

# Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná

SEPULCRI, M.G.<sup>1</sup>; PIZARRO, M.J.<sup>1</sup>; FLAMENCO, E.<sup>1</sup>; HERRERA, M.<sup>1</sup>; BORUS, J.<sup>2</sup>; GIORDANO, L.<sup>2</sup>

## RESUMEN

El delta del río Paraná es un ecosistema de alta fragilidad ambiental y muy susceptible a las inundaciones. A su vez, se caracteriza por tener una importante actividad económica, social y productiva. Disponer de una cartografía de susceptibilidad hídrica en la región es una herramienta útil para la toma de decisiones en los sectores agropecuario y forestal. Además de los pronósticos de caudales, es importante contar con una estimación de la distribución espacial de los derrames según el escenario hidrológico previsto que puede fluctuar entre muy seco (aguas muy bajas) y muy húmedo (aguas muy altas). Mediante el procesamiento y clasificación de imágenes satelitales de alta resolución correspondientes a la serie temporal 1980-2010 se generó un mapa de susceptibilidad hídrica en el tramo medio del delta Paranaense. El empleo de esta información superpuesta con las cartas topográficas de la zona permitirá al productor agropecuario, a través de la ubicación por coordenadas geográficas, tener conocimiento del grado de afectación por el agua que tendrá un área determinada.

**Palabras clave:** imágenes satelitales, escenarios hídricos, distribución espacial, pronóstico.

## ABSTRACT

*The Paraná River delta plays a key role in the economies, water resources, agriculture and social field of the region. A water susceptibility mapping of the region could be a useful tool for the decision making in the agriculture and forestry fields. In addition to the flow forecasts, an estimation of the spatial distribution of the flooding areas according to the predicted hydrologic scenario is very important. The hydrologic scenarios range from very dry (very low water) to very humid (very high water). A water susceptibility map for the mid Paraná River delta was generated using high resolution images from 1980 to 2010 time series, which were processed and classified. This resulting information can be overlapped with the topographic maps of the region and through the geographic coordinate location a field producer or another entity could be aware of the degree of damage by water that a certain area could suffer.*

**Keywords:** satellite images, hydrological scenarios, spatial distribution, forecast.

<sup>1</sup>Instituto de Clima y Agua. CIRN INTA Castelar. Las Cabañas y Los Reseros s/n (1712), Castelar, Buenos Aires, Argentina. Correo: gsepulcri@cni.inta.gov.ar

<sup>2</sup>Instituto Nacional del Agua. Au. Ezeiza-Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1,62 (1804), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca del Plata juega un rol relevante en la economía, recursos hídricos y la agricultura de la región (Su *et al.*, 2008). El valle aluvial del río Paraná, en sus tramos medio e inferior con frecuencia es afectado por inundaciones con daños considerables tanto a nivel social como económico y productivo (Anderson *et al.*, 1993; Camilloni, 2005). Para realizar un manejo eficiente de las cuencas hidrológicas es necesario conocer primero cómo es la dinámica hídrica de estos sistemas. La descarga o caudal del río ha sido siempre la variable más discutida (Berbery and Barros, 2002) y depende de varios factores como la variabilidad climática (precipitación, evapotranspiración), la topografía, el tipo de suelo, el uso del suelo y las actividades del hombre.

Debido a la compleja génesis de esta llanura podemos encontrar, además de los cauces principales, cauces secundarios, temporarios, diferentes tipos de lagunas y albardones que permiten generar ambientes lóticos, lénticos y terrestres que le confieren al valle una gran heterogeneidad ambiental (Iriondo, 1972; Francheschi *et al.*, 1979) y edáfica (Passeggi, 2000). El régimen hídrico de estas islas está condicionado por el régimen del río y por el de las precipitaciones locales. El patrón pulsátil de inundación (Neiff, 1996; Aceñolaza *et al.*, 2003) produce impacto sobre las características geomorfológicas y biológicas de las islas, sumándole a la heterogeneidad geomorfológica, temporalidad ecológica, lo cual se refleja en la vegetación.

Existen pronósticos estacionales de caudales en el corto y mediano plazo (5-10 días y 6 meses respectivamente), que ayudan a la toma de decisiones por parte de los productores y funcionarios públicos como así también de los habitantes de la zona. Es importante tener pronósticos confiables como así también brindar información sobre la distribución espacial de las aguas bajo distintos escenarios hidrológicos los que, conforme al pronóstico hidrológico estacional (Flamenco, 1998), pueden clasificarse como de aguas muy altas, altas, normal, bajas y muy bajas. Para llegar a obtener mapas de áreas afectadas por agua se requiere indefectiblemente disponer de pronósticos estacionales de caudales en la zona de estudio, de modo de poder evaluar la susceptibilidad hidrológica del área. El concepto de susceptibilidad se refiere a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre un determinado espacio geográfico. Las áreas que más rápidamente quedan bajo agua ante la ocurrencia de un evento son las de mayor susceptibilidad hídrica. La susceptibilidad a inundaciones es la probabilidad de que una inundación ocurra en un área en base a las condiciones locales del terreno (Soldano, 2009). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue producir una cartografía de susceptibilidad hídrica para un sector del delta Paranaense utilizando imágenes satelitales de alta resolución y contribuir con información de utilidad para el sector agropecuario y forestal, debido a su importancia en la región. Esta cartografía constituirá una herramienta para el productor agropecuario, que será de fácil acceso y contribuirá en la toma de decisiones ante la ocurrencia de eventos importantes como sequía o inundación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área y período de estudio

En la porción inferior de la cuenca del Río Paraná se extiende la Región del Delta, situada entre las latitudes 32° 5' S, al sur de la ciudad de Diamante (Entre Ríos) y 34° 29' S, próxima a la ciudad de Buenos Aires (figura 1). Con una longitud de aproximadamente 320 km, la superficie cubre un total de 17.500 km<sup>2</sup> (Bonfils, 1962; Canevari *et al.*, 1999) dentro de la cual se hallan zonas actualmente sujetas a procesos fluviales y áreas anegables sin influencia fluvial, situadas al sur de la provincia de Entre Ríos (Malvárez, 1999).

Varios autores han subdividido a esta región basándose en distintos criterios, como es el caso de Iriondo (2004) quien bajo la denominación de "Complejo Litoral" subdividió al área en 10 unidades geomorfológicas. Otro ejemplo es el de Malvárez (1999) quien se basó en el análisis conjunto de patrones de paisaje, régimen hidrológico y tipo de vegetación. Considerando que esta última zonificación es más acorde a los fines de este estudio, encontramos en la figura 1 demarcadas las 11 unidades de paisaje resultantes del trabajo mencionado.

El área de estudio definida para este trabajo se presenta en la figura 1 y con respecto a las unidades de paisaje definidas por Malvárez, abarca la totalidad de algunas de ellas (B, C1, D, E, G) y fracciones en el caso de otras (A, C2, C3, F, H e I). En general, la mayoría de estas áreas comprenden distintos tipos de bosques, praderas, sabanas de litoral, arbustales, isletas de bosques y lagunas de llanura.

La información de caudales mensuales y alturas hidrométricas del río Paraná fue provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. En la etapa inicial de esta investigación se definieron los escenarios hídricos y, para cada uno de ellos, se seleccionaron las fechas posibles a analizar. Para tal fin, se trabajó con la serie histórica de caudales medios mensuales del río Paraná en Corrientes, período 1904/05–2008/09, información hidrológica amplia y confiable (serie de caudales medios mensuales de más de 100 años). La estación hidrométrica ubicada en la localidad de Corrientes presenta la mayor historia de aforos líquidos en el río Paraná desde Posadas hasta su desembocadura. Asimismo, uno de los coautores afirma sobre la confiabilidad de estos datos debido a que se ha revisado la curva de descarga de dicha sección en el marco del Proyecto Paraná Medio de Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado (AyEE, SE). Por otra parte, dentro del mismo Proyecto se ha evaluado la curva de doble masa o acumulación de volúmenes anuales (período 1905-2002) pertenecientes a la estación Timbúes, ubicada aguas arriba de Rosario. En este caso se demostró una diferencia negativa de aproximadamente un 10% con respecto a los datos de Corrientes, lo que convierte a esta serie de datos como poco consistente. Por lo tanto, para la caracterización del régimen hídrico fue conveniente entonces utilizar la información de caudales anuales provenientes de la estación Corrientes que es la única sección donde se han desarrollado los dos modelos estacionales (semestrales) de pro-

nóstico que son el insumo principal para luego proceder a la elección de la cartografía de susceptibilidad hídrica. Del mismo modo, en función del análisis en Corrientes, se identificaron en el puerto de San Pedro (situado en el delta del río Paraná) períodos correspondientes a cada año hidrológico más acotados, considerando en este caso alturas hidrométricas (tabla 1), con el objetivo de ajustar los períodos o las fechas para la búsqueda de las correspondientes imágenes satelitales.

Para cada año se calculó el caudal medio del año hidrológico (septiembre-agosto) y se aplicaron sobre dicha serie temporal funciones de distribución (Pearson, Log-Pearson y Gumbel). La función de mejor ajuste fue la de Gumbel. Sobre la base de estos resultados, se establecieron los umbrales para la clasificación del régimen hídrico del río Paraná cuyos valores y categorías se detallan en la tabla 2. A partir de la caracterización del régimen hídrico, se seleccionaron años hidrológicos para cada categoría desde el año 1980, donde se comienza a disponer de imágenes satelitales.

Por otra parte, el año hidrológico se dividió en dos períodos (abril-septiembre y octubre-marzo) en base al régimen de lluvias y la probabilidad de ocurrencia de un evento inundación. En términos generales, durante la temporada de primavera-verano el régimen de lluvias es más importante y, en consecuencia, las crecidas ocurren frecuentemente durante este período. En la temporada otoño-invierno, el estado de aguas suele ser de estiaje. No obstante, existe la probabilidad de que ocurran situaciones atípicas donde las lluvias se produzcan durante el invierno y como consecuencia ocurran inundaciones, tal como sucedió en los años 1983 y 1992. Otro aspecto importante a mencionar es que debido a que la serie de datos de caudales seleccionada corresponde al puerto de Corrientes y que éste no se halla dentro del área de estudio, se debe tener en cuenta la existencia de un retraso de 30 a 60 días entre la ocurrencia de una onda de crecida registrada en dicho puerto y el puerto de Rosario.

En la tabla 3 se detallan la cantidad de imágenes disponibles para cada sub período dentro del año hidrológico y para cada tipo de escenario hídrico (seco, normal y húmedo).

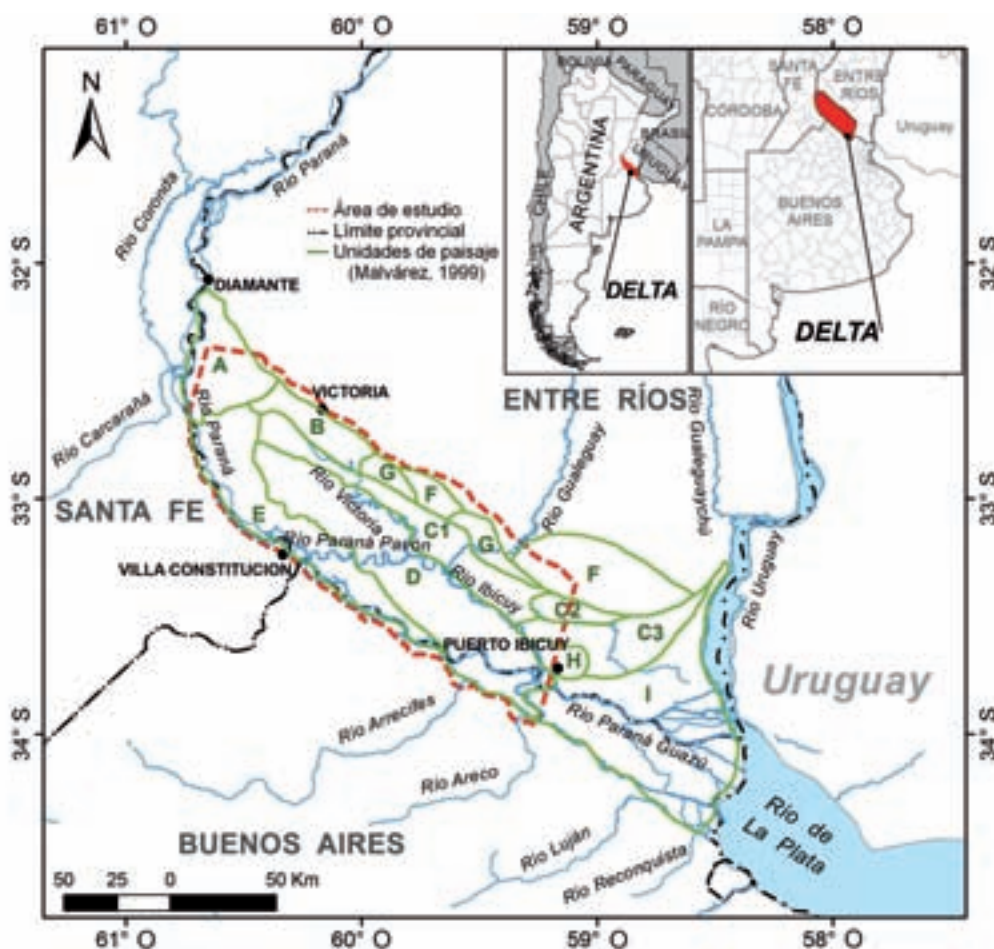


Figura 1. Delta del Río Paraná (Argentina). Área de estudio y unidades de paisaje propuestas por Malvárez (1999).

Fechas a analizar según sitio				
Estado	Año	Caudal medio anual (m3.s-1)	Corrientes	San Pedro
Seco	1999/2000	13500	todos los meses	dic 1999 a feb 2000
	2008/2009	13800	todos los meses	enero a mayo 2009
Normal	1995/1996	16300	todos los meses	nov 1995, feb, marzo, mayo, junio 1996
	2002/2003	15600	todos los meses	octubre 2002 a junio 2003
	2004/2005	16100	todos los meses	nov 2004 a mayo 2005
Húmedo	1991/1992	22100	todos los meses	abril 1992 a mayo 1993
	1992/1993	21300	sept 1992 a abril 1993	
	1997/1998	27300	todos los meses	nov 1997 a nov 1998
	1998/1999	21300	sept a dic 1998	
	2006/2007	18700	dic 2006 a abril 2007	marzo a junio 2007

Tabla 1. Fechas seleccionadas para analizar imágenes según información obtenida en los puertos de Corrientes y de San Pedro.

Probabilidad excedencia (%)	Caudal medio anual (año hidrológico) 1904/05 - 2008/09	Régimen hídrico
20	20100	Muy húmedo
40	17400	Húmedo
60	15500	Normal
80	13600	Seco
		Muy Seco
<b>Mediana</b>	16400	
<b>Media</b>	17000	

Tabla 2. Régimen hídrico del caudal medio (año hidrológico) para el delta del río Paraná.

**Información satelital**

Sobre la base de los períodos detallados en la tabla 1 para el puerto de San Pedro, se seleccionaron las imágenes satelitales para el área de estudio, que en total fueron 56. Las imágenes empleadas fueron adquiridas por el sensor Thematic Mapper (TM 5) del satélite Landsat y fueron provistas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CONAE), el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y por el U. S. Geological Survey (USGS). La elección de la fuente de imágenes estuvo basada en la resolución espacial y espectral de las mismas, siendo la primera de 30 metros, lo cual permite tener una visualización a nivel de lote. Con respecto a la resolución espectral, estas imágenes están compuestas por 6 bandas que dentro del espectro electromagnético se hallan en el rango visible (3 bandas): infrarrojo cercano (una banda) e infrarrojo medio (dos bandas). La resolución temporal de estas imágenes es de 16 días. De las pasadas del satélite Landsat se tomó la correspondiente al path/row 226-083 que captura principalmente el tramo medio del delta (desde Villa Constitución hasta el puerto de Ibicuy). Cada path/row

Escenarios hidrológicos		
Seco	Normal	Húmedo
26/01/2000	27/03/1996	17/04/1992
10/01/2009	23/02/2003	23/08/1992
02/05/2009	26/05/2003	02/04/1998
	04/03/2005	05/06/1998
	05/04/2005	09/09/1998
		29/05/2007
		12/01/2010

Tabla 3. Cantidad de imágenes disponibles para cada subperíodo abril-septiembre (abr-sept) y octubre-marzo (oct-marzo) dentro de cada año hidrológico analizado, según escenario hídrico.

cubre una superficie de 185 x 185 Km. Del total de fechas disponibles, se seleccionaron aquellas que no presentaran nubes o su porcentaje fuera mínimo. Asimismo, hubo fechas para las cuales no se dispuso de imágenes. Las fechas con imágenes disponibles se detallan en la tabla 4.

Cantidad de imágenes		
Escenario	Abr-Sept	Oct-Marzo
<b>Húmedo</b>	6	1
<b>Normal</b>	2	3
<b>Seco</b>	1	2

Tabla 4. Fechas con imágenes disponibles para cada escenario hidrológico.

A cada una de las imágenes satelitales se les realizó una corrección geométrica para darles proyección geográfica. En este caso se utilizó Transversal Mercator Faja 5 con Datum WGS84. Por otra parte, se realizó una calibración radiométrica y corrección atmosférica. En cuanto a ésta última, se utilizó la técnica "Dark Object Substraction" (DOS),

la cual asigna al valor mínimo de cada banda la propiedad de cuerpo negro, igualando su reflectividad a cero. Posteriormente, este valor se resta a cada píxel de cada banda. Para realizar este procedimiento se utilizó el software ENVI® y su función Dark Substract.

A continuación, para cada una de las imágenes coincidentes con las fechas seleccionadas, se calcularon índices normalizados de vegetación (NSVI), suelo (NDSI) y agua (NDWI) utilizando información espectral en las longitudes de onda del visible (VIS): rojo (R) y verde (V), infrarrojo cercano (IR) e infrarrojo medio (SWIR) (tabla 5). A partir del cálculo de estos índices, se realizó un compuesto de tres bandas en falso color compuesto, filtrando por el rojo al NDSI, por el verde al NDVI y finalmente por el azul al NDWI, según lo propuesto por Takeuchi y Yasuoka (2005). Estos autores denominaron al compuesto como NDXI, obteniéndose como resultado un mapa temático donde las superficies con agua aparecen con predominio de color azul, la vegetación con predominio de color verde, mientras que el suelo desnudo, la vegetación seca y las áreas urbanas oscilan entre el rojo y amarillo generando tonalidades anaranjadas. Esta misma metodología fue aplicada por Rodríguez *et al.* (2009, 2010) para evaluar coberturas de suelo y las zonas inundadas en la Pampa húmeda, y por Edrosa *et al.* (2009) para generar una cartografía de susceptibilidad a inundaciones en las islas del delta superior y medio del río Paraná.

	Fórmula	Bandas Landsat
NDVI	$(IR-R)/(IR+R)$	3 (VIS, R); 4 (IR)
NDSI	$(SWIR-IR)/(SWIR+IR)$	5 (SWIR); 4 (IR)
NDWI	$(VIS-SWIR)/(VIS+SWIR)$	2 (VIS, V); 7 (SWIR)

**Tabla 5.** Fórmulas y bandas espectrales correspondientes a las imágenes Landsat utilizadas para el cálculo de los índices de vegetación (NDVI), suelo (NDSI) y agua (NDWI).

Cada imagen resultante se obtuvo bajo dos formatos: byte y punto flotante. La primera para ser posteriormente clasificada y la segunda para ayudar en la separación de clases a partir de la interpretación de los histogramas. Cada imagen en formato byte fue clasificada según la metodología ISODATA estableciendo un criterio de 30 clases como máximo. Los algoritmos de clasificación permiten agrupar píxeles en base a sus similitudes espectrales, que permiten encontrar un correlato entre las características de la región y alguno de los elementos de paisaje a identificar. Los algoritmos no supervisados permiten encontrar clases sin conocimiento previo de su existencia. Una vez corrida la clasificación no supervisada, se procedió a clasificar cada píxel de cada imagen en dos posibles categorías: agua y no agua, asignando valores de 1 y 0 respectivamente, basándose en los valores de los índices (NDVI, NDSI y NDWI) y en sus distribuciones de frecuencias.

Posteriormente, cada una de las imágenes se transformó a máscara de agua con el objetivo de visualizar indepen-

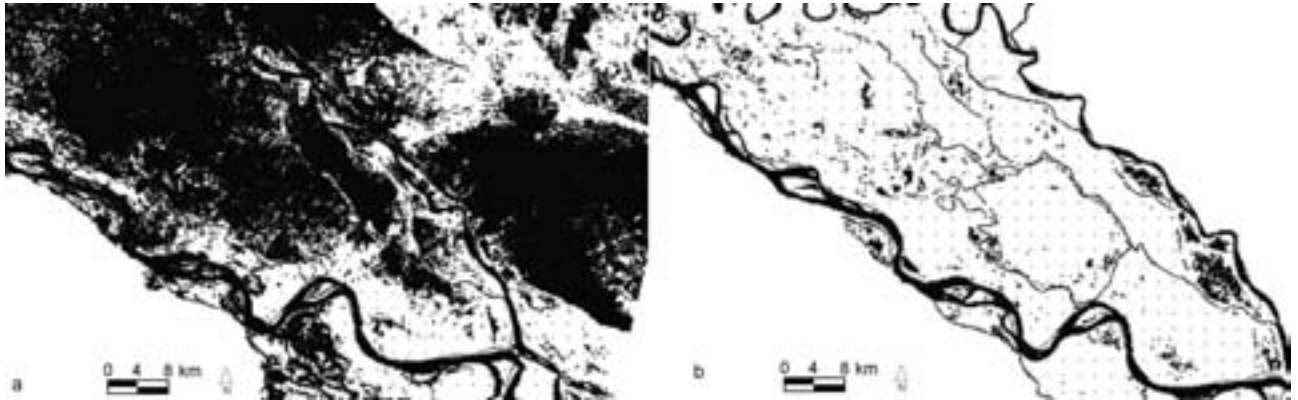
dientemente cada escenario hídrico en un sistema de información geográfico (SIG). Por otra parte, con el conjunto de imágenes procesadas se estableció la frecuencia con que cada píxel estuvo ocupado por agua en todos los períodos evaluados (seco, normal y húmedo). Para ello, se agruparon las imágenes según el escenario hídrico, siendo un total de 7 imágenes para el período húmedo, 5 para el normal y 3 para el seco. A continuación, se sumaron las tres imágenes obteniendo la frecuencia (de 0 a 1) con que cada píxel estuvo ocupado por agua. Los píxeles con una frecuencia cercana a 1 indican que esas zonas, independientemente del escenario, estuvieron ocupadas por agua. Por lo tanto, corresponden a cursos de agua permanentes. Luego se establecieron rangos para clasificar las frecuencias con que cada píxel estuvo ocupado por agua en muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo.

## RESULTADOS

A partir de la clasificación no supervisada de las imágenes, se determinaron las clases agua y no agua y se asignaron valores de 1 y 0, respectivamente, en base a los criterios citados a continuación. En general, para la clase agua el valor medio de NDWI es de 0.22. Sin embargo, los cursos de agua permanentes presentan valores de este índice que oscilan entre 0.6 y 0.8 (Rodríguez *et al.*, 2009). En general, los valores de NDSI aportan muy poco a la diferenciación de clases ya que sus valores son generalmente negativos y próximos a cero. El índice de vegetación (NDVI), presenta un valor medio de 0.4 para la vegetación, mientras que para la clase agua suelen ser negativos o muy bajos (próximos a cero). En este caso, suelen presentar un correlato negativo con el NDWI. Por lo tanto, se puede considerar que aquellas clases cuyas distribuciones de frecuencia de NDWI caracterizadas por valores en su mayoría positivos y distribuciones de NDVI fuertemente negativas son agua. Sin embargo, en el caso de las zonas ribereñas, los valores de NDVI aumentan como consecuencia de la vegetación presente. En este caso, si la distribución de valores de NDWI muestra valores positivos en un 60% o más sumado a valores de NDVI positivos y bajos, esta clase es considerada como agua.

Como resultado, se obtuvieron máscaras de agua para cada una de las escenas analizadas. De esta manera, fue posible visualizar la superficie ocupada por agua en las distintas fechas. A modo de ejemplo, la figura 2 muestra dos escenarios hídricos opuestos: muy húmedo y muy seco, y la distribución espacial de las áreas con agua en cada uno.

Por otra parte, se estableció la frecuencia con que cada píxel estuvo ocupado por agua en todo el período de estudio. Como resultado se obtuvo una imagen cuyos valores por píxel fluctuaron entre 0 y 1. Para visualizarlo en un mapa con la distribución espacial del agua según cada escenario hidrológico, se clasificaron las frecuencias en rangos que variaron desde el estado muy seco hasta el muy húmedo en una escala colorimétrica, obteniendo el mapa de susceptibilidad hídrica (figura 3). Para ello se empleó la metodología estadística conocida como "natural breaks" o



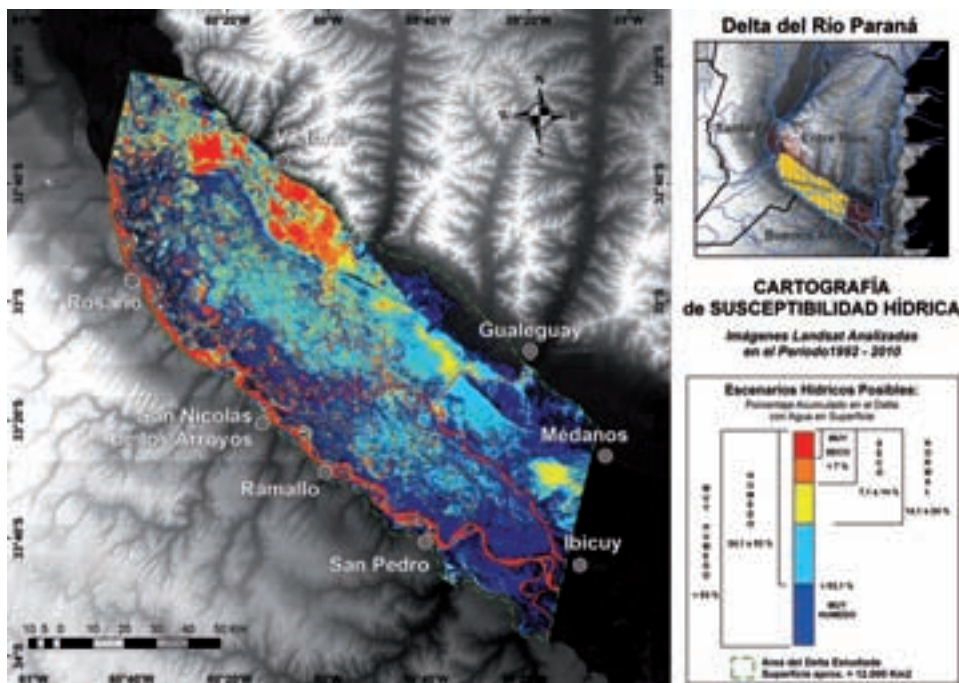
**Figura 2.** Máscaras de agua correspondientes a dos escenarios hídricos opuestos: **a.** 29 de mayo de 2007 (clasificado como muy húmedo) y **b.** 10 de enero de 2009 (clasificado como muy seco).

algoritmo de Jenks que calcula las diferencias entre los valores de los píxeles ordenados de forma creciente, proponiendo un límite o punto de quiebre para separar en rangos de modo que las diferencias entre grupos se maximicen y se minimicen dentro de cada grupo (Jenks, 1967). Este algoritmo trabaja con cinco clases, de manera que coincide con la cantidad de rangos de frecuencias o escenarios que se definieron en este trabajo (muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo). Los límites (en número de píxeles ocupados por agua dentro de cada rango) a partir de los cuales se definió cada escenario figuran en la tabla 6.

Nótese que en la figura 3 se aprecia el estado de aguas para cada uno de los escenarios hidrológicos los cuales, a medida que avanzan en el estado hacia mayor humedad, se van sumando las superficies ocupadas por agua. En el

caso del período muy seco, por ejemplo, se observa que solamente están ocupados por agua los píxeles correspondientes a los cursos de agua permanente (color rojo). Así, cada color nuevo que aparece en la figura incluye la superficie ocupada por el agua del estado anterior.

Asimismo, este mapa de susceptibilidad se superpuso con información proveniente de cartas topográficas georeferenciadas de la zona. De esta manera, fue posible localizar establecimientos en particular por sus coordenadas geográficas de latitud y longitud y observarlo simultáneamente sobre la carta y el mapa de susceptibilidad hídrica (figura 4). Esto permitió visualizar el nivel de riesgo presente en un establecimiento determinado ante la presencia de cualquiera de los escenarios descriptos.



**Figura 3.** Cartografía de susceptibilidad a inundación y sequía del delta del Río Paraná. Escenarios Hídricos Probables: Muy Seco, Seco, Normal, Húmedo y Muy Húmedo.

Escenarios	Píxeles con agua	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Muy Seco	0 a 939803	< 845,82	< 7
Seco	939804 a 1848900	845,83 a 1664,01	7,1 a 14
Normal	1848901 a 3244315	1664,02 a 2919,88	14,1 a 24
Húmedo	3244316 a 7063083	2919,88 a 6356,77	24,1 a 53
Muy Húmedo	7063084 a 11564581	> 6356,77	> 53,1

**Tabla 6.** Cantidad de píxeles con agua, superficie que representan y porcentaje de la imagen total que surgieron a partir de la metodología de "Natural breaks" para la definición de cada escenario hidrológico.



**Figura 4.** Ejemplo de localización espacial sobre una Carta Topográfica digital georreferenciada superpuesta con el escenario hídrico probable correspondiente al escenario húmedo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El mapa de susceptibilidad hídrica resultante permite dar una idea de la distribución espacial de píxeles ocupados por el agua para cada escenario hidrológico. Por medio de esta información combinada con los resultados de pronósticos estacionales de caudales, se pretende brindar una cierta probabilidad de la distribución espacial del agua. Asimismo, la superposición del mapa de susceptibilidad hídrica con las cartas topográficas georeferenciadas de la zona, brinda la posibilidad de estimar el grado de susceptibilidad a inundación y/o sequía probable para cualquier localización geográfica dentro del sector estudiado.

Por otra parte, es importante destacar que para este estudio la cantidad de imágenes disponibles para el período

seco fue muy baja y consecuentemente su bondad para representar la cartografía de susceptibilidad hídrica. A esto se suma que el escenario hídrico seco es el más difícil de analizar, ya que es muy dependiente de la situación antecedente y muy sensible a las lluvias locales. Asimismo, dentro del escenario húmedo correspondiente con el sub período octubre-marzo se dispuso de una sola imagen (tabla 4). Esto indica que habría que continuar con la investigación y aportar imágenes actuales para ampliar la serie histórica y obtener una mejor representación de la cartografía de susceptibilidad hídrica. A su vez, las imágenes que se vayan incorporando permitirían realizar una validación de la misma. Esta investigación no incluyó en su metodología la validación de la cartografía de susceptibilidad generada debido a que sobre los 19 años analizados fue posible

utilizar sólo 15 imágenes que abarcaron solamente 8 eventos. De esta manera, no fue conveniente separar un grupo de imágenes para la etapa de validación. No obstante, de aquí en adelante para los escenarios hídricos planteados se seleccionarán imágenes cada seis meses que ayudarán a evaluar la confiabilidad de esta cartografía hídrica.

Finalmente, se menciona que por medio de esta sencilla herramienta el productor puede combinar la información de una carta topográfica con el mapa de susceptibilidad hídrica a través de las coordenadas geográficas del campo. De esta manera podrá conocer en forma directa en qué medida su campo podría ser afectado por el agua según el escenario hidrológico elegido de acuerdo al pronóstico estacional. Esta información es de gran utilidad para la toma de decisiones ya sea para realizar un ordenamiento territorial, planificar el ecoturismo, o las prácticas agrícolas, ganaderas y forestales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEÑOLAZA, P.H.; POVEDANO, A.; MANZANO, J.; DE DIOS MUÑOZ, J.; ARETA; RONCHI VIRGOLINI, A.L. (2003) Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. *Serie Miscelánea*. INSUGEO 12, 169-184.
- ANDERSON, R.J.; RIBEIRO DOS SANTOS, N.D.; DIAZ, H.F. (1993) An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay River basin. World Bank, Latin America Tech. Dept., Environment Division, LATEN Dissemination Note 5, 19 pp.
- BERBERY, E.H.; BARROS, V.R. (2002) The Hydrologic Cycle of the La Plata Basin in South America. *Journal of Hydrometeorology* 3 (6), 630-645.
- BONFILS, C.G. (1962) Los suelos del Delta del río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. *Revista de Investigaciones Agrícolas*. XVI (3), 257-370.
- CAMILLONI, I.A. (2005) Extreme flood events in the Uruguay River of South America. *VAMOS Newsletter*, No. 2, International CLIVAR Project Office, Southampton, United Kingdom, pp 23-25.
- CANEVARI, P.; BLANCO, D.E.; BUCHER, E.; CASTRO, G.; DAVIDSON, I. (1999) Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. *Wetlands International* – Publicación N.º 46.
- EDROSA, R.; SOLDANO, A.; SERAFINI, M.C. (2009) Generación de cartografía sobre susceptibilidad a inundaciones en las Islas del Delta Superior y Medio del río Paraná. Mapping: Map and Sig consulting 131, 75-78.
- FLAMENCO, E.A. (1998) Pronóstico de inundaciones en el río Paraná en Corrientes, basado en el fenómeno ENSO. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 27 (3), 807-818.
- FRANCHESCHI E. A.; LEWIS J. P. (1979) Notas sobre la vegetación del valle santafecino del Río Paraná (R. Argentina). *ECO-SUR* 6, 55-82.
- IRIONDO, M. (1972). Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraná desde Helvecia hasta San Nicolás, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 27, 155-160.
- Iriondo, M., 2004. The littoral complex at the Paraná mouth. *Quaternary International* 114, 143-154.
- Jenks, G.F. (1967) The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography* 7, 186-190.
- MALVÁREZ, A.I. (1999) El Delta del Río Paraná como mosaico de humedales. En A.I. MALVÁREZ (ed.). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Oficina Regional de Ciencia y Técnica para América Latina y el Caribe (ORCyT) MAB/UNESCO. Montevideo, Uruguay. pp 35-54.
- NEIFF, J.J. (1996) Large rivers of South América: toward the new approach. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 26, 167-180.
- PASSEGGI, E. (2000) Caracterización sedimentológica del material parental de los suelos asociados a los depósitos de cauce del tramo medio del Río Paraná. Tesis doctoral. Universidad Católica de Santa Fe. 216 pp.
- RODRÍGUEZ, D.M.; BOLZI, S.C.; VELASCO, I. (2010) Evaluación de zonas inundadas en la Pampa húmeda con datos del sensor MODIS/Terra. XIV Simposio Internacional Selper. 8-12 de noviembre de 2010. Guanajuato, México.
- RODRÍGUEZ, D.M.; VELASCO, I.; MARINO M. (2009) Clasificación de coberturas de suelo mediante el uso de índices e imágenes satelitales de distintos sensores. X Congreso Argentino de Meteorología - CONGEMET X. 5-9 de octubre. Bs. As., Argentina.
- SOLDANO, A. (2009) Inundaciones: ¿Qué es susceptibilidad? Conceptos sobre riesgo. Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones. 16 al 20 de marzo, Falda del Carmen, Córdoba, Argentina.
- SU, F.; HONG, Y.; LETTENMAIER, D.P. (2008) Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology* 9, 622-640.
- TAKEUCHI, W.; YASUOKA, Y. (2005) Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data. *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing* 43 (6), 7-19.