

Proyecto regional CERBAS - EEA Cuenca del Salado. INTA RECURRENCIA DE ANEGAMIENTO EN LA DEPRESIÓN

DEL RIO SALADO: SUBCUENCA B4

VAZQUEZ, PABLO¹; MASUELLI, SERGIO²; PLATZECK, GABRIEL²; BOOLSEN, OLIVER³

1. INTA, EEA Cuenca del Salado. Av. Belgrano 416 (7203), Rauch. Buenos Aires

2. CONAE. Centro Espacial Teófilo Tabanera. Ruta 645 km 8 (5187), Córdoba.

3 Servicio Meteorológico Nacional - Fuerza Aerea Argentina. 25 de mayo 658. Capital Federal.

Correo electrónico: pmvazquez@correo.inta.gov.ar

Introducción

La cuenca baja del río Salado, que comúnmente se denomina 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 hidrológicos de sus tributarios y el sistema del río Sanborombón. Es el área de concentración de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales por excelencia de un área de 10 millones de hectáreas. La región que más frecuentemente se anega es la denominada depresión del río Salado, cuya superficie puede estimarse en 6.5 millones de hectáreas (Barbagallo 1983).

Los antecedentes históricos demuestran que esta región sufrió desde siempre frecuentes inundaciones, cuya recurrencia era de aproximadamente trece años (1884, 1900, 1915, 1919, 1930) y siempre estaban precedidas por un año muy húmedo (Posadas 1934). Al comenzar la década del sesenta se presenta un ciclo seco que iría retrocediendo hasta 1980, momento en el cual se vuelven a reanudar las fuertes inundaciones (1980, 1985, 1993, 2001). En este ciclo, se observa un incremento en la recurrencia de los eventos extremos, registrándose ahora una cada seis años, el doble que en el período anterior. Para definir el marco del problema a estudiar, se enumeran las principales limitantes de esta región:

- Pendiente menor al uno por mil en un área de 6.5 millones de hectáreas.
- Red de desagüe muy poco desarrollada, siendo principalmente derrames areales anárquicos sin un sentido que se disipan generalmente en la misma unidad topohidrológica donde se generaron
- Condicionamiento climático a excesos y déficit hídricos, los cuales se presentan con una recurrencia aproximada de tres a siete años, dependiendo de su intensidad y localidad.
- Suelos hidromórficos muy impermeables, con presencia de una napa salina fluctuante cercana a la superficie (Barbagallo 1983).

Se realizó un estudio multitemporal con imágenes de satélite para determinar en cada hectárea del área de estudio la recurrencia de anegamiento. Se reconstruyeron 30 fechas (150 escenas Landsat TM5 y ETM7 desde 1985 al 2005 inclusive), considerando períodos secos, normales y húmedos en todas las estaciones del año. Esta información fue acompañada de el análisis pluviométrico diario de 20 puntos de lluvia distribuidos por toda la región para los últimos 30 años.

Información de base

Se ha trabajado con información de numerosas fuentes para lograr el mapa de anegamiento definitivo. Las fuentes pueden agruparse en Cartografía disponible, imágenes satelitales y datos de precipitación diaria.

Cartografía disponible.

1. Cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50.000
2. Cursos de agua del Instituto Nacional del Agua (INA) escala 1:50.000
3. Cartas geomorfológicas del INTA escala 1: 50.000

- 60 imágenes Satelitales Landsat facilitadas por la CONAE disponibles desde 1986 al 2005 (proyecto Emergencias Ambientales n° 136)

Las imágenes disponibles representan períodos de lluvias extraordinarias, eventos húmedos, promedio y secos de cada estación del año. Las imágenes procesadas disponibles para las grandes inundaciones de 1980 y 1985 estaban degradadas a un píxel de 120 metros y las fechas utilizadas se desconocían, por lo cual fueron descartadas. Las escenas utilizadas se señalan en la figura 3.

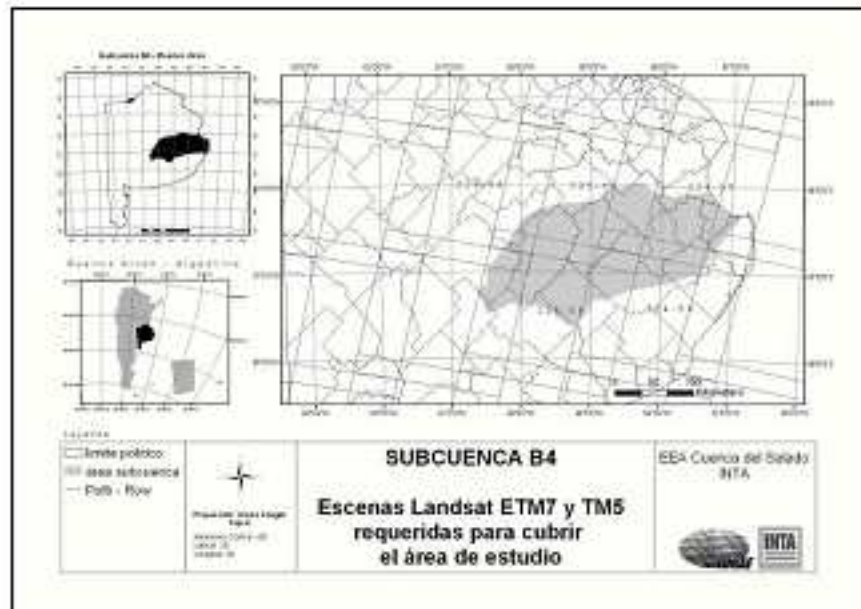


Figura 3.

- Mosaico fotográfico de referencia espacial patrón, con resolución espacial de 14 metros y error respecto de señal GPS= 1 píxel.
- Modelo Digital de Terreno (sensor SRTM, resolución 90 m, corregido según Masuelli et al. 2006) <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>
- Datos de precipitación diaria de 20 estaciones provenientes del Servicio Meteorológico Nacional y del INTA. (figura 4)



Figura 4.

Metodología

Gran parte de la metodología aplicada en este trabajo se basa en la experiencia obtenida del trabajo realizado en la cuenca del Azul (Vázquez et al 2003).

Las imágenes fueron georreferenciadas a partir de un mosaico pancromático Landsat ETM7, de 14 m de resolución espacial y error en X e Y de un píxel, por el método rotación, traslación, reescalado, utilizando el algoritmo de vecino más próximo, ya que esta combinación no altera sensiblemente el valor radiométrico de los píxeles (ENVI 2004). La proyección utilizada fue Gauss Krüger faja 5 (datum Campo Inchauspe). Las bandas utilizadas fueron IRM (banda 5), IRL (banda 7) y el NDVI. Todas ellas fueron corregidas radiométricamente según los algoritmos sugeridos por la NASA (2001) y atmosféricamente por el método de Chávez (1996). Basándose en determinaciones de anegamiento previos en el área (Vázquez et al 2003), se clasificaron y binarizaron las áreas anegadas en las 60 imágenes disponibles, obteniéndose 29 mosaicos parciales (uno por cada fecha estudiada).

Cálculo de frecuencia relativa y recurrencia de anegamiento

Para calcular la recurrencia de cada evento, se calculó para cada una de las 20 estaciones meteorológicas del SMN la frecuencia de precipitaciones ocurridas en períodos de 30, 60 y 120 días, y luego se calculó su recurrencia acumulada, comenzando desde el evento de mayor milimetraje registrado (tormentas extraordinarias) hasta los períodos sin registro de precipitación (donde se sumaría el 100 por ciento de las recurrencias). El objetivo es determinar para cada píxel el volumen de precipitación mínimo necesario a partir del cual puede identificarse como anegado, y por lo tanto determinar la recurrencia máxima.

Una vez calculada la recurrencia para cada fecha, se definieron las áreas influencia de cada estación meteorológica aplicando polígonos de Thiessen. Esta metodología es muy simple y a demostrado robustez al momento de estimar datos faltantes de precipitación en áreas con relieves poco desarrollados (Teegavarapu et al 2005).

Luego se afecta cada imagen binaria a sus respectivos valores de recurrencia, tomando los límites definidos por los polígonos de Thiessen, obteniendo una colección de imágenes con valores de recurrencia para cada píxel, para cada fecha disponible.

Asociación entre Recurrencia de anegamiento y Uso del suelo

Los usos del suelo fueron determinados a partir de los patrones espectrales identificados en la zona por Vázquez et al (2006). Finalmente se cuantificó la superficie identificada de los distintos usos del suelo para cada recurrencia de anegamiento.

Resultados

Tal cual lo expuesto por anteriores autores, el agua presenta un patrón de expansión asociado a la capacidad de retención de agua de diferentes estructuras. Una vez colmatadas estas, el agua inunda áreas vecinas hasta alcanzar un nuevo punto de equilibrio, sin evidenciarse escurrimientos de importancia. Se pudieron definir siete áreas de expansión del agua, las cuales presentan agua en superficie con precipitaciones acumuladas en 30 días de 30, 70, 85, 99, 114,150 y mayor a 150 mm (tabla 1).

Tabla 1: Relación existente entre precipitación acumulada en 30 días, recurrencia porcentual (expresada en ciclos de 30 días al año), superficie afectada para cada recurrencia, grado de afectación porcentual y grado de afectación porcentual acumulado.

Pptación acumulada en 30 días (mm)	Recurrencia (%)	Superficie (ha)	Afectación (%)	Afectación acumulada(%)
S/D	S/D	1160842	33	100
195	10	187002	5	67
154	20	73889	2	61
132	30	187259	5	59
114	40	269152	8	54
99	50	442342	13	46
85	60	614010	18	34
72	70	501857	14	16
60	80	33906	1	2
<u>30</u>	<u>100</u>	<u>29743</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

De las fechas estudiadas, se detecta claramente que las grandes inundaciones se han dado principalmente en otoño - invierno. En primavera - verano también se dan eventos de importante magnitud, tanto en intensidad de lluvia como en milímetros caídos. La principal diferencia entre éstos dos períodos es la evapotranspiración. Una precipitación de 200 milímetros puede anegar en verano una superficie de 1200000 ha. durante una semana (diciembre 2005 - enero 2006), pero en otoño - invierno ésta puede extenderse por 5 meses (inundación abril - mayo 2002). Por lo tanto, el verdadero riesgo debe referirse a la recurrencia de estos eventos para los períodos críticos.

El análisis de las base de datos pluviométrica diaria (Servicio Meteorológico Nacional, 1980 - 2004) indicó que las recurrencias para un mismo tipo de evento son muy diferentes entre el otoño y el invierno (tabla 2), siendo el otoño el período más crítico del año (meses abril y mayo).

Tabla 2: Recurrencia media de eventos pluviométricos que afectan más del 50 por ciento de la superficie de la subcuenca B4, calculada en años, para los períodos otoño e invierno (para 24 años y 20 estaciones meteorológicas).

ppt acumulada en 30 días	recurrencia (años)	
	otoño	invierno
Entre 100 y 150 mm	1	2
Entre 150 y 200 mm	2	5
Entre 200 y 300 mm	4	20
Mayor a 300 mm	8	480

Los anegamientos prolongados ocurridos durante el período otoño - invernal condicionan el aprovechamiento de las tierras marginales para la agricultura, ya que pueden obligar a resembrar o perder la oportunidad de siembra en los cultivos de invierno, y se puede ver imposibilitada la cosecha de los cultivos de verano por falta de piso e inaccesibilidad.

El avance de la agricultura en los últimos 20 años se realizó sobre zonas muy marginales, incrementándose en un 69 por ciento desde 1986 al 2001 (Cañivano et al, 2003). Sin embargo, se desconoce a ciencia cierta la proporción de cultivos realizados para cada nivel de riesgo. Para el ciclo 2003 - 2004, se clasificó el uso del suelo en función de los patrones espectrales definidos por Vázquez et al (2006, op. cit), y mediante una clasificación por el método del árbol, se extrajo la superficie de los principales usos del suelo detectada para cada nivel de recurrencia de anegamiento (tabla 4).

El 25 por ciento de la agricultura de la subcuenca B4 (72413.19 ha.) se está realizando sobre suelos netamente ganaderos, con una recurrencia igual o mayor al 40 por ciento. Estamos ante la presencia de cultivos realizados sobre natracuoles, principalmente cultivos de verano, con un riesgo de no poder ser cosechados año por medio.

La proporción de verdeos realizados sobre suelos muy marginales es inferior a la de los cultivos llegando solo al 7 por ciento.

No se clasificaron pasturas en áreas con recurrencia mayor al 40 por ciento. Si analizamos estos dos resultados, se observa claramente el mayor cuidado prestado a la implantación de pasturas y verdeos que a los cultivos. Todo esto está vinculado al manejo, ya que el pisoteo de los animales compromete seriamente la persistencia de los recursos forrajeros, sobre todo en los suelos más marginales.

La actividad agrícola ocupó el 26.4 por ciento de la superficie total de la subcuenca B4, valor muy superior al 17 por ciento calificado como potencialmente apto por el INTA a escala 1:50.000 (INTA 1977).

Para vincular estos resultados con el aspecto inmobiliario, se ponderó la recurrencia de anegamiento a nivel de parcela catastral, de tal manera de poder establecer un valor medio de riesgo para cada unidad parcelaria. El 25 por ciento de las parcelas (equivalente al 31 por ciento de la superficie) conforman un grupo caracterizado por anegarse en más del 50 por ciento de su superficie con lluvias menores o iguales a 100 mm (tabla 5).

Tabla 5: Valoración de las parcelas catastrales del año 2006 ubicadas en la zona de la subcuenca B4 en función de su recurrencia de anegamiento ponderada.

recurrencia de anegamiento (ponderado)	Parcelas catastrales		Superficie	
	cantidad		hectareas	
	Nº	%	hectareas	%
≤20	7227	34.28	751104	19.36
21-40	8667	41.11	1920124	49.50
41-60	4201	19.93	1014146	26.14
61-80	970	4.60	187941	4.85
>80	19	0.09	5697	0.15
total	21084		3879012	

El conocimiento de la recurrencia de anegamiento para cada hectárea y el valor ponderado de anegamiento a escala parcelaria constituyen una herramienta que permite controlar un importante grado de incertidumbre. Permite tomar decisiones más objetivas al momento de planificar actividades regionales o dentro de un establecimiento, ajustar apotreramientos o incluso tomar decisiones inmobiliarias.

El área afectada por una recurrencia de anegamiento igual o superior al 60 por ciento (tabla 1) representa el 34 por ciento del área total de la subcuenca B4 (1214140 ha).

Hasta el momento hemos analizado la relación existente entre la geomorfología y la recurrencia de anegamiento, pero también existen estructuras no naturales que pueden afectar la dinámica del agua superficial. El análisis espacial determinó que el 12 por ciento del área anegada (unas 156040 ha) tiene relación directa con obras de origen antrópico existentes en la región, siendo principalmente los bordos de canales, rutas con escaso entubado o puentes ferroviarios subdimensionados (tabla 6)

Tabla 6: Superficie anegada con una recurrencia igual o superior al 60 por ciento atribuible a obras de infraestructura.

Lugar	Hectáreas anegadas
Intersección Ruta prov. 50 y FF.CC. Roca	1425
Ao. Los Huesos (partidos de Azul - Rauch)	5336
Intersección camino Rauch - Pila y FF.CC. Roca	6563
Canal 9	9972
Intersección ruta prov. 60 y Ao. Langueyú	13900
Canal 11	25753
Ao. Cortaderas (partido de Azul)	42120
Ruta prov. 29 y camino Rauch - Pila	50971
Total	156040

El error de estimación de área afectada por cada recurrencia se determinó a partir de evaluar 200 establecimientos in situ (tabla 7). Se comprobó que los límites de las áreas afectadas diferían en promedio respecto de las estimadas, en +- 30 metros. Este error fue introducido cuando los resultados parciales fueron remuestreados a un píxel de 90 metros para eliminar ruido y áreas clasificadas menores a una hectárea.

Tabla 7: Estimación del error medio de superficie anegada.

Áreas clasificadas	Superficie	Error ponderado (%)
	Ocupación en la subcuenca B4 (%)	Parcial
Entre 1 y 100 ha.	50	40.2
Entre 101 y 500 ha.	20	8.4
Entre 500 y 1000 ha.	10	4.5
Mayor a 1000 ha.	20	1.2
Error ponderado total		22.5
Error para áreas anegadas mayores a 100 ha.		4.77

Conclusiones

La recurrencia de anegamiento en la subcuenca B4 fue calculada satisfactoriamente. Detectó diversidad de situaciones con un grado de certidumbre del 95%, mientras que el error en el cálculo de los límites de las superficies afectadas por los distintos grados de anegamiento fue de 30 metros aproximadamente. Se identificó un claro patrón de expansión de las aguas, asociado al tipo de relieve y a la cantidad de lluvia precipitada. La mayor capacidad de retención de agua se detectó en las áreas ocupadas por lagunas, cubetas, donde cada milímetro caído puede cubrir 1113 ha. Una vez saturado este sistema (con precipitaciones superiores a los 60 milímetros acumulados en 30 días), comienza una gran expansión de la masa de agua superficial, cubriendo cada milímetro de lluvia 31000 ha. aproximadamente. Esta superficie corresponde a extensas zonas planas con una recurrencia de anegamiento del 40 por ciento o mayor, la cual representa, junto con la anterior, el 54 por ciento de la superficie de la subcuenca B4. Los períodos críticos de inundaciones son claramente otoño e invierno, pues los procesos que más condicionan la salida del agua del sistema son los evapotranspirativos. Los problemas severos comienzan a partir de precipitaciones superiores a los 150 - 200 mm, pues implica tener anegada aproximadamente el 67 por ciento de la superficie por períodos del orden de 2 o 3 meses. Si bien ambos períodos son muy riesgosos por la escasa evapotranspiración, los riesgos son mayores en otoño, pues las recurrencias determinadas para una misma precipitación son sensiblemente mayores a las halladas para el invierno. Estos patrones de anegamiento condicionan claramente el uso del suelo. Un 25 por ciento de los cultivos son realizados en áreas de recurrencia de anegamiento superior o igual al 40 por ciento, lo que implica la posibilidad de perder 72413 ha. todos los años. Sin embargo, el comportamiento del productor es mucho más cuidadoso cuando se refiere a la implantación de verdes y pasturas, ya que sólo el 7 por ciento de ellos es realizado en suelos riesgosos. Esto responde a que el recurso forrajero puede ser fácilmente degradado por el pisoteo bajo condiciones de anegamiento.

Las estructuras antrópicas contribuyen en un 12 por ciento en el anegamiento regional, siendo los principales impedimentos para el movimiento del agua los bordos de 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).

Bibliografía

1. Ameghino F. (1884) Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Boletín de la academia de ciencias. Julio de 1884. Argentina.
2. INTA (1977). La pampa Deprimida. Condiciones de drenaje de sus suelos. Departamento de suelos del INTA. Publicación nº 152. Serie suelos. 162 pp.
3. Masuelli S., Vázquez, P. Platzeck G. y Barrera D. (2006). Adecuación del DEM del STRM de 90 metros para usos hidrológicos en llanuras. XII SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER: SIG y Percepción Remota aplicados a "Riesgos Naturales y Gestión del Territo. Colombia, del 24 al 29 de septiembre de 2006. 7 pp.
4. Posadas, C. (1934). La solución al problema de las inundaciones y desagües en la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas, La Plata.
5. Vázquez P., Masuelli S. y Platzeck G. (2006) Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos. INTA. Publicación técnica nº 1. ISSN 1850-6496. 32 pp.
6. Vázquez P; Costa J L; Monterubbianesi G y Godz P. (2001). Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la pampa deprimida utilizando propiedades del horizonte A. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 19(2). 136-143.
7. Vázquez, P.; I. Entraigas; M. Gandini y E. Usunoff (2003) "Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul mediante el uso de imágenes Landsat". Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección, 19:43-50.