

# Evaluación de zonas inundadas en la pampa húmeda con datos del sensor MODIS/TERRA

Diana Marina Rodríguez<sup>1</sup>, Silvana Carina Bolzi<sup>1</sup>, Inés Velasco<sup>2</sup>,  
Adriana Burés<sup>1</sup>, Mónica Marino<sup>3</sup>

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

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

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

Preferencia de modo de presentación: Cartel.

## RESUMEN

En este trabajo se combinan distintos índices calculados con datos de las bandas reflectivas, (0,620-0,670  $\mu\text{m}$ ), (0,841-0,876  $\mu\text{m}$ ) y (1,628-1,652  $\mu\text{m}$ ) del sensor MODIS/TERRA, con 500 m de resolución, para evaluar las zonas afectadas por inundaciones en las inmediaciones de dos ríos con características hidrográficas muy diferentes. A partir de esta técnica fue posible discriminar entre suelos con vegetación, suelos desnudos y espejos de agua y estimar los cambios producidos por la crecida y el desborde del Río Quinto cuando ingresa en el NO de la provincia de Buenos Aires y del Río Areco que cruza esta provincia, durante el verano 2009-2010. El desborde de este último produjo graves daños en el poblado de San Antonio de Areco y el corte de una importante autopista. Mientras que en el primer caso los anegamientos son el resultado de lluvias persistentes, el segundo obedece a lluvias torrenciales. Para mejorar la resolución espacial de los mapas clasificados, se aplicó la técnica de fusión (HSV - Hue Saturation Value) usando la banda 2, con 250 m de resolución, lo que permitió mejorar notablemente la delimitación de las zonas inundadas. Los resultados, si bien indican una clara discriminación de coberturas, se discuten además, en función de una posible automatización de la metodología y su aplicación más universal.

Palabras claves: inundaciones, MODIS, índices sintéticos, fusión de imágenes.

## INTRODUCCIÓN

La creciente disponibilidad de datos multi-temporales tomados por distintos sistemas satelitales incrementa las oportunidades de monitorear los ríos desde el espacio. Hay una gran variedad de sensores pasivos y activos operando en el rango visible, infrarrojo y de microondas que permiten estimar las áreas inundadas y delimitar sus bordes. Cuando las nubes o la vegetación no ocultan las superficies de agua, los sensores VIS/IR con alta resolución permiten una buena delineación de las superficies de agua. En caso contrario, los sensores activos, operando en las microondas ofrecen una alternativa, ya que pueden penetrar las nubes y también detectar el agua por debajo de las plantas acuáticas emergentes o de las copas de los árboles, pero su aplicación es mucho más compleja. Los mapas de áreas inundadas producidos en tiempo casi real son de sumo valor para los organismos responsables del monitoreo de desastres y de la provisión de alertas y de asistencia. Una evaluación precisa de las áreas inundadas es necesaria para detectar deficiencias en las medidas vigentes del control y para arbitrar sobre los posibles reclamos por daños que pueden surgir posteriormente. Numerosos trabajos han demostrado la utilidad de los sensores remotos en el estudio de aspectos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos de los ríos y en particular para aquellos ubicados en regiones poco accesibles. Un aspecto importante a destacar son las nuevas facilidades para la diseminación vía Internet de los datos satelitales ante la ocurrencia de desastres naturales (por ejemplo, inundaciones). En Argentina, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, (CONAE) tiene un área prioritaria para la aplicación de la información espacial, en la vigilancia y el seguimiento de emergencias y catástrofes naturales, ver <http://www.conae.gov.ar/emergencias/emergencias.html>

En Argentina, casi todos los años se produce en alguna zona de la gran llanura Chaco Pampeana una inundación que deja su secuela de daños en poblados, en las vías de comunicación y en la actividad agropecuaria en general. La causa de estas inundaciones es netamente meteorológica, cuando se producen lluvias copiosas sobre relieves muy planos, se saturan rápidamente los suelos, las áreas deprimidas y las lagunas. Los ríos y arroyos que surcan la provincia de Buenos Aires no son caudalosos,

en general desembocan en el Río Paraná, en el Río de la Plata o en el Océano Atlántico y son altamente sensibles a las lluvias repentinas y extremas o regulares y persistentes. La zona deprimida de esta provincia ha sido afectada por extensas y persistentes inundaciones a partir de los años 70 y hasta los comienzos de la última década y han sido estudiadas exhaustivamente, siendo muy importante la contribución de la información espacial. En este trabajo se enfoca el análisis de dos casos particulares de inundaciones ocurridas recientemente en el centro y norte de la provincia de Buenos Aires, en los Ríos Areco y Quinto, con características hidrográficas diferentes entre sí, utilizando datos obtenidos por el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) del satélite TERRA.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo se usaron imágenes del sensor MODIS, correspondientes a la fecha del episodio de inundación y de fechas anteriores y posteriores. Las fechas para cada caso se indican en las figuras correspondientes. Las bandas seleccionadas se presentan en la Tabla I. Con los datos de 500m se calcularon los índices sintéticos que se detallan en la Tabla II, donde aparecen identificados por sus siglas en inglés: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), NDSI se refiere al "Normalized Difference Soil Index". El índice NDVI tiene valores relativamente altos, en los suelos con abundante cobertura vegetal, en cambio el NDSI, tiene valores algo más bajos y en valor absoluto, alrededor del cero, en los suelos desnudos. El NDWI, en las superficies con agua, tiene valores positivos más bien altos y por el contrario los valores de NDVI son muy bajos sobre agua, a menos que haya algo de vegetación u otro residuo que tenga mayor reflectancia en el NIR. Una discusión más detallada de los antecedentes y aplicaciones de los índices utilizados en este trabajo puede verse en Rodríguez et al. (2009), quienes usaron estos índices para discriminar, en áreas afectadas por inundación, tres tipos coberturas: espejos de agua, suelo con vegetación y mezcla de vegetación emergente y sedimentos, aplicando sensores remotos de tres sistemas de satélites, entre ellos el sensor MODIS (TERRA).

Tabla I

Sensor MODIS			
Banda	Ancho ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)	Siglas
1	0.620-0.670	500	VIS
2	0.841-0.876	250 y 500	NIR
6	1.628-1.652	500	SWIR

Tabla II

NDVI	$(\text{NIR}-\text{VIS})/(\text{NIR}+\text{VIS})$
NDSI	$(\text{SWIR}-\text{NIR})/(\text{SWIR}+\text{NIR})$
NDWI	$(\text{VIS}-\text{SWIR})/(\text{VIS}+\text{SWIR})$

A partir de los índices citados más arriba, se hizo una composición en falso color, asignando el NDSI al cañón rojo, el NDVI al verde y el NDWI al azul, tal como lo propusieron Takeuchi y Yasuoka (2004), quienes usaron las siglas NDXI para identificar el resultado de esa composición obteniéndose un mapa temático. En éste, las superficies con agua aparecen con predominio del color azul, las cubiertas de vegetación con predominio del verde y los suelos con escasa vegetación o vegetación seca y las áreas urbanas oscilan entre el rojo y amarillo, generando tonalidades más o menos anaranjadas.

Numerosos trabajos, por ejemplo, Della Rocca et al. (2004), Alesheikh et al. (2007) reconocen las ventajas de la fusión de imágenes de alta resolución espectral con imágenes de alta resolución espacial. El sensor MODIS tiene 36 bandas, las bandas 1 y 2 con 250 m de resolución, las 3 a 7 con 500 m y la 8 a 36 con 1000 m, que permite hacer uso de esta ventaja. Así, para mejorar la resolución espacial de los mapas clasificados, se aplicó la técnica de fusión (HSV - Hue Saturation Value) usando la banda 2, con 250 m de resolución, lo que permitió mejorar notablemente la delimitación de las zonas inundadas.

## CASOS DE ESTUDIO

Prácticamente no existen trabajos que describan las características de las cuencas hídricas de los dos ríos considerados, por lo que la descripción de sus características hidrográficas es muy somera.

### **Río Areco**

El Río Areco, de acuerdo a los mapas de cuencas de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, pertenece a las cuencas de arroyos del NE de Buenos Aires, según figura en las cuencas y regiones hídricas superficiales del Sistema Nacional de Información Hídrica, (<http://www.hidricosargentina.gov.ar/MapaCuencas.html>). El Río Areco corre por la denominada subregión húmeda pampeana. Esta subregión, topográficamente, es una extensa llanura con ligeras ondulaciones, que al estar surcada por el Río Areco y algunos pequeños arroyos la convierte en una zona apta para las explotaciones agrícola-ganadera en cualquiera de sus manifestaciones. Además, el sector del río cuando atraviesa la localidad de San Antonio de Areco, da marco a un excelente desarrollo turístico, dadas las características históricas de la ciudad y el marco que brindan las instalaciones para la vida al aire libre incluyendo la pesca deportiva.

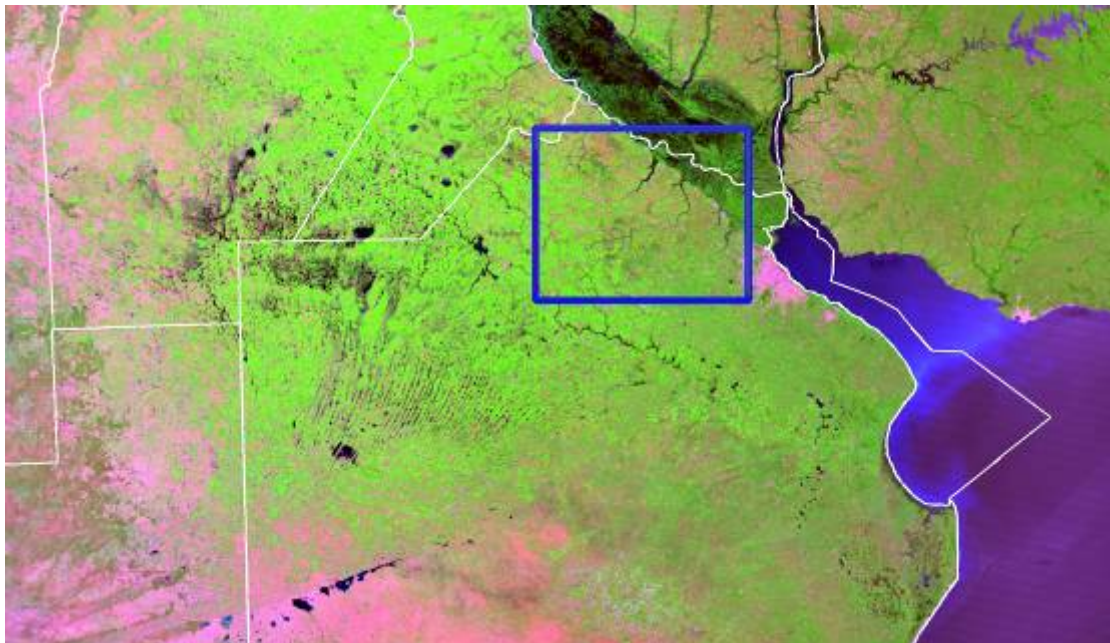


Figura 1. El recuadro azul enmarca la cuenca del Río Areco, en el NE de la provincia de Buenos Aires. Imagen TERRA-MODIS 14/enero/2010, 14:00 UTC, RGB 721.

### **Río Quinto**

La cuenca de este río abarca cuatro provincias de Argentina: San Luis, donde tiene sus nacientes en el área serrana y dos embalses y a partir del segundo el río entra en una llanura y se extiende cruzando la provincia de Córdoba por su sector sur en donde forma humedales y lagunas conocidos como Bañados de la Amarga. En periodos de crecientes extraordinarias cruza por el sur de la provincia de Santa Fe y llega hasta la provincia de Buenos Aires, anegando los territorios próximos a las ciudades de General Villegas, América, y Trenque Lauquen. Las actividades socioeconómicas principales son la ganadería, la agricultura y la forestación. El aumento de la actividad agrícola ganadera ha originado en diversos sectores de la cuenca proceso de erosión, desertificación y salinización que produjo serios deterioros en el ambiente natural, (Lupano 2008). En la Figura 2 se presenta el área de estudio, donde el cauce principal del río se desdibuja en los bañados.

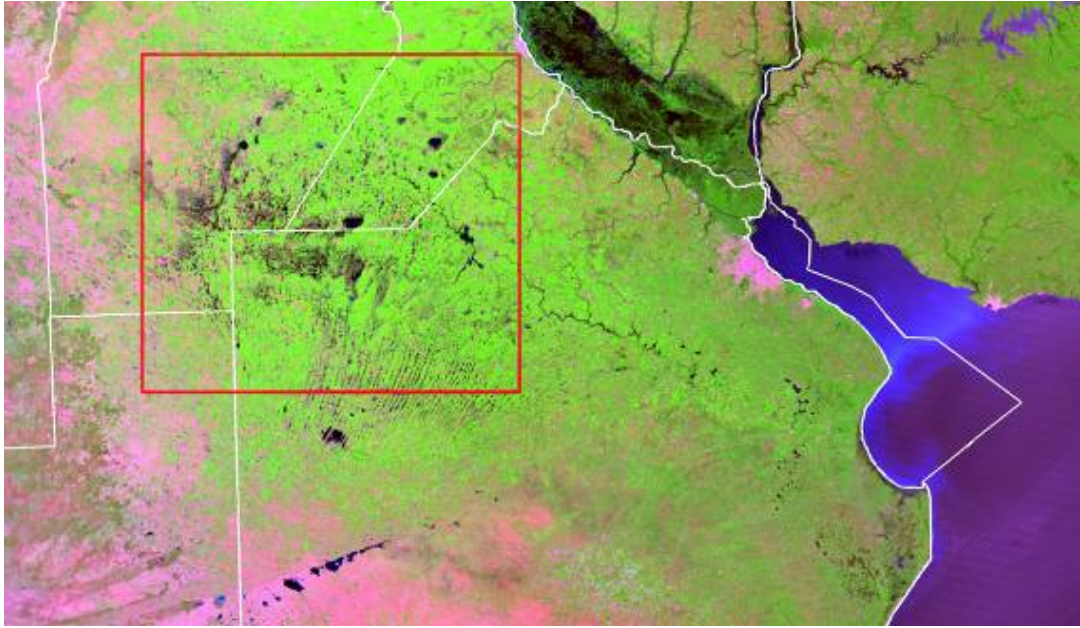


Figura 2. El recuadro en rojo enmarca el área estudiada inserta en la cuenca del Río Quinto. Imagen TERRA-MODIS 14/enero/2010, 14:00 UTC, RGB 721.

## RESULTADOS

La naturaleza de los procesos de inundación que afectan a amplios sectores de las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, surgen de la asociación de causas naturales como son: el clima, los caracteres geomorfológicos y morfoestructurales del relieve pampeano, siendo el desencadenante principal las grandes lluvias locales.

El desborde del Río Areco, a raíz de las lluvias caídas, más de 200 mm en pocos días, al cruzar la localidad de su mismo nombre produjo el anegamiento de zonas del casco histórico de la ciudad y vastos campos de los alrededores. A unos cien metros de la plaza principal el agua circulaba a una alta velocidad, como si fuera un río torrencioso manifestó la Intendente. Uno de los edificios que sufrieron las consecuencias de las inundaciones es el Museo Ricardo Güiraldes, de tradición campesina y varias rutas principales estuvieron cortadas durante varias horas.

En el caso del Río Quinto, en las zonas rurales, se pasó bruscamente de la sequía a la inundación y muchos bajos acumularon hasta un metro de agua según reportan las entidades rurales.

### **Río Areco**

En la Figura 3 se muestra una secuencia de imágenes del área del recuadro para tres fechas en las cuales se puede observar la región antes del episodio de inundación, durante y después. En las imágenes de la izquierda (NDXI con 500m de resolución), los tonos naranja corresponden a suelo desnudo o con escasa cobertura vegetal y/o vegetación seca. Las imágenes de la derecha corresponden a las mismas escenas pero con su resolución espacial incrementada por el proceso de fusión.

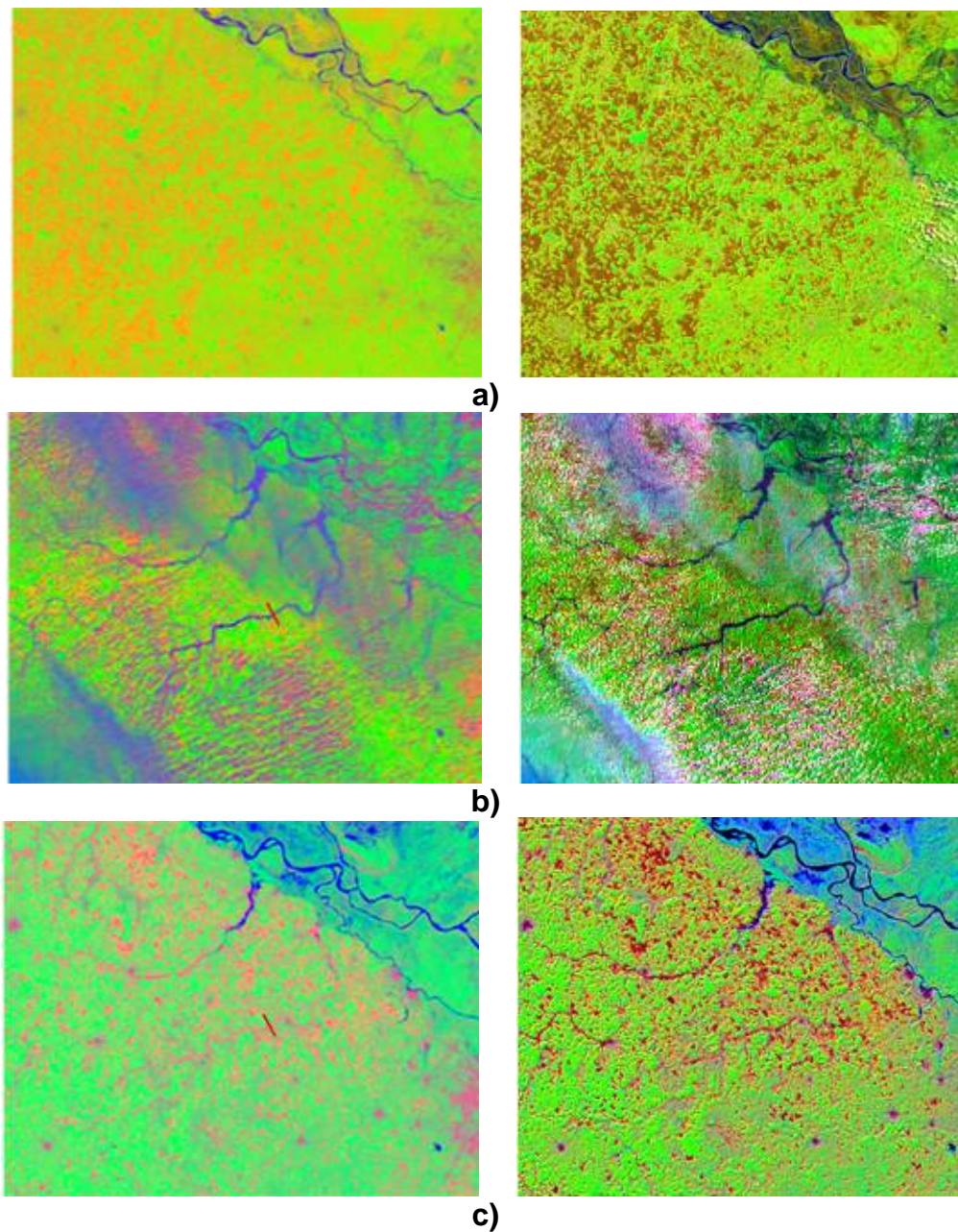


Figura 3. Izquierda: NDXI original con 500 m de resolución, Derecha: imagen fusión de 250 m. a) condiciones previas a la inundación: 8/octubre/2009, 14:10 UTC, b) durante la inundación: 27/diciembre/2009, 14:10 UTC y c) después la inundación: 14/enero/2010, 14:00 UTC.

En la Figura 4 se presentan las respuestas de los índices a lo largo de la transecta que cruza el Río Areco (ver Figura 3b) segmento rojo). La respuesta espectral del NDVI (verde) es baja sobre el cauce del río (valores cercanos a 0) coincidiendo con una respuesta espectral alta de NDWI (azul) con un valor máximo de 0.3. El índice de suelo (NDSI), graficado en blanco, muestra un mínimo en coincidencia con un máximo de índice de vegetación (NDVI) y un mínimo de NDWI. Los tres índices en conjunto reflejan muy bien los cambios de cobertura a lo largo de la transecta.

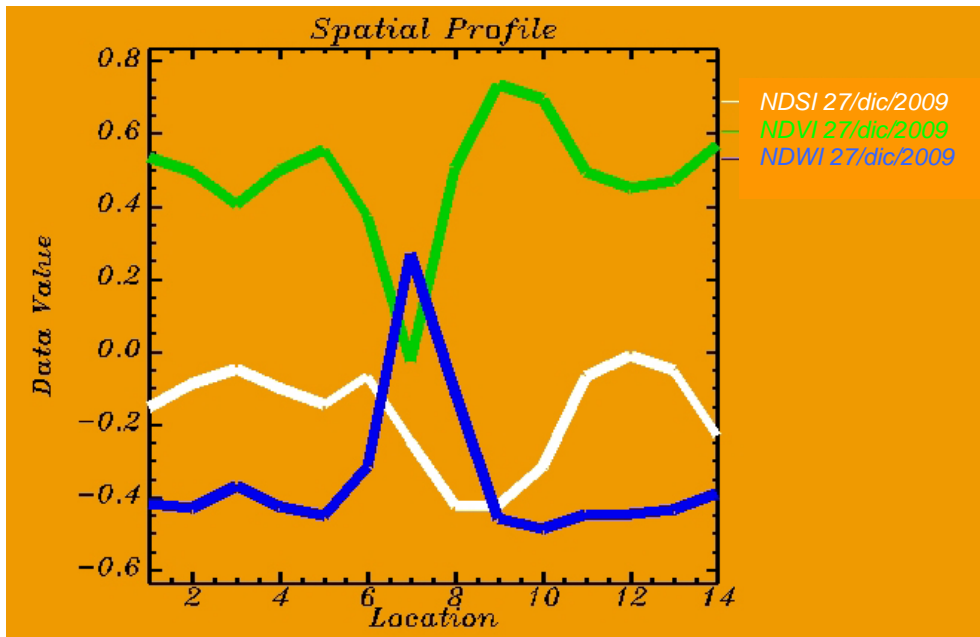


Figura 4. Transecta correspondiente al 27/diciembre/2009, ver Figura 3b) 500 m.

En la Figura 5 se presentan los resultados sobre la misma transecta pero para una fecha posterior a la inundación. Los máximos y mínimos observados anteriormente se suavizan, pero identifican claramente el cauce del río, con un valor relativamente bajo de NDVI sobre él, y un NDSI relativamente alto, que puede deberse al sedimento en suspensión en el agua o el río con poco caudal quedando expuesto parcialmente el suelo del lecho, que sin embargo tendría alto contenido de humedad como lo refleja el máximo relativo del NDWI. La respuesta del NDVI (verde) oscila entre 0.4 y 0.7 y refleja la presencia de vegetación ribereña y aledaña.

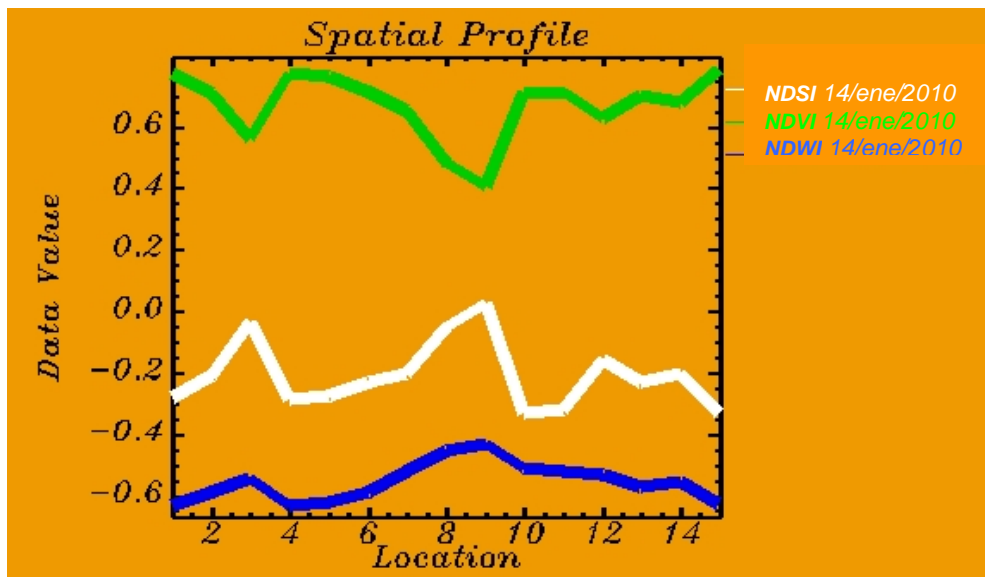


Figura 5. Ídem Figura 4 para el 14/enero/2010, ver Figura 3c) 500 m.

### Río Quinto

En la Figura 6 se muestra una secuencia de imágenes del área remarcada en la Figura 2, para tres fechas, en las cuales se puede observar la región antes del episodio de inundación, durante y después. En las imágenes de la izquierda (NDXI con 500 m de resolución), los tonos naranja corresponden a suelo desnudo o con escasa cobertura vegetal y/o vegetación seca. En este caso el aporte del NDSI y del

NDVI corresponde aproximadamente a un 50 % respectivamente. La cobertura vegetal más desarrollada aparece en verde claro e indica el predominio del valor del NDVI. El color azul brillante corresponde a los espejos de agua de la cuenca del Río Quinto, identificados muy bien por el NDWI.

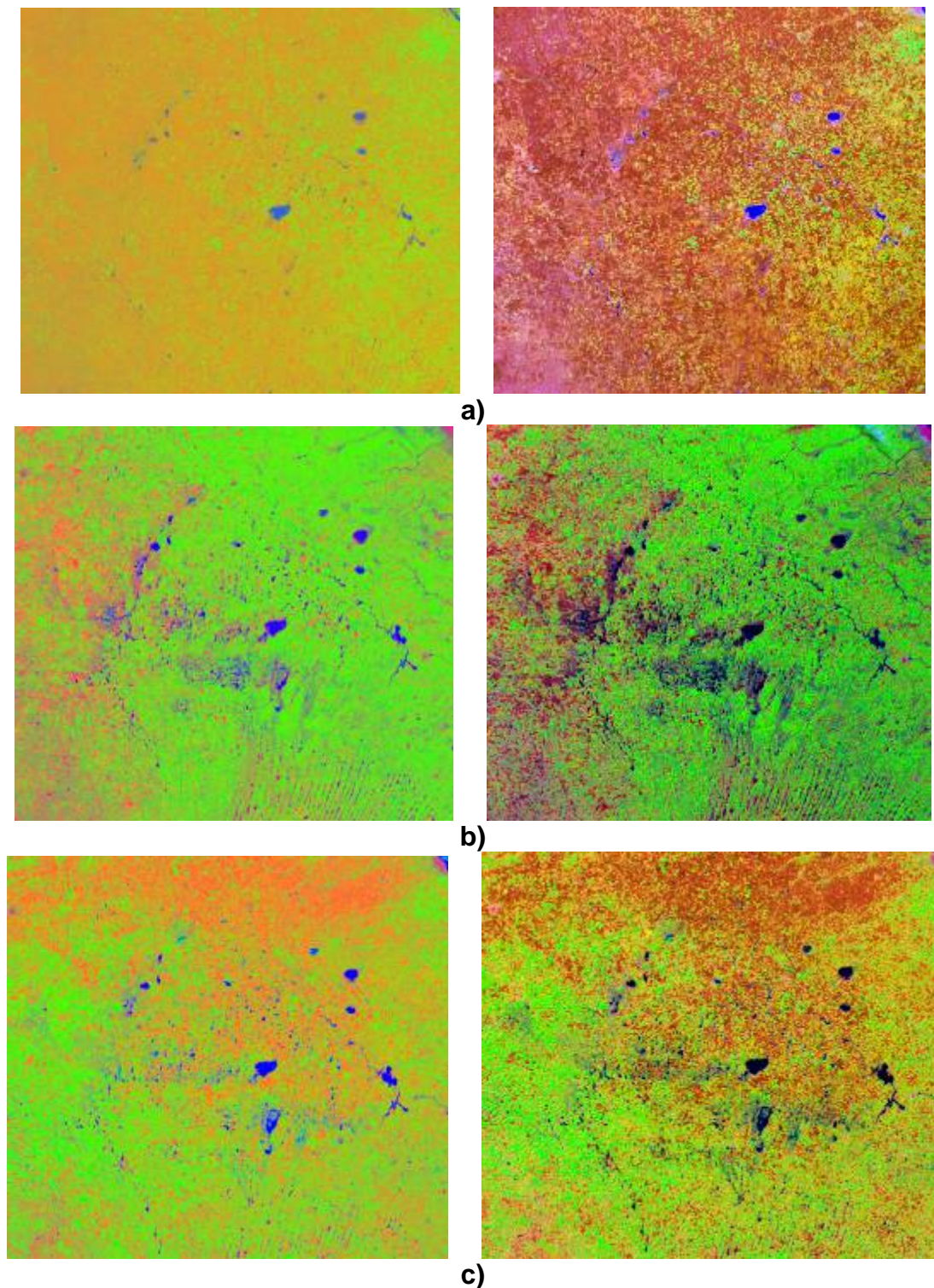


Figura 6. Comparación entre la imagen NDXI original con 500 m de resolución y la misma imagen fusión de 250 m. a) condiciones previas a la inundación: 8/octubre/2009, 14:10 UTC, b) durante la inundación: 12/enero/2010, 14:10 UTC c) después de la inundación: 24/marzo/2010, 14:20 UTC.

## Conclusiones

Los índices sintéticos utilizados permiten obtener en forma rápida y casi automática mapas temáticos. La técnica utilizada posibilita discriminar entre suelos con vegetación, suelos desnudos o con escasa vegetación y espejos de agua. Por otra parte la fusión HSV permite mejorar la resolución espacial, haciendo posible monitorear y evaluar los cambios producidos por la crecida y el desborde de los ríos, producto de las precipitaciones ocurridas en ambas cuencas. Dichos productos son un aporte útil para el manejo de los recursos hídricos y la planificación de desarrollos rurales y/o urbanos de manera sustentable.

## Referencias

- Alesheikh A. A., Ghorbanali A., Nouri N.: *Coastline change detection using remote sensing*. Int. J. Environ. Sci. Tech., 4 (1): 61-66, 2007. IRSEN, CEERS, IAU.
- Della Rocca M. R., M. Fiani, A. Fortunato, P. Pistillo: *Using the data fusion technique for producing thematic map*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS). XX ISPRS 12-23 July, Istanbul, Turkey (2004). Commission IV Volumen (XXX-B4) Book and CD.
- Lupano, C.: *Cuenca del Río Quinto y arroyos menores de San Luis*, en <http://www.hidricosargentina.gov.ar/MapaCuencas.html>, 2008.
- Rodríguez D. M., I. Velasco y M. Marino: *Clasificación de coberturas de suelo mediante el uso de índices e imágenes satelitales de distintos sensores*. Anales del CONGREGMET X - CLIMET XIII, CD, Bs. As. Argentina, 2009.
- Takeuchi, W. and Y. Yasuoka: *Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data*. [http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/PADDY/pdf/acrs2004\\_2\\_presen.pdf](http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/PADDY/pdf/acrs2004_2_presen.pdf). 2004
- Las imágenes del Sensor MODIS del Satélite TERRA, se obtuvieron de la MODIS RAPID RESPONSE SYSTEM, <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime>.