

Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal

Salvia, Mercedes¹; Karszenbaum, Haydee¹; Grings, Francisco¹ y Kandus, Patricia²

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE),

Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, ARGENTINA. msalvia@iafe.uba.ar

² Grupo de Estudios sobre Ecología de Humedales, Departamento de Ecología Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Ciudad Universitaria, Pab. II, 4to Piso C1428EHA Buenos Aires, ARGENTINA

RESUMEN

La región del Delta del Río Paraná es un macrosistema de humedales que se extiende a lo largo de los 300 Km. finales de la Cuenca del Paraná. Con el objetivo de identificar diferentes tipos de humedales y estimar la extensión de la última inundación, se usaron dos sistemas satelitales de resolución espacial media; el argentino SACC MMRS en el rango óptico y ESA ENVISAT ASAR modo Wide Swath en las microondas. Se realizaron clasificaciones progresivas no supervisadas y diferencia de imágenes para la obtención de mapas temáticos. Se obtuvo el primer mapa de tipos fisonómicos de plantas dominantes para la región completa y un mapa de inundación.

Palabras clave: Delta del Río Paraná, tipos fisonómicos, inundación

ABSTRACT

The Paraná River Delta region is a macrosystem of wetlands that stretches through the final 300 km of the Paraná Basin. With the aim of identifying different types of wetland and the extent of the latest flooding in the region, two medium resolution satellite systems, the Argentinean SACC MMRS in the optical range and the ESA ENVISAT ASAR Wide Swath Mode in the microwave range, were used. Progressive unsupervised classifications and image differences were used to obtain thematic maps. We obtained the first map of dominant vegetation fisonomic types, and a map of the latest flooding

Keywords: Paraná River Delta, fisonomic types, flooding

Introducción

Una de las características significativas de Sudamérica es la gran extensión de humedales que, considerando el área de tierra firme de la biosfera, son individual y globalmente, los más grandes del mundo, ocupando más de un millón de kilómetros cuadrados (Neiff y Malvarez, 2004). Sólo en Argentina, estos ecosistemas ocupan más del 20% de la superficie del país (Kandus et al 2007).

El término humedal se utiliza para denominar áreas que permanecen en condiciones de anegamiento o inundación, o por lo menos, con su suelo saturado con agua durante al menos un período de la estación de crecimiento de la

vegetación, suelos con rasgos de hidromorfismo y una biota adaptada a estas condiciones (Mitsch y Gosselink, 2000).

Los mayores humedales de Sudamérica, están asociados con las planicies de inundación de los grandes ríos (Orinoco, Amazonas y Paraná). Aquellos correspondientes al río Paraná forman el corredor de humedales fluviales más importante del mundo, desde el Pantanal en Brasil, al Delta del Río Paraná en Argentina (UICN, 2000). De acuerdo a Neiff y Malvarez (2004), los grandes humedales de Sudamérica son macrosistemas de extensión sub-regional y su presencia y extensión depende principalmen

te del aporte de agua superficial (precipitaciones y descarga de los ríos), así como de los ciclos de inundación-no inundación.

Estos ecosistemas cumplen funciones de gran importancia, entre ellas la reserva y purificación de agua, amortiguación de inundaciones, acumulación y/o exportación de sedimentos, materia orgánica y nutrientes, son sumideros de carbono, sostén de cadenas tróficas de sistemas vecinos, sostén económico de numerosas poblaciones locales, son áreas de alta biodiversidad, con importantes recursos naturales para el hombre, sitios aptos para numerosas actividades de turismo y recreación (Kandus et al., 2006).

En las tres últimas décadas se adquirió una gran cantidad de datos de distintos ecosistemas por medio de sensores remotos, tanto ópticos como de microondas.

Dadas las características de fragmentación natural y variabilidad temporal de los humedales, idealmente, un sensor para el relevamiento y monitoreo de sus procesos, debería involucrar alta resolución espacial, alta frecuencia de pasada y una gran superficie geográfica cubierta.

El uso de sensores ópticos de media o baja resolución espacial para identificar los distintos patrones ecológicos tiene como ventaja la cobertura regional debido a su amplia franja de barrido. Sin embargo, la interpretación de las firmas espectrales se dificulta debido a que en muchos casos los píxeles representan un conjunto de diversas comunidades y coberturas del suelo. Sin embargo, estos sistemas podrían ser capaces de identificar los rasgos estructurales dominantes del paisaje de humedales, como grupos fisonómicos dominantes (por ejemplo bosques, praderas de plantas acuáticas arraigadas, pastizales o cuerpos de agua libre) que hablan sobre su funcionamiento ecológico (Zoffoli et al., en preparación).

En las longitudes de onda de las microondas, los radares de apertura sintética (SARs) tienen características distintivas que les confieren un valor significativo para monitorear y mapear la dinámica de inundación de los humedales. En distintos tipos de vegetación, y para algunas longitudes de onda (en general largas), la energía de microondas transmitida por el radar penetra en la vegetación e interacciona tanto con la misma como con el suelo o el agua debajo de ella. Por lo tanto el coeficiente de retrodispersión medido depende de la estructura de la vegetación y de la condición del suelo. La presencia o ausencia de una película de agua (que

tiene una constante dieléctrica mucho más alta que el suelo subyacente) puede alterar significativamente la señal detectada en un humedal (Grings et al., 2005, 2006, 2007, y otros).

El presente trabajo apunta a mostrar la importancia que el uso combinado de la teledetección óptica y de radar tiene en el estudio y monitoreo de los sistemas de humedal. En este caso el objetivo es identificar diferentes tipos de humedales presentes en la región del Delta del Río Paraná, en términos de grandes tipos fisonómicos, mediante el uso del sistema óptico argentino SACC MMRS (de resolución espacial media); y analizar la extensión de la última inundación ocurrida en la región (verano-otoño 2007), usando el sistema ESA ENVISAT ASAR en modo Wide Swath (banda C, resolución espacial media).

Área de estudio

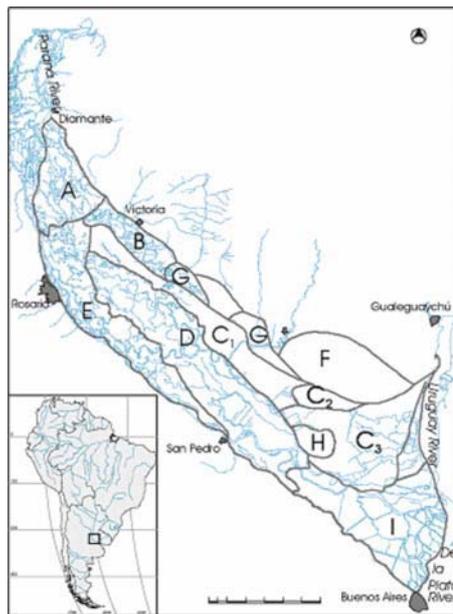


Figura 1: región del Delta del Río Paraná, ubicación geográfica y zonificación de la misma (Malvarez, 1997).

La región del Delta del Río Paraná es un macrosistema formado por un mosaico de humedales que se extiende a lo largo de los 300 Km. finales de la cuenca de ese río, entre los 32° 05'S, 60° 48' O, al sur de la ciudad de Dia

mante, Entre Ríos, y los 34° 29' S, 58° 30' O, en las cercanías de la ciudad de Buenos Aires, y tiene una superficie aproximada de 17.500 Km². Malvarez (1997) identificó en esta región diferentes unidades de paisaje de acuerdo a los patrones de paisaje y al régimen hidrológico (figura 1).

Todos los paisajes de la región presentan una alta fragmentación natural y sus elementos se combinan formando patrones espaciales contrastantes (Tabla1).

Las fisonomías dominantes en la región corresponden a bosques, pajonales, juncuales, pastizales y praderas de herbáceas acuáticas.

Los bosques incluyen comunidades de bosque fluvial en las unidades A y E, bosques plantados de sauce (*Salix sp.*) y álamo (*Populus sp.*) en las unidades I y H y algunos parches de bos-

ques de espinillo (*Acacia caven*) y algarrobo (*Prosopis sp.*) en las unidades F y C.

Los pajonales incluyen comunidades de paja brava (*Scirpus giganteus*) en la unidad I, y de *Panicum prionitis* en las unidades A, B, D.

Los juncuales corresponden a comunidades de *Schaenoplectus californicus*, y se extienden al sur de la unidad D y norte de la unidad I.

Las praderas de herbáceas acuáticas presentan una alta diversidad de especies gramíneas y latifoliadas.

Los pastizales están formados por una matriz de alta diversidad de gramíneas (*Panicum milioides*, *Stipa hyalina*, *Hordeum*

euclaston y otras) con cobertura de suelo no muy abundante y escasa altura, con presencia aislada de individuos arbóreos, principalmente *Prosopis sp.* y *Acacia caven*.

Tabla1: síntesis de las principales características (patrones de paisaje, régimen hidrológico y vegetación) de las unidades de paisaje del Delta del Paraná (Malvarez, 1997)

Unidad	Patrón de paisaje	Régimen hidrológico	Vegetación
A	Lagunas no vegetadas y patrón de espiras de meandro. Albardones altos en tramos del Paraná	Río Paraná. Inundación estacional.	Albardones y espiras: bosque. Media loma: praderas herbáceas abs. Bajos: praderas de herbáceas acuáticas.
B	Constituido por grandes superficies cubiertas de agua con algunas isletas, que se corresponden a antiguos albardones.	Río Paraná. Inundación estacional.	Isletas: praderas de herbáceas gramíneas con algunos árboles aislados.
C	Alternancia de cordones arenosos y depresiones anegables. No presenta lagunas permanentes y los cauces son escasos	Río Paraná y, hacia el sur, Uruguay. Los tiempos de permanencia son intermedios.	Cordones: comunidades herbáceas arbustivas con espinillo, seibo y tala. Depresiones anegables: composición variable según condiciones hidrológicas.
D	Zonas inundadas en forma permanente y semipermanente, lagunas que ocupan una pequeña extensión y riberas elevadas.	Río Paraná. Prolongado tiempo de permanencia de las aguas.	Albardones: bosques bajos. Media loma: praderas de herbáceas.
E	Conformado por secuencias de altos y depresiones	Río Paraná. Tiempos breves de permanencia de agua. Con aguas altas: gran proporción sin inundación.	Altos: bosques. Zonas deprimidas: comunidades de herbáceas latifoliadas o de herbáceas gramíneas flotantes.
F	Constituido por una extensa planicie correspondiente a la Antigua albufera. Se encuentra a mayor altura y se separa del resto de la región por la barrera del cordón litoral.	Precipitaciones locales.	Pradera de herbáceas gramíneas bajas sobre las que se encuentran ejemplares de especies arbóreas.
G	Constituido por los antiguos deltas de los ríos Nogoyá, Cle y Gualeguay.	Ríos Paraná y Gualeguay. Tiempos intermedios de permanencia de agua.	Albardones: bosque con especies típicas de ambientes ribereños. Media loma: arbustal y bosques bajos. Bajos o bañados: praderas de herbáceas acuáticas.
H	Constituido por la isla Ibicuy. Sector topográficamente elevado	Río Paraná. Baja frecuencia de inundaciones.	Praderas de gramíneas bajas.
I	Patrón de islas y cauces de distinta magnitud. Islas: conformadas por albardones perimetrales que rodean áreas deprimidas.	Ríos Paraná y Uruguay, mareas del estuario Del Plata y sudestadas. Permanencia de agua breve.	Albardones: bosque. Áreas deprimidas: praderas de herbáceas altas- pajonales o juncuales.

Desde el punto de vista hidrológico presenta un patrón complejo debido a que existen varias fuentes de agua con comportamiento distinto, las precipitaciones locales, de régimen estacional, y los grandes ríos, cuyos regímenes de inundación actúan aislada o conjuntamente según la zona de la región de que se trate.

La mayor parte de la región está influenciada por el régimen hidrológico de río Paraná, que presenta un período de ascenso a partir del mes de septiembre, culminando con un máximo en el mes de marzo. Este régimen puede presentar irregularidades interanuales considerables y, en años excepcionales, pueden producirse inundaciones que cubren enteramente la llanura alu-

vial, como las ocurridas en los años 1905, 1966 y 1983, 1998 y la actual, asociadas con los eventos ENSO.

Métodos

Datos satelitales disponibles

Tabla 2: características de las imágenes SACC MMRS (CONAE, página web http://ggt.conae.gov.ar/sac_c/producto1.htm)

	SACC MMRS
Agencia espacial	CONAE
Tipo de sensor	Pasivo
Ancho de barrido	360 Km.
Tamaño del píxel	175 m x 175 m.
Tiempo de revisita	9 días
Número de bandas	5
Longitudes de onda	480-500 nm 540-560 nm 630-690 nm 795-835 nm 1550-1700 nm
Resolución espectral	8 bits

Tabla 3: características de las imágenes ENVISAT ASAR modo Wide Swath (ESA, Asar Product Specifications).

	ENVISAT ASAR WSM
Agencia espacial	ESA
Tipo de sensor	Activo
Longitud de onda	5 cm.
Ancho de barrido	400 Km.
Tamaño del píxel	75m x 75m.
Tiempo de revisita	14 días
Resolución radiométrica	11,5 ENL 32 bits
polarizaciones disponibles	HH o VV

Preprocesamiento de las imágenes

Ópticas

Se dispuso de seis imágenes SACC MMRS (Multispectral Medium Resolution Scanner) de Path 226, provistas por CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), correspondientes a las fechas 18 de enero de 2003, 28 de mayo, 13 de junio, 22 y 31 de diciembre de 2004, y 25 de diciembre de 2005.

Se estimó el valor de reflectancia en superficie corregida parcialmente por atmósfera me-

dante la calibración de los datos y la corrección por efecto Rayleigh. En el primer caso se consideraron los parámetros de ganancia y offset del sensor provistos por la CONAE. En el segundo se usó el modelo de corrección desarrollado por Stumpf (1992) para scattering molecular (Rayleigh) considerando la variación de los ángulos de iluminación solar y de observación del sensor a lo largo de las imágenes, dado el ancho de la franja de barrido y extensión en latitud de las imágenes SACC. Para esto se utilizaron los datos de ángulos provistos por la CONAE junto con las imágenes, y el programa *angulos.exe* (http://ggt.conae.gov.ar/sac_c/AngulosMMRS.htm)

Las correcciones geométricas y geolocalización se realizaron utilizando los datos tomados por el GPS a bordo del satélite, una transformación polinomial de segundo orden y un remuestreo de acuerdo al vecino más cercano.

Dado que los datos tomados por el GPS del satélite tienen un error promedio del orden de 1 Km., se eligió una imagen como referencia, rectificadas con respecto a la cartografía digital nacional disponible (WGS84) y las demás se coregistraron con dicha imagen.

Microondas

Se usaron dos imágenes ENVISAT ASAR WSM de polarización horizontal (HH) provistas por la Agencia Espacial Europea (ESA, proyecto AO 667) correspondientes al 12 de septiembre de 2005 (condición normal), y al 26 de marzo de 2007 (condición de inundación). De los dos tipos de polarizaciones disponibles (HH o VV, correspondientes a campo eléctrico horizontal o vertical respectivamente), se optó por imágenes en polarización HH, ya que existen evidencias teóricas y observacionales de que el coeficiente de retrodispersión, \tilde{A}^0 HH es más sensible a cambios de altura del agua debajo de la vegetación (Ferrazzoli et al, 1999, Townsend y Foster, 2002).

Las imágenes HH se calibraron a valores de coeficiente de retrodispersión (\tilde{A}^0) mediante el uso del programa de la ESA BEST (<http://earth.esa.int/services/best/>). Luego, se coregistraron manualmente, y se geolocalizaron usando las imágenes SACC como referencia, una transformación polinomial de segundo grado y convolución cúbica como método de remuestreo.

Extracción de información

Imágenes ópticas

Luego del análisis visual de las imágenes SACC MMRS disponibles, se eligió, para este

trabajo, la correspondiente al 22 de diciembre de 2004. La elección se basó en las características fenológicas de la vegetación presente en el área de estudio.

Las clases de información planteadas corresponden a los grandes tipos fisonómicos presentes en la región: cuerpos de agua, bosques, juncales, pajonales, pastizales, praderas de vegetación acuática.

En base a la experiencia obtenida en trabajos anteriores (Kandus et al., 1999) se seleccionó como método de clasificación a los clasificadores no supervisados progresivos que utilizan el algoritmo ISODATA.

Los parámetros usados en cada una de las clasificaciones fueron 300 clases, 40 iteraciones y 0,98 como nivel de convergencia.

En cada paso se extrajeron de la clasificación las clases espectrales correspondientes a un grupo de clases de información, generando un mapa temático de esas clases. Con el mapa temático así obtenido se enmascaró la imagen original y se volvió a clasificar, comenzando el siguiente paso.

Finalmente, se superpusieron los mapas temáticos de cada grupo de clases, obteniendo así el mapa final.

En cada uno de los pasos, las clases espectrales generadas por el algoritmo de clasificación se asignaron a la clase de información buscada por medio del análisis tanto de sus firmas espectrales como su ubicación espacial.

Microondas

Como ya explicamos brevemente en la introducción, existen fuertes evidencias, en ecosistemas de humedal, de que el Δ^0 de la vegetación depende del nivel de inundación. Por lo tanto, para obtener un mapa de inundación, se generó, mediante el procedimiento de diferencia de imágenes, una imagen de cambio del Δ^0 entre la condición de inundación y la condición normal.

A continuación, la imagen de cambio se segmentó en 9 intervalos de cambio que cubrían todos los valores resultantes de la diferencia de imágenes realizada. El intervalo de la segmentación (2 dB) fue seleccionado utilizando criterios estadísticos, de manera tal que la probabilidad de que un píxel que fue asignado a un rango de variación dado efectivamente pertenezca a él sea mayor al 95% (Oliver y Quegan, 1998).

Una inundación puede causar tanto un aumento como una disminución de la señal retrodispersada, dependiendo del tipo de cobertura dominante, el mecanismo de interacción presen-

te entre ese tipo de cobertura y la señal de radar, y la altura de agua que la inundación produzca.

Se obtuvo un mapa de inundación bajo la premisa de que en este caso, todas las áreas que sufrieron un cambio en el coeficiente de retrodispersión (ya sea de aumento o disminución) mayor a 2 dB se encontraban inundadas.

Resultados y discusión.

En la figura 2 se presenta el mapa resultante del proceso de clasificación de la imagen SACC MMRS. En este mapa se identifican bosques (incluyen bosque fluviales en el norte y bosques plantados de salicáceas en la porción sur), pastizales, cuerpos de agua, praderas de herbáceas equisetoides (juncales), praderas de herbáceas graminoides altas (pajonales) y praderas de herbáceas acuáticas arraigadas graminoides y latifoliadas. Los datos satelitales, permiten ver que estos grandes grupos no se distribuyen en forma homogénea en la región.

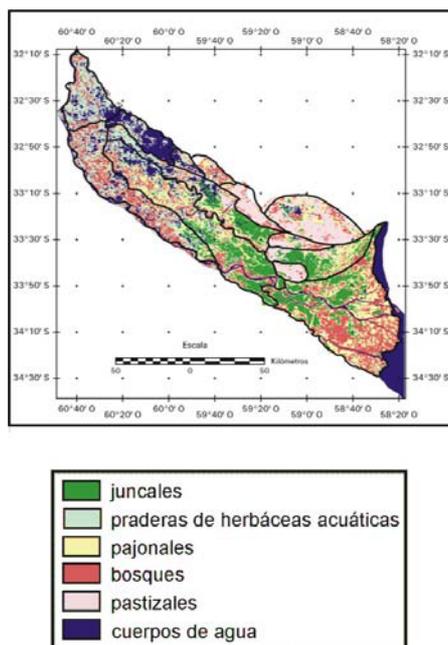


Figura 2: mapa de ambientes de la región del Delta del Río Paraná.

La región del Delta del Río Paraná posee una gran complejidad y un alto nivel de fragmentación natural. Esta característica intrínseca al sistema en estudio, sumada a la resolución espacial de las imágenes usadas generó ciertas dificultades en la asignación de las clases espectrales a las clases de información, principalmente en las unidades A y E, donde la abundancia de ríos y arroyos de poco ancho genera una gran cantidad de píxeles mixtos, que incluyen a los arroyos y los bosques presentes en los albardones adyacentes.

También se encontraron dificultades para diferenciar (en las mismas unidades) los píxeles de bosques de los correspondientes a praderas herbáceas acuáticas, debido a la semejanza espectral de estas clases. En este caso además de la información espectral se utilizó la ubicación espacial de los píxeles de cada clase espectral, debido al conocimiento de que, en esta zona, los bosques generalmente se encuentran solo en los albardones adyacentes a los cuerpos de agua.

La validación de este mapa mediante matriz de errores se encuentra en curso, ya que no fue posible llevar a cabo el trabajo de campo debido a la magnitud de la inundación en los primeros meses del presente año.

A partir del procesamiento de las imágenes de radar, se generó un mapa de cambios donde cada categoría de cambio representa un intervalo de diferencia del coeficiente de retrodispersión $\tilde{\Delta}^0$, en dB (figura 3).

Aquí se observa que la mayor parte del Delta del Río Paraná se vio afectado por la crecida del Paraná. Sin embargo, no es sencillo determinar *a priori* de que manera responderá el $\tilde{\Delta}^0$ a cambios en la condición de inundación. El $\tilde{\Delta}^0$ HH de una zona boscosa depende de muchos factores del terreno, como la densidad y estructura del dosel, la rugosidad del suelo a micro y meso escala y el contenido de humedad del suelo y de la vegetación. Sin embargo, existen evidencias de que el $\tilde{\Delta}^0$ de la vegetación en humedales puede modelarse a primer orden considerando tres mecanismos de interacción básicos: (1) retrodispersión del dosel, (2) retrodispersión del suelo y (3) doble rebote suelo-tronco.

En general, se observa que las áreas que muestran un aumento de la señal mayor a 2 dB son aquellas dominadas por bosques. Este aumento puede explicarse como un cambio en el mecanismo de interacción dominante, al pasar de una condición normal del suelo (suelo seco

y bien drenado) a suelo inundado. En condiciones de suelo seco, el mecanismo de interacción dominante es la retrodispersión del dosel, en cambio, al aparecer agua sobre el suelo, el mecanismo de interacción dominante pasa a ser el doble rebote suelo-tronco (donde la onda rebota en el agua y el tronco del árbol), lo cual genera una retrodispersión mucho mayor que la correspondiente al dosel.

En las zonas que muestran disminución de la señal retrodispersada dominan distintos tipos de comunidades de herbáceas. Esta disminución también puede explicarse como un cambio en el mecanismo de interacción. En condiciones normales de inundación, el mecanismo de interacción dominante en las herbáceas es el doble rebote suelo-tallo (o suelo hoja). Sin embargo, el ingreso de agua por la crecida reduce la altura emergida de la vegetación dejando disponible menos superficie de vegetación con la cual la onda de radar puede interaccionar. Cuando el ingreso de agua es tal que la vegetación está completa o casi completamente cubierta, el mecanismo de interacción dominante es la retrodispersión proveniente de la superficie de agua, la cual genera una retrodispersión menor que el doble rebote suelo-tallo.

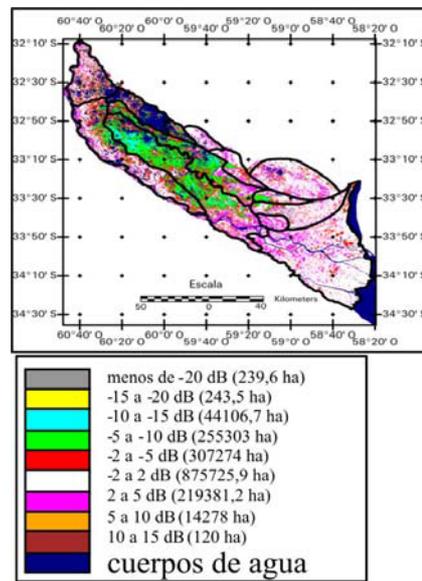


Figura 3: mapa de cambio de la respuesta de los elementos de la superficie a la onda del radar.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la interpretación y análisis del aumento o disminución de la señal en la imagen diferencia se realizó del siguiente modo (figura 4):

- todos los valores comprendidos entre -2 y 2 dB se consideró que no indican cambios significativos, es decir que el área en consideración no se vio afectada por la crecida del río Paraná.
- todas las diferencias mayores a 2 dB (ya sea aumento o disminución) corresponden a zonas inundadas por la crecida del río Paraná.

Este tipo de análisis permite una primera estimación del cambio en la condición de inundación. El siguiente paso sería determinar el nivel de inundación (es decir, si el agua cubrió la vegetación, o cual es la altura del agua sobre el sustrato) de los distintos ambientes presentes en el área de estudio. Extraer este tipo de información es más difícil y requiere un análisis delicado de los mecanismos de interacción intervinientes en cada ambiente, y del tipo de cambio de mecanismos de interacción que representaría en ellos distintas alturas de agua sobre el suelo, en el pasaje de no inundado a totalmente cubierto de agua (Parmuchi et al., 2002).

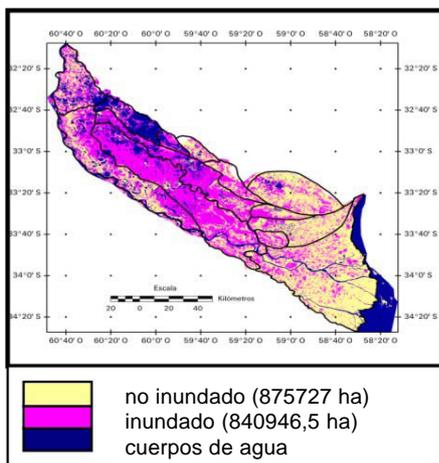


Figura 4: mapa de inundación obtenido por medio de detección de cambios de imágenes de radar.

Obtener la altura del agua debajo de la vegetación requiere:

- 1) contar con un modelo de la arquitectura de la vegetación
- 2) contar con un modelo electromagnético de interacción señal de radar - modelo de vegetación
- 3) contar con un algoritmo (solución del problema inverso) que obtenga la altura del agua para cada tipo de vegetación.

Esto se ha llevado a cabo para juncales y pajonales del Bajo Delta (Grings et al, 2006, 2007). En el caso de la zona de este trabajo, los modelos de arquitectura de la vegetación y los correspondientes mecanismos de interacción dominante están en desarrollo.

Conclusión

Como resultado de este trabajo se obtuvo el primer mapa de la región que indica grandes tipos fisonómicos, mediante la clasificación no supervisada progresiva de imágenes de media resolución, como las SACC MMRS.

Por medio del procedimiento de diferencia de imágenes del rango de las microondas, se generó una imagen de intervalos de cambio en la señal retrodispersada entre una fecha previa y una posterior al pico de la última crecida del río Paraná, pudiéndose identificar zonas inundadas.

Para un análisis más detallado, como la estimación de la altura de agua sobre el sustrato que significó esta crecida del río Paraná, hace falta un análisis de los mecanismos de interacción basado en modelos de arquitectura de la vegetación y modelos electromagnéticos de interacción.

Generalmente, durante los eventos climáticos extremos como inundaciones y tormentas no es posible obtener imágenes ópticas debido a la cobertura de nubes, y en el caso en que puedan obtenerse, estas no permiten estimar la extensión de la inundación, ya que no puede verse el agua presente debajo del dosel de la vegetación.

Estos dos inconvenientes pueden solucionarse mediante el uso de imágenes del rango de las microondas, que pueden obtenerse de noche y en presencia de nubes, y que potencialmente atraviesan el dosel de la vegetación, permitiendo «observar» el agua presente por debajo de la misma.

Referencias

- CONAE, página web. http://ggt.conae.gov.ar/sac_c/AngulosMMRS.htm
- CONAE, página Web, http://ggt.conae.gov.ar/sac_c/producto1.htm
- ESA, página web. <http://earth.esa.int/services/best/>
- ESA. ASAR Product Specifications.
- Ferrazzoli, P.; Guerriero, L. & Schiavon, G. 1999, 'Experimental and model investigation on radar classification capability', *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 37(2), 960—968.
- Grings F. M., Ferrazzoli P., Karszenbaum H., Tiffenberg J., Kandus P., Guerriero L., Jacobo-Berlles J. C. 2005. «Temporal evolution of junco marshes radar signatures». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 43: 10 p 2238-2245
- Grings, F. M., Ferrazzoli P., Karszenbaum H., Salvia M., Kandus P., Jacobo-Berlles J. C., Perna P. 2006. Effects of vegetation structure on wetlands flood monitoring using SAR instruments. *Proceeding of the 2nd International Symposium of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQR'S II)*, Valencia, España, 25-29 Setiembre, 2006
- Grings, F.M., Ferrazzoli, P., Karszenbaum, H., Salvia, M., Kandus, P., Jacobo-Berlles, J. C., Perna, P., 2007, «Model investigation about the potential of C band SAR in herbaceous wetlands flood monitoring», *International Journal of Remote Sensing*, en prensa.
- Kandus, P., Quintana, R. D., and Bo', R. F., 2006, *Landscape Patterns and Biodiversity of the Lower Delta of the Paraná River, land Cover Map* (Buenos Aires: Pablo Casamajor ed.), 48p.
- Kandus, P., Karszenbaum, H. y Frulla, L.A. 1999. Land cover classification system for the Lower Delta of the Paraná River (Argentina). Its relationship with Landsat Thematic Mapper spectral classes. *Journal of Coastal Research*, 15: 909-926.
- Malvarez A. I., 1997. Las comunidades vegetales del Delta del río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones de paisaje. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Mitsch W.J., Gosselink J.G., 2000, *Wetlands*. Third edition. New York, USA: John Wiley and Sons
- Neiff J.J. y Malvárez, A. I. 2004. Grandes humedales fluviales. In Malvárez and Bó comp. «Bases ecológicas para la clasificación de humedales en Argentina». Pp. 77-83.
- Oliver, S, Quegan S. 1998, *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, Artech House Publishers.
- Parmuchi, M. G., Karszenbaum, H. y Kandus, P., «Mapping the Paraná River delta wetland using multitemporal RADARSAT/SAR data and a decision based classifier». *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, pp:631-635, 2002.
- Townsend, P. & Foster, J. 2002, 'Assessing flooding and vegetation structure in forested wetlands using Radarsat SAR imagery', in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. IEEE International, Volume 2, 24-28 June 2002 Page(s):1171 - 1173 vol.2*.
- Zoffoli, M. L., Kandus, P., Madanes, N., Calvo, D., 2007. Contribution of NOAA AVHRR-NDVI time series to seasonal and interannual analysis of wetlands macrosystems in South America. The case of the Paraná Delta Re