sequía. El espejo de agua del Lago San Roque se retrajo, esto se observa principalmente en sus límites hacia el norte, sur y este, así como declinó la vegetación en los valles y serranías cordobesas, afectada por el déficit de las precipitaciones, y que se evidencia por la presencia de tonalidades marrones donde se destacaban los verdes en la imagen anterior.



Figura 10. RGB (SWIR, NIR, VIS).

Para calcular el porcentaje de retracción del lago, se obtuvieron las imágenes de NDVI y de NDWI (Normalized Difference Water Index), utilizando los datos MODIS bandas 1 (VIS), 2 (NIR) en 250 y 500 m de resolución y la 7 (SWIR) con resolución de 500 m. Si bien el interés está en la evaluación de los cambios en el espejo de agua, se ha visto que en algunos casos se obtienen mejores resultados combinando ambos índices, particularmente en presencia de vegetación emergente, usando sensores de mayor resolución espacial como los Landsat.

En las Figuras 11 y 12 se presentan, en escala de grises, las imágenes de NDVI para el 19/nov/08 (estado normal) y para el 30/oct/09 (estado de sequía), obtenidas con 250 m de resolución. Una simple inspección visual permite ver la disminución del índice y consecuentemente de la vegetación en toda la región, resultante de la escasez de precipitaciones en el sector, y apreciar también la retracción del espejo de agua del Lago San Roque, entre las dos fechas consideradas.



Figura 11. NDVI 19/nov/08. 250 m.

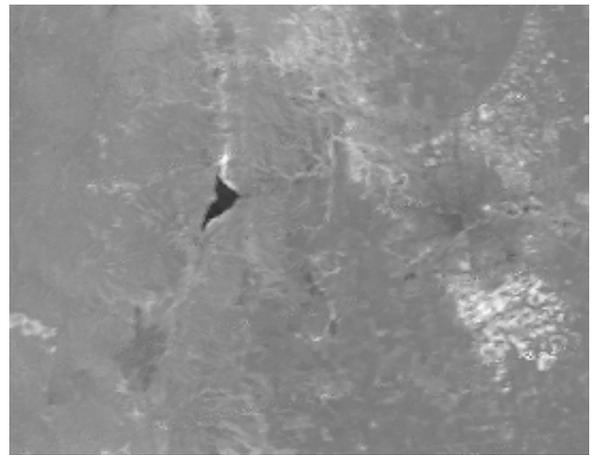


Figura 12. NDVI 30/oct/09. 250 m.

A través del análisis realizado de los valores del NDVI y del NDWI sobre distintas transectas, se evalúan y determinan valores umbrales para establecer valores de separación entre agua y suelo, asumiendo que los espejos de agua libre toman valores negativos de NDVI y positivos de NDWI. En la Figura 13 se muestra el trazo de dos transectas, una en dirección NO-SE (roja, #1) y otra en dirección SE-NO (verde, #2) y a continuación las curvas de respuesta del NDVI sobre cada una de ellas.

En la transecta #1 (roja), queda bien marcada la hoya del lago. En ambos márgenes el límite entre agua y suelo está marcado por el salto abrupto de los valores de NDVI, en cambio en la transecta #2 la costa NE está bien marcada, pero en el sector SO, la respuesta del NDVI es irregular e insinúa una pendiente más suave. Además, se puede notar que los valores de NDVI también han disminuido sobre las zonas costeras, pero esto no es sólo atribuible a la sequía sino también a la vegetación que con menor vigor puede haberse desarrollado sobre las zonas donde se produjo el retiro del lago.

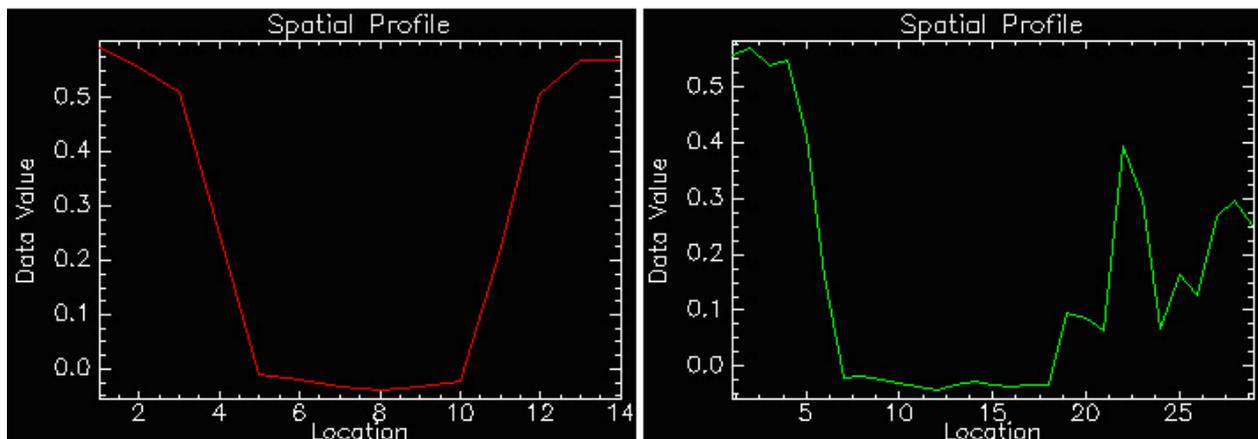
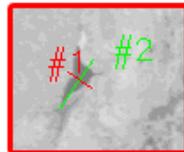


Figura 13. Transectas NDVI 19/nov/08.

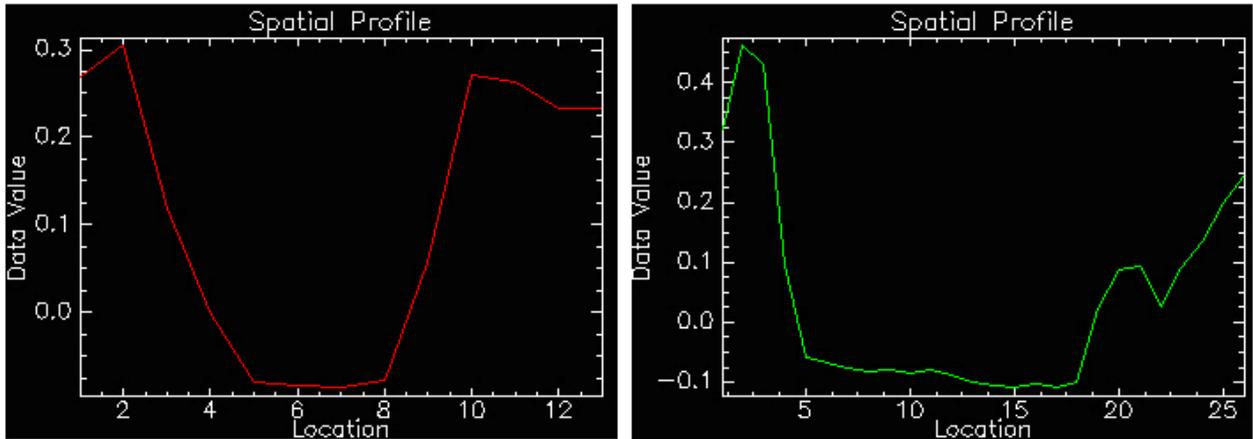


Figura 14. Transectas NDVI 30/oct/09.

Las imágenes de NDWI muestran valores positivos sobre los espejos de agua y negativos sobre terreno con o sin vegetación y áreas urbanas. Con estas imágenes se procedió igual que con las de NDVI, y se determinaron los valores umbrales de separación agua-terreno. Con los valores de umbrales obtenidos con ambos índices se generaron imágenes binarias agua-no agua (Figuras 15a) y 15b)) y con ellas se calcularon las áreas del espejo de agua del lago, para las dos fechas consideradas obteniéndose una extensión de 1.180 ha (fecha normal) y de 837 ha (fecha sequía), indicando una reducción de un 30% en la superficie del lago. .

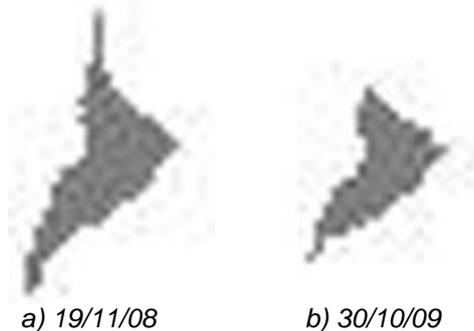


Figura 15. Espejo de agua delimitado por NDVI < 0

## CONCLUSIONES

En este trabajo se muestran distintas aplicaciones del uso de índices sintéticos derivados de datos tomados por sensores remotos y de sus diferencias temporales para evaluar modificaciones en la cobertura del suelo, en tiempo casi real y en forma objetiva. Estos productos son de sumo interés para distintas aplicaciones que tienen que ver con el ordenamiento territorial, con el manejo del fuego y la administración del recurso agua.

## BIBLIOGRAFIA

Bolzi S., Velasco I., Marino M.: Detección y evolución de focos de incendios e identificación de los daños con imágenes satelitales NOAA-AVHRR. CONGREGMET X - CLIMET XIII, CD, Bs. As. Argentina, 2009.

Chuvieco E., Martín M. P., Ventura G. (2002). Evaluación de Imágenes NOAA-AVHRR y TERRA-MODIS para Cartografía Regional de Áreas Quemadas. X Simposio Internacional de SELPER, Chile.

Lu D., P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran: Change detection techniques. Int. J. Remote Sensing, Vol. 25, No. 12, 2365–2407, 2004.

Pacifici F., F. Del Frate, C. Solimini, W. J. Emery, "An Innovative Neural-Net Method to Detect Temporal Changes in High-Resolution Optical Satellite Imagery", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, no. 9, pp. 2940-2952, 2007.

Rodríguez D. M., I. Velasco y M. Marino: Clasificación de coberturas de suelo mediante el uso de índices e imágenes satelitales de distintos sensores. CONGREGMET X - CLIMET XIII, CD, Bs. As. Argentina, 2009.

Opazo S., Chuvieco E.: Evaluación de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas. Anales de TELEDETECCION: Hacia Un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mar del Plata, Argentina, 2007.

Velasco I., D. Goniadzki y G. Almeida: "Monitoreo de ambientes lacustres con imágenes NOAA-AVHRR sobre territorio argentino. Anales de la 7<sup>a</sup> Conferencia Internacional sobre Conservación y Gestión de Lagos. 1-4. San Martín de los Andes, Argentina. 26-31, 1997.

Yuan M. and M. Dickens-Micozzi: Analysis of Tornado Damage Tracks from the 3 May Tornado Outbreak Using Multispectral Satellite Imagery. Weather and Forecasting, Vol.17, 382-398, 2002.