

## RIESGO DE ANEGAMIENTO: ESTIMACIONES PARA LA CUENCA BAJA DEL RÍO SALADO

PABLO MAURICIO VÁZQUEZ<sup>1</sup>; FABIÁN NÉSTOR CABRIA<sup>2</sup>; MARÍA DEL CARMEN ROJAS<sup>1</sup>  
& MIRTA BEATRIZ CALANDRONI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INTA, EEA Cuenca del Salado. Av. Belgrano 416 (7203), Rauch, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) CC 276 (7620), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pmvazquez@correo.inta.gov.ar

Recibido: 21-11-08

Aceptado: 28-09-09

### RESUMEN

Está documentado que de 1986 al 2001 se incrementó en un 69% el área cultivada en sectores de la Pampa Deprimida, y que el avance agrícola se realizó sobre tierras que cíclicamente fueron afectadas por excesos de agua (anegamiento o inundación). Con el propósito de auxiliar la planificación y el ordenamiento de actividades agropecuarias en tierras de la Pampa Deprimida, nos propusimos generar información que denote el riesgo de anegamiento o inundación. Para alcanzar este objetivo se calculó la recurrencia de las precipitaciones en 20 estaciones meteorológicas y se vinculó con la frecuencia de anegamiento en los píxeles que surgió del análisis de una serie temporal de imágenes satelitales. Los resultados indican que se han registrado eventos extremos de precipitación acumulada en todas las estaciones del año y que los anegamientos acontecidos en otoño e invierno fueron más prolongados que los ocurridos en periodos primavero-estivales. Si bien el otoño e invierno son estaciones donde las áreas permanecieron anegadas por periodos de tiempo similar, la mayor recurrencia de los eventos en abril y mayo determinaron que el otoño fuese la estación crítica. Problemas severos de anegamiento comenzarían cuando las precipitaciones exceden 150-200 mm. En la serie temporal analizada, acumulaciones de precipitación de esa magnitud se vincularon con superficies anegadas que equivalen al 68,76% de la región (5.844.709 ha). El patrón de anegamiento permitió observar que estructuras antrópicas contribuyeron hasta el 2,11% del anegamiento regional, siendo los principales impedimentos para el movimiento del agua bordos en los canales 12, 11 y 9, la ruta provincial 29 (entre la localidad de Ayacucho y su cruce con el camino a Casalins) y la línea férrea de Metrovias (ex FF.CC. Roca). Mediante técnicas de percepción remota se determinó que en la campaña 2003-2004, un 22,8% del área destinada a la producción de cultivos (173.571 ha) eran sitios donde la recurrencia de anegamiento fue >40%, y que el 7,98% de la superficie destinada a verdeos (51.504 ha) se realizaron en sitios riesgosos.

**Palabras clave.** Anegamiento, recurrencia, cuenca baja del río Salado.

### FLOODING RISK IN THE SALADO RIVER BASIN

#### ABSTRACT

It is well documented that the lower basin of the Salado River has been always exposed to frequent floods. Nevertheless, from 1986 to 2001 the cultivated surface of the Flooding Pampas increased by 69%, being this agricultural expansion mostly over lands that have been periodically affected by floods. A flooding risk analysis was carried out in order to assist with the planning and disposition of farming activities in the Flooding Pampas. For this purpose, the recurrence of precipitations was calculated over 20 meteorological stations, and linked to a by-pixel flooding frequency layer resultant from an analysis of a time-series of satellite images. Results denote that extreme events of accumulated precipitation have been registered in all seasons, being autumn and winter flooding events more prolonged than the spring and summer ones. Even though autumn and winter had similar flooding durabilities, autumn turned out to be the critical season as a result of a higher frequency of flooding events in April and May. Severe flooding could occur when precipitations exceed 150-200 mm, as precipitation accumulations of these magnitudes were related to flooded areas equivalent to 68.76% of the region (5,844,709 ha). Anthropoc structures contributed to as much as 2.11% of the regional flooding, as shown by the flooding pattern of the region, being channels 12, 11 and 9, as well as the provincial highway No. 9 and the train rail from Metrovias the main impediments for the water flow. For the 2003-2004 period, we determined through remote sensing techniques that 22.8% of the surface with crop production (173,571 ha) corresponded to areas with a flooding recurrence higher than 40%, whereas only 7.98% of the surface with sown pastures (51,504 ha) corresponded to risky areas.

**Key words.** Flooding, recurrence, Salado river basin.

## INTRODUCCIÓN

La Pampa Deprimida es una extensa llanura limitada al norte por la Pampa Ondulada, al sur por el sistema de Tandilla, al oeste por la Pampa Arenosa y al este por el océano Atlántico. Abarca en gran parte la cuenca media y baja del río Salado, todos los sistemas hidrográficos de sus tributarios y el sistema del río Sanborombón. Es el área de concentración de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales de un área de 10 millones de hectáreas. La región que más frecuentemente se anega es la depresión del río Salado cuya superficie puede estimarse en 6,5 millones de hectáreas (Barbagallo, 1983). Los antecedentes históricos demuestran que esta región soporta inundaciones cuya recurrencia fue, hasta la década del 60', de trece años aproximadamente (1884, 1900, 1915, 1919, 1930). Según Posadas (1934) en este ciclo las inundaciones siempre estuvieron precedidas por un año muy húmedo. Al inicio de la década del sesenta comenzó un ciclo seco, el cual fue retrocediendo progresivamente durante los 20 años subsiguientes. A partir de 1980 se registraron nuevamente inundaciones (1980, 1985, 1993, 2001). En este último período se observó un incremento en la recurrencia de los eventos extremos, uno cada seis años, el doble que en el período 1884-1960.

Desde la gran inundación de 1884 diversos estudios examinaron los eventos extraordinarios de anegamiento que acontecieron en la Pampa Deprimida. Dos corrientes con puntos de vista diferentes intentaron resolver el problema. Nystromer, Waldorp y Mercau, entre otros, (Posadas, 1934) y más recientemente en el Plan Maestro Integral, Cuenca del río Salado, propusieron obras de evacuación para los excedentes hídricos. Básicamente este tipo de soluciones asume que las grandes inundaciones son producto de los aportes de agua que escurren desde las zonas altas de la depresión del Salado (cuencas de los arroyos Vallimanca y Las Flores y los excedentes hídricos provenientes de las tierras altas del sistema de Tandilla que incluyen a la zona de derrames). Con el proyecto Nystromer se resuelve la construcción de los canales N° 1, 2, 5, 7, 9, 11, 15 y 16. A pesar de la magnitud de las obras los acontecimientos históricos han demostrado que los canales no eliminaron los anegamientos e inundaciones de alcance regional.

Existió otra corriente de propuestas para mitigar las inundaciones cuyo primer representante fue Florentino Ameghino (1884). Lejos de pensar en eliminar los excedentes proponen realizar obras de retención de las aguas en sitios naturalmente existentes, incrementando, de este modo, la capacidad de almacenamiento. Es bajo esta línea de pensamiento que Barbagallo (1960) desarrolló un sistema de conservación de excedentes hídricos basado en el trabajo de cuencas de tercer orden de no más de 50.000

ha que a su vez subdividió en distritos agrohidrológicos de hasta 10.000 ha, donde se realizaría el ordenamiento de las aguas a nivel predial. Este sistema se desarrolló sobre la base del conocimiento de la dinámica hidrológica de la región. El patrón hidrológico de la depresión del Salado está bien definido en el espacio y en el tiempo, pero los eventos de anegamiento no encuentran respuesta cuando se utilizan los conceptos clásicos de la hidrología de superficie (transmisión de un volumen en el tiempo). Esto es debido a que el área es una zona muy extensa y plana en la cual se encuentran diseminadas lagunas, cubetas, cañadas y depresiones de escasa energía morfo-genética. Estas áreas cóncavas y ligeramente deprimidas no conforman una red de drenaje definida, y los excesos de agua provenientes de las precipitaciones tienden a concentrarse en superficie. El patrón hidrológico en ambientes con estas características puede modelarse teniendo en cuenta los procesos de entrada (precipitación) y salida: evapotranspiración, escurrimiento superficial, retención superficial (lagunas, cubetas, cañadas, depresiones, etc.), percolación a la napa y almacenamiento en el suelo.

Según distintos autores la capacidad de retención superficial o amortiguación sería de 100 a 300 mm, aunque este dato es estimativo y nunca fue evaluado (Sala, 1983). También es importante destacar que más del setenta por ciento de las grandes inundaciones se han observado cuando los eventos pluviométricos extraordinarios ocurrieron en otoño e invierno, y que la duración media del período anegado fue de cinco meses. El resto de las inundaciones ocurrieron durante primaveras, pero la demanda evapotranspirativa determinó que la duración media descendiese a tres meses o menos (Posadas, 1934, Barbagallo, 1983).

La información precedente denota que el anegamiento de tierras en la Pampa Deprimida con posterioridad a eventos pluviométricos extremos es una problemática aún no resuelta. Sin embargo, está documentado que de 1986 al 2001 se incrementó en un 69% el área cultivada en sectores de la Pampa Deprimida y que el avance agrícola se realizó sobre tierras que cíclicamente fueron afectadas por anegamientos e inundaciones (Cañibano *et al.*, 2003). Este escenario determina que se torne relevante disponer de información que permita discernir cual es el riesgo de anegamiento de las superficies. Bajo este marco conceptual y con el propósito de suministrar información que auxilie durante la planificación y el ordenamiento de las actividades en tierras de la Pampa Deprimida, nos propusimos: (i) determinar la recurrencia de anegamiento en sitios de la cuenca baja del río Salado, (ii) evaluar el movimiento expansivo del agua durante los anegamientos y (iii) valorar el riesgo en que se incurre al realizar cultivos en sitios anegables.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización y ubicación del área de estudio

La depresión del río Salado es una unidad fisiográfica que se formó por relleno de una gran fosa tectónica que atraviesa a la provincia de Buenos Aires. Hidrológicamente constituye una llanura pues su relieve es plano y de baja pendiente. Según Tricart (1973) y Sala (1980) la región presenta pendientes que no superan el 1 por mil e incluso, en amplios sectores, está en el orden de 0,5 por mil. Esta escasa inclinación del terreno determina que el escurrimiento superficial del agua en toda la región sea casi nulo. Como agravante encontramos cubetas de deflación diseminadas en las extensas áreas con pendientes mínimas, lomadas longitudinales de escasa altura y transversales a la pendiente regional y cordones conchiles cercanos a la costa. Otro factor que contribuye con el riesgo de anegamiento de amplios sectores es que predominan suelos hidrohalmórficos, Natracuoles y Natraculfes con horizontes Bt arcillosos, sódicos y cercanos a la superficie cuya capacidad de infiltrar agua, cuando saturados, es escasa a nula (INTA, 1977; Provincia de Buenos Aires – Consejo Federal de Inversiones, 1981; Miaczynski, 1995). El área de estudio, 8,5 millones de hectáreas, representa el 20% de la superficie total de la provincia de Buenos Aires. Está comprendida entre los paralelos 35°00' y 37°37' de latitud sur y los meridianos 56°52' y 60°38' de longitud oeste. Limita al norte con la Pampa Ondulada, al sur con los arroyos Tandileofú, Chelforó y el canal 2, al oeste con el arroyo Vallimanca y al este con el océano Atlántico. El área abarca 29 partidos, total o parcialmente, si se incluyen los partidos de Tandil, Mar Chiquita, General Lavalle, General Madariaga, Olavarría, Bolívar, 25 de Mayo, Roque Pérez, Monte y General Paz (Fig. 1).

La teledetección ha probado ser una herramienta poderosa al momento de evaluar áreas afectadas por catástrofes. El mapeo de

áreas anegadas es un ejercicio multidisciplinario. Involucra estudios geomorfológicos y climáticos a los que se integra información derivada de sensores remotos, muchas veces más sensibles que la información de base disponible (Hudson & Colditz, 2003). La información utilizada para dar respuesta a los objetivos de este trabajo puede agruparse en climática y remota. La información climática, precipitaciones diarias de 20 localidades, se utilizó para calcular las frecuencias de precipitaciones acumuladas en períodos de 30, 60 y 120 días. Las precipitaciones diarias fueron datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

La información derivada de las imágenes satelitales, frecuencia de anegamiento, se obtuvo procesando imágenes LANDSAT TM5 y ETM7 suministradas por la CONAE (Tabla 1). La serie temporal de imágenes presenta escenas para cada estación del año que se relaciona con lluvias extraordinarias y eventos húmedos, secos y promedio. Las imágenes fueron corregidas geométricamente a partir de un mosaico pancromático Landsat ETM7 de 14,25 m de resolución espacial y error en X e Y de un píxel. El método utilizado fue el de rotación, traslación, reescalado y se aplicó el algoritmo del vecino más próximo para reasignar el valor radiométrico en los píxeles (Idrisi Andes, 2006). La proyección utilizada fue Gauss Krüger faja 5 (datum Campo Inchauspe). La clasificación de agua se realizó aplicando el método del árbol, el cual discrimina clases mediante pasos sucesivos tal cual lo haría un sistema experto. Con este método se logra disminuir el desvío estándar de las clases debido a que no se incluye información innecesaria. Esta cualidad lo diferencia de los métodos de clasificación supervisada (Skidmore, 1989; Chuvieco, 2000). Las bandas utilizadas fueron el IRM (banda 5), IRL (banda 7) y el NDVI. La elección obedeció a las experiencias previas realizadas en la zona (Vázquez *et al.*, 2008). Las bandas 3, 4, 5 y 7 fueron corregidas radiométricamente según los algoritmos sugeridos por la NASA. Debido a la escasa información disponible para la región,

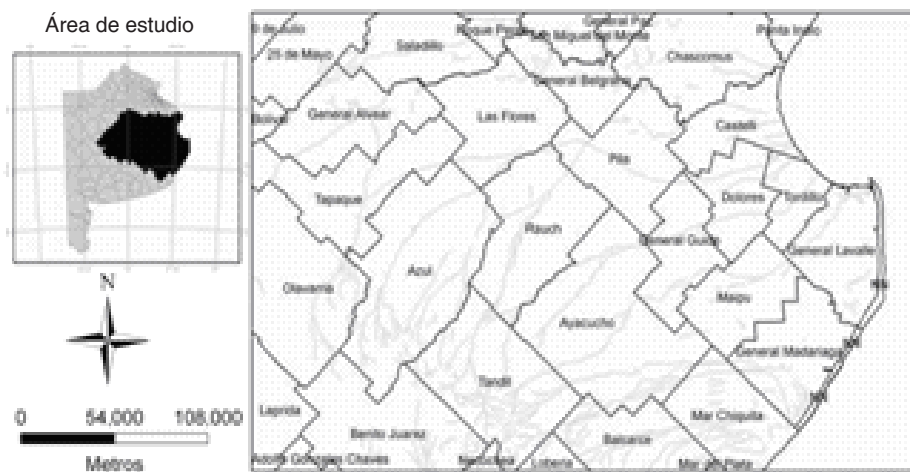


Figura 1. Ubicación del Área de estudio y partidos que la integran.

Figure 1. Study area and counties.

la corrección atmosférica de las imágenes se realizó aplicando el método de Chávez (1996). La utilización del módulo ATMOSC del software IDRISI ANDES (2006) utiliza el método de sustracción del cuerpo oscuro y suma un procedimiento que estima los efectos de absorción de los gases atmosféricos y el efecto Rayleigh a partir del coseno del ángulo zenital solar. Finalmente con los resultados de las clasificaciones transformados en información binaria que discrimina sitios anegados de «no anegados», se construyeron 29 mosaicos parciales, uno para cada fecha de la serie temporal.

### Frecuencia y recurrencia de anegamiento

La frecuencia de anegamiento de un sitio en una serie temporal de imágenes satelitales se obtiene al dividir el número de veces que un píxel clasifica como anegado por la cantidad de fechas que, en la serie temporal, aparece dicho píxel. Si bien este proce-

dimiento es rápido y sencillo no evalúa al riesgo de anegamiento en función de la frecuencia de los eventos causantes. Considerando que en el área que nos incumbe el anegamiento de un sitio depende de las precipitaciones precedentes (Posadas, 1934; Barbagallo, 1960; Sala, 1983), un modo de evaluar el riesgo de anegamiento se obtendría relacionando la frecuencia de anegamiento y la recurrencia de las precipitaciones que lo causaron. Sobre la base de este concepto se decidió estimar las recurrencias para el evento «anegamiento» en función de las frecuencias de precipitaciones que se acumularon en 20 estaciones meteorológicas. El período analizado comprende los acontecimientos pluviométricos desde 1980 a 2004 que se registraron en las localidades de Ayacucho, Azul, Balcarce, Bolívar, Castelli, Dolores, Gral. Alvear, Gral. Belgrano, Gral. Guido, Gral. Madariaga, Las Flores, Lezama, Maipú, Mar del Plata, Olavarría, Rauch, Saladillo, Tandil, Tapalqué, y Punta Indio. Para ello se consideraron períodos de 30, 60 y 120 días consecutivos y se calcularon las frecuen-

Tabla 1. Escenas facilitadas por la CONAE (60 Imágenes Landsat TM5-ETM7).

Table 1. Scenes provided by the CONAE (60 Landsat TM5-ETM7).

Path / Row				
224/85	224/86	225/85	225/86	226/85
Fechas disponibles				
		19860515	19860515	
	19971127	19971127	19971127	
19980303				
	20000104			20000126
20000205		20000228	20000228	
	20000510	20000510		
20001010	20001010	20001102	20001102	20001109
		20010105	20010129	
		20010427	20010427	
		20010513	20010513	
				20010808
20010910	20010911	20010910		
20011122	20011122	20011121	20011121	
		20011223	20011223	
			20020116	
		20020410	20020410	20020330
20020509	20020509			
20020610	20020610			20020624
20021016	20021007	20021007		
		20021124	20021124	20021115
20021203	20021203	20021226		
				20030118
		20030316		
20030410				
20031027	20031027			
		20031127	20031127	20031127

cia de las precipitaciones acumuladas desde 0 a 960 mm en intervalos de 30 mm. Los períodos no constituyeron conjuntos excluyentes de datos, se los desplazó de un día generándose un cálculo similar al de media móvil. Luego se calculó la recurrencia acumulada comenzando desde el evento de mayor precipitación (tormentas extraordinarias) hasta los períodos con registros nulos (donde se sumaría el 100 por ciento de las recurrencias). Caracterizadas las recurrencias de precipitación para períodos de 30, 60 y 120 días en cada estación meteorológica, la historia pluviométrica se obtiene integrando las recurrencias a 30, 60 y 120 días. La ecuación utilizada fue:

$$\text{Recurrencia de anegamiento para la fecha A} = \frac{(\text{rec.30} * \alpha + \text{rec.60} * \beta + \text{rec.120} * \gamma)}{(\alpha + \beta + \gamma)}$$

donde: rec.30, rec.60, rec.120: Recurrencias de precipitaciones acumuladas a 30, 60 y 120 días.  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ : Factor de ponderación de las recurrencias.

Una vez calculada la recurrencia para cada fecha en las 20 estaciones meteorológicas se establecieron las áreas de influencia de los registros. El procedimiento utilizado fue el de los polígonos de Thiessen. Esta metodología es muy simple, presenta robustez al momento de estimar datos faltantes de precipitación en áreas con paisajes poco desarrollados (Tabios & Salas, 1985) y es adecuada en las situaciones donde son escasos los puntos a interpolar (Teegavarapu & Chandramoulia, 2005). Tomando los límites de los polígonos definidos se vincularon las imágenes binarias a los valores de recurrencia, obteniéndose una colección de imágenes con valores en los píxeles que estiman la recurrencia del anegamiento en cada fecha disponible. Mediante el procedimiento MIN del módulo MAP ALGEBRA AND LOGIC MODELER disponible en el software IDRISI ANDES Ed. (2006), se extrajo para cada *íjésimo* píxel el mínimo valor de recurrencia a partir del cual se lo identificó como anegado. Con este procedimiento se identificó, para cada píxel, el umbral pluviométrico y la estación en la cual el riesgo de anegamiento sería el mayor; información que al ser integrada en una imagen permite visualizar el patrón de expansión y la recurrencia de las áreas anegadas. El procedimiento utilizado para estimar recurrencia de anegamiento se esquematizó en la Figura 2.

### Riesgo de anegamiento en sitios cultivados

Para alcanzar este objetivo se utilizaron clasificaciones realizadas por Vázquez *et al.* (2003), seleccionándose mediante la aplicación del método del árbol las superficies de los principales usos del suelo a distintos nivel de recurrencia de anegamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de la Figura 3 permite apreciar el patrón de expansión de las áreas anegables en la cuenca baja del río

Salado. Las vistas de la Figura 4 se presentan con el fin de facilitar la visualización e interpretación del patrón de anegamiento en función de la recurrencia de las precipitaciones acumuladas en 30 días (Tabla 2).

Cuatro áreas de expansión fueron identificadas gracias a la información que proporciona el patrón de anegamiento elaborado. En las Figuras 3 y 4 puede observarse como cuerpos de agua y lagunas son áreas donde la recurrencia de anegamiento fue superior al 80% (Tabla 2), y que es a partir de que las precipitaciones acumuladas superaron 60 mm que áreas circundantes a los cuerpos de agua comienzan a visualizarse como sitios anegados. No obstante mientras las precipitaciones acumuladas en 30 días consecutivos no superen 72 mm, es altamente probable que la superficie cubierta con agua sea inferior al 6,1% (Tabla 2). Cuando los registros pluviométricos acumulados en 30 días consecutivos superaron 72 mm, la cantidad de hectáreas anegadas por cada mm de agua que se acumula aumentó progresivamente, tendencia que se interrumpió a partir de 154 mm (Fig. 5).

Considerando el patrón hidrológico y la geomorfología de la Pampa Deprimida (Barbagallo, 1983; Tricart, 1973; Frenguelli, 1956) el primer punto de inflexión en la trayectoria de la curva de anegamiento podría interpretarse como el umbral que denotaría que, saturada la capacidad de almacenaje de los cuerpos de agua, excesos se derraman anegando áreas vecinas. En esta segunda área de expansión son anegados sectores planos del paisaje con pendientes mínimas. En estas áreas, donde los excesos de agua no logran ser conducidos hacia redes de drenaje definidas, es donde se distribuyen Natracuales y Natracuales que se caracterizan por ser muy sódicos desde el horizonte superficial (INTA, 1977). Bajo aquellos sucesos pluviométricos se observó que la superficie anegada podría superar el 40% del total de la región (Tabla 2), y que estructuras naturales y antrópicas (dunas, cordones medianosos longitudinales, rutas y vías férreas) dificultan el escurrimiento del agua. Las estructuras antrópicas contribuyeron a anegar el 2,11% de la superficie, alrededor de 170.000 ha (Tabla 3). Los principales impedimentos fueron bordos en los canales 12, 11 y 9, la ruta provincial 29 (entre la localidad de Ayacucho y su cruce con el camino a Casalins) y la línea férrea de Metrovías, ex FF.CC. Roca (Tabla 3). Una tercera y cuarta área de expansión para los excesos de agua se vincularon a sitios donde las recurrencias fueron inferiores al 30% (Tabla 2). Cuando las precipitaciones acumuladas en 30 días consecutivos superaron 132 mm, la magnitud de la tasa de anegamiento sería intermedia con respecto a los casos descriptos anteriormente (Fig. 5). Este segundo punto de inflexión se relacionaría al hecho que, a diferencia que en la segunda área de expansión, los suelos y las pendientes

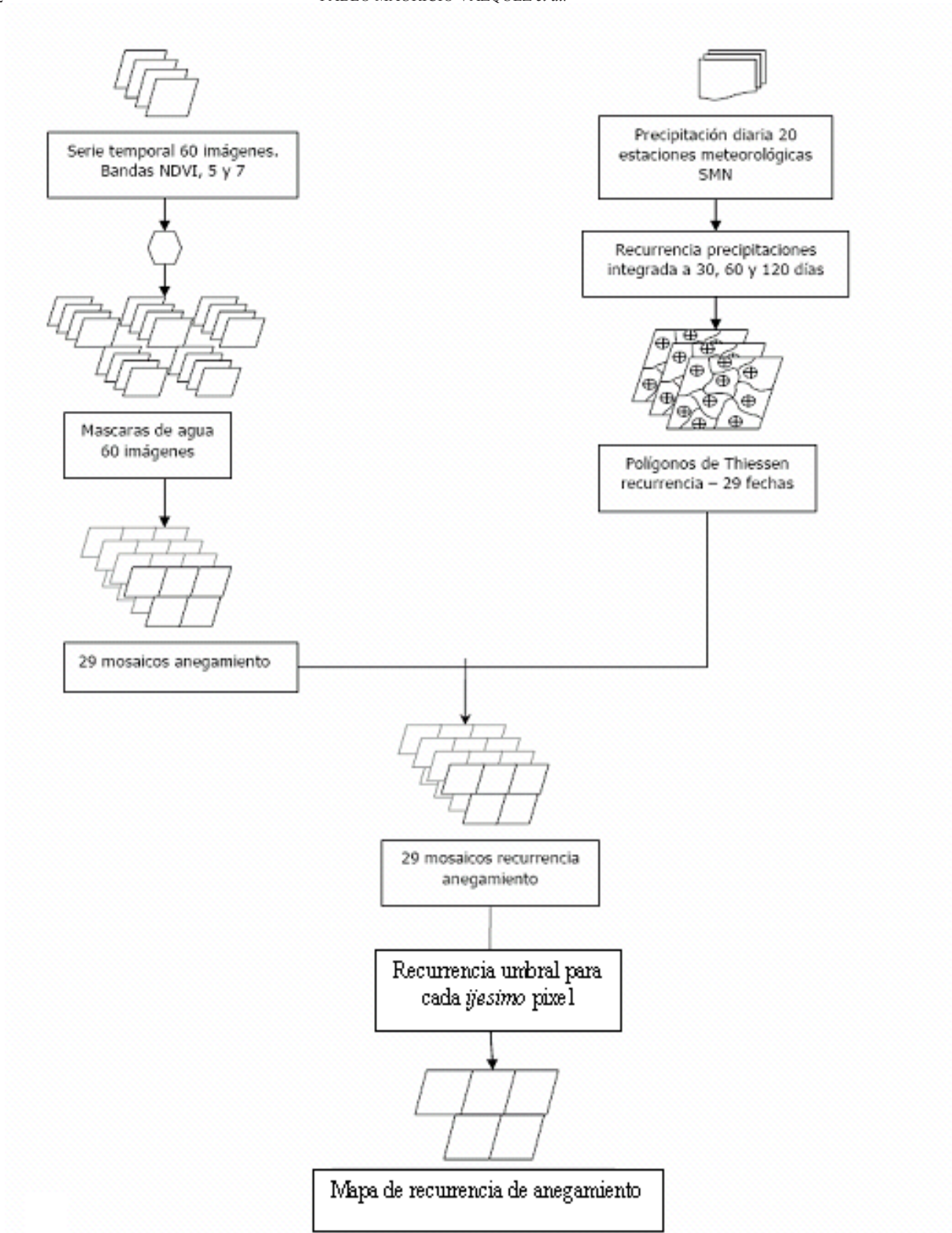


Figura . Procedimiento para determinar recurrencia de anegamiento por píxel.  
 Figure 2. Procedures to determine the by pixel flooding recurrence.

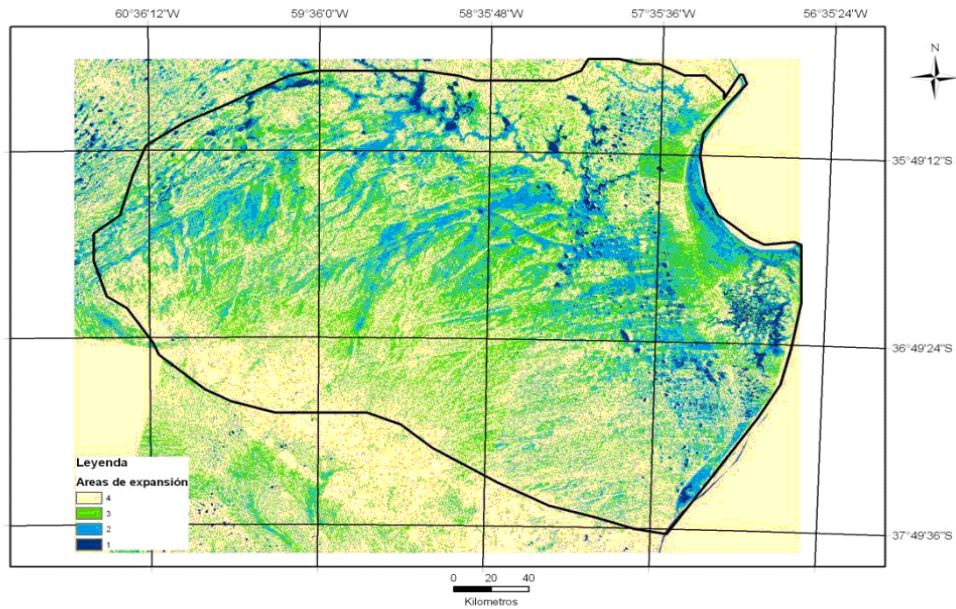


Figura 3. Patrón del anegamiento para la cuenca baja del río Salado fundado en frecuencias de áreas anegadas y recurrencia de precipitaciones acumuladas.

Figure 3. Flooding patterns for the lower watershed of the Salado River, based on the frequency of flooded areas and the accumulated precipitation recurrence.

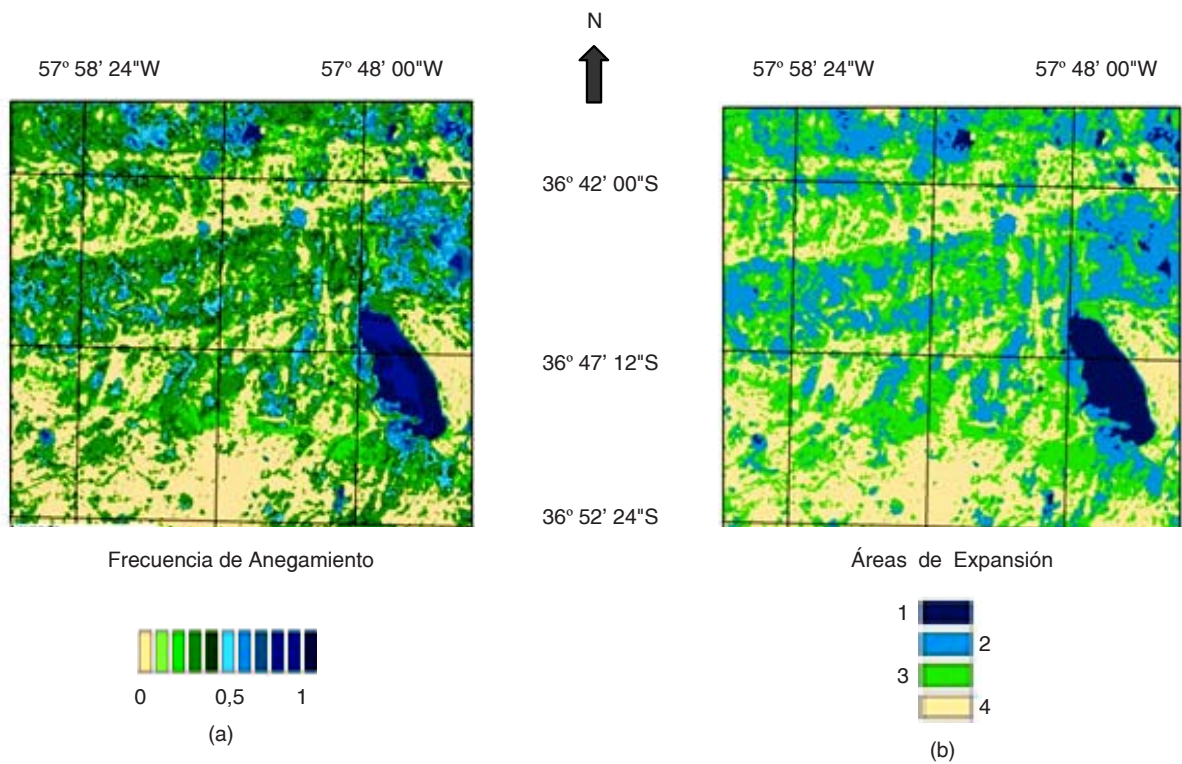


Figura 4. Detalles del patrón de anegamiento. (a) Frecuencia de anegamientos. (b) Áreas de expansión.

Figure 4. Flooding pattern details. (a) Flooding frequency. (b) Expansion areas.

Tabla 2. Caracterización de las precipitaciones para el área de estudio.  
Table 2. Precipitation characterization for the study area.

Precipitación acumulada en 30 días (mm)	Recurrencia (%)	Superficie (ha)	Afectación (%)	Afectación acumulada (%)
S/D	S/D	2.655.295	—	—
195	10	642.620	7,56	68,76
154	20	1.789.308	21,05	61,20
132	30	1.084.223	12,76	40,15
114	40	773.919	9,10	27,39
99	50	606.450	7,13	18,29
85	60	430.530	5,07	11,16
72	70	305.079	3,59	6,09
60	80	11.5301	1,36	2,50
30	100	97.275	1,14	1,14
Superficie total		8.500.000		

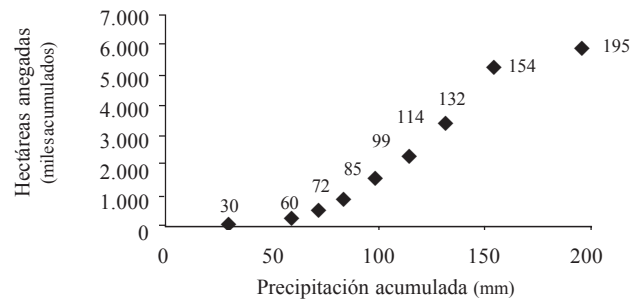


Figura 5. Evolución del área anegada en función de las precipitaciones acumuladas.

Figure 5. Evolution of the flooded area in terms of the accumulated precipitations.

Tabla 3. Superficie anegada atribuible a obras de infraestructura (recurrencia e» 60%).  
Table 3. Flooded surface attributable to infrastructure (recurrence e» 60%).

Lugar	Hectáreas anegadas
Canal 9	9.972
Canal 11	25.753
Intersección Canal 11 con Ao. Azul	9.122
Ruta porv. 29 y camino Rauch – Pila	50.971
Ao. Los Huesos (partidos de Azul - Rauch)	6.563
Ao. Cortaderas (partido de Azul)	42.120
Intersección Ruta provincial 50 y FF.CC. Roca	5.336
Intersección ruta provincial 60 y Ao. Langueyú	13.900
Intersección camino Rauch - Pila y FF.CC. Roca	1.425
Intersección Ao Tapalqué, canal Piñeyro y FF. CC Roca (Alvear)	14.400
Total	179.562



componen condiciones que favorecen la eliminación de excesos de agua de la superficie. Son áreas donde las pendientes logran conducir el agua superficialmente por y hacia redes de drenaje locales mejor definidas y las propiedades de los suelos favorecen la infiltración y el almacenamiento del agua. Es en esta área de expansión y en la siguiente donde se distribuyen los suelos aptos para la agricultura. La cuarta área de expansión que se diferenció en el patrón de anegamiento (Figs. 3 y 4) se corresponde con los sectores donde el anegamiento fue nulo aún cuando las precipitaciones fueron extremas (inundaciones de 1980, 1985, 1993 y 2002).

El análisis de los datos pluviométricos precisó que se han registrado eventos extremos de precipitación acumulada en todas las estaciones del año. Sin embargo los anegamientos acontecidos en otoño e invierno fueron más prolongados que los ocurridos en períodos primavera-estivales. A modo de ejemplo, 200 mm de lluvia acumulada entre diciembre de 2005 y enero de 2006 anegaron 1.200.000 ha durante una semana, pero que los anegamientos producidos por similares precipitaciones que se acumularon entre abril y mayo de 2002 perduraron por 5 meses. El otoño e invierno fueron estaciones donde las áreas permanecieron anegadas por períodos de tiempo

similar, sin embargo la recurrencia media de eventos pluviométricos que afectan más del 50% de la superficie fue mayor en otoño (Tabla 4). A pesar de la recurrencia y duración de los anegamientos ocurridos en otoño e invierno, desde 1986 al 2001 se incrementó en un 69% las superficies destinadas a la producción de cultivos, lo cual ocurrió sobre sitios marginales (Cañibano *et al.*, 2003). Pudo precisarse que en el 11,69% de la superficie de la región (760.369 ha) se realizó agricultura y que el 22,8% eran sitios donde la recurrencia de anegamiento fue  $\geq 40\%$ . Esta situación difiere de lo que aconteció con las actividades asociadas a la ganadería. Sólo el 7,98% del total de la superficie afectada a verdeos (51.504 ha) fueron áreas donde la recurrencia de anegamiento fue  $\geq 40\%$  y no se observaron firmas espectrales de pasturas en sitios donde la recurrencia de anegamiento fue  $\geq 40\%$  (Tabla 5).

## CONCLUSIONES

Sobre la base de la información que suministró la metodología de trabajo pudo reconocerse el patrón que

Tabla 4. Recurrencia media de eventos pluviométricos que afectan más del 50% de la superficie. (serie 1980-2004 de 20 estaciones meteorológicas).

Table 4. Average recurrence of pluviometric events affecting more than the 50% of the surface (1980-2004 series from 20 meteorological stations).

Precipitación Acumulada (mm en 30 días)	Precipitación Acumulada recurrencia (años)			
	otoño	invierno	primavera	verano
Entre 100 y 150	1	2	1	1
Entre 150 y 200	2	5	2	2
Entre 200 y 300	4	20	5	4
Mayor a 300	9	480	11	8

Tabla 5. Distribución del uso de las tierras en función de recurrencias de anegamiento.

Table 5. Land use distribution in terms of the flooding recurrence.

Uso del suelo	recurrencia de anegamiento	Hectáreas	Porcentajes
Palustre	$\geq 50$	262.065	4,03
Pastizal	$\geq 50$	625.945	9,63
Pastizal	$< 50$	3.284.079	50,52
Pasturas	$< 40$	449.649	6,92
Verdeos	$< 40$	593.934	9,14
Verdeos	$\geq 40$	51.504	0,80
Agricultura	$\geq 40$	173.571	2,67
Agricultura	$< 40$	586.798	9,02
Misceláneas	---	472.557	7,27

adquiere, en la cuenca baja del río Salado, la expansión de áreas anegadas. Al distinguir el riesgo de anegamiento en formas del paisaje y controlar incertidumbres, la información que proporciona el patrón de expansión de áreas anegadas puede ser útil al planificar ordenamientos territoriales. La duración y recurrencia de los anegamientos condujeron a reconocer al período otoño-invernal más riesgoso que el primavera-estival. En el 6% del territorio serían muy frecuentes los anegamientos (recurrencia > al 70%) y cabe esperar hasta un 25% de sitios anegados cuando 100 mm de precipitaciones se acumulan en 30 días consecutivos. Los problemas severos comienzan luego de períodos de 30 días consecutivos donde se acumulan 150 a 200 mm de precipitaciones, pues es esperable que por un período de 2 a 3 meses permanezca anegada una superficie equivalente al 68% del territorio.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Ameghino, F. 1884. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Boletín de la Academia de Ciencias. Julio de 1884. Argentina.
- Barbagallo, J. 1960. Recuperación y praderización de un campo bajo en el partido de Bolívar. Series informes técnicos N° 10. INTA.
- Barbagallo, J. 1983. Las áreas anegables de la Pampa Deprimida. Un planteo agrohidrológico para su solución. Coloquio internacional sobre hidrología de grandes llanuras. 11 al 20 de abril de 1983; Olavaria-Argentina. (1): 73 pp.
- Cañibano, A; M Gandini; M Sacido & P Vázquez. 2003. El crecimiento de la actividad agrícola en la cuenca del arroyo del Azul, Buenos Aires, Argentina. XI Simposio Latinoamericano sobre percepción remota y sistemas de información espacial-Selper Chile.
- Chávez, PS. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9): 1025-1036.
- Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de teledetección espacial. Capítulo 7. Tratamiento digital de imágenes: II. Generación de información temática Ediciones Rialp, S.A. Madrid. Tercera edición. 406-408.
- Clark Labs – Clark University. 2006. Idrisi Andes. User manual.
- Frenguelli, J. 1956. Rasgos generales de la morfología de la provincia de Buenos Aires. L.E.M.I.T. Serie 3, N° 62. La Plata.
- Hudson, P & R Colditz. 2003. Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Pánuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology* 280: 229-245.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1977. La Pampa deprimida. Condiciones de drenaje de sus suelos. Departamento de suelos del INTA. Publicación N° 152. Serie suelos. 162 pp.
- Miaczynski, C. 1995. Los suelos hidromórficos e hidrohalomórficos de la provincia de Buenos Aires. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)* 15: 23-36.
- Posadas, C. 1934. La solución al problema de las inundaciones y desagües en la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas, La Plata.
- Provincia de Buenos Aires-Consejo Federal de Investigaciones (CFI). 1981. Estudio de la zona deprimida del Salado. Informe Final: Estudios de Suelo y Vegetación. Vol 3 (D). La Plata.
- Sala, J. 1980. Geología en cuencas de llanura con énfasis en hidrogeología. Comité de cuencas hídricas. Área del gran Rosario. Rosario.
- Sala, J. 1983. La problemática en las investigaciones geohidrológicas en grandes llanuras con escasa información. Coloquio internacional sobre hidrología de grandes llanuras. 11 al 20 de abril de 1983; Olavaria-Argentina. (1): 21 pp.
- Skidmore, AK. 1989. An expert system classifies eucalyptus forest types using Thematic Mapper data and digital terrain model. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 55: 1149-1464.
- Tabios, GQ & JD Salas. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Bulletin* 21(3): 365-380.
- Teegavarapua, RS & V Chandramoulia. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology* 312: 191-206.
- Tricart, J. 1973. La geomorfología de la Pampa deprimida como base para los estudios edáficos y agronómicos. Ediciones INTA. Colección científica XII. Buenos Aires, Argentina. 198 pp.
- Vázquez, P; I Entraigas; M Gandini & E Usunoff. 2003. Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo Azul mediante el uso de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección* 19: 43-50.
- Vázquez, P; S Masuelli; G Platzack & O Boolsen. 2008. Recurrencia de anegamiento en la depresión del Río Salado: Subcuenca B4. *Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección* 30: 47-59.