



Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

MODELO DE ANEGAMIENTO Y ESTRATEGIA DE PREDICCIÓN-PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN ÁREAS DE LLANURA: EL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES COMO CASO DE ESTUDIO

ORLANDO MAURICIO QUIROZ LONDOÑO ^(1,2), SEBASTIÁN IVÁN GRONDONA ^(1,2),
HÉCTOR ENRIQUE MASSONE ⁽¹⁾, MARCELO FARENGA ⁽¹⁾, GUSTAVO MARTÍNEZ ⁽¹⁾,
DANIEL EMILIO MARTÍNEZ ^(1,2).

⁽¹⁾Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNMDP,

⁽²⁾CONICET, Av. Rivadavia 1917 C1033AAJ CABA República Argentina
Funes 3350, 7600 Mar del Plata, Argentina

qlondono@mdp.edu.ar – ormaquiroz@hotmail.com

RESUMEN

En el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires se encuentra la llanura interserrana bonaerense, limitada por los sistemas serranos de Tandilla y Ventania, dedicada casi exclusivamente a la producción agrícola. La alta productividad de la zona está ligada fuertemente a la disponibilidad de agua, tanto en forma superficial como subterránea, por lo que las variaciones climáticas tienen un fuerte impacto en la producción y el desarrollo de la región. En este documento se analizan las últimas tres inundaciones ocurridas en la cuenca del río Quequén Grande, correspondientes a los años 1980, 1998 y 2002. Para esto se utilizaron datos de precipitación, caudal e imágenes de satélite, todo enmarcado dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se estableció el comportamiento de la lluvia y los caudales antes y durante los eventos de inundación, tiempos de respuesta y datos estadísticos relevantes. Con las imágenes de satélite y utilizando técnicas clásicas de procesamiento digital se obtuvieron mapas de áreas inundables para los años 1998 y 2002, logrando la cuantificación de las zonas afectadas en cada evento. Se generó además un modelo de zonas con mayores probabilidades de anegamiento utilizando información de suelos, espesor de zona no saturada, pendiente y orientación del terreno. Cada una de estas coberturas fue rasterizada y reclasificada según su potencial aporte a la acumulación de agua en superficie, asignando valores altos a aquellas zonas con mayor potencialidad de anegamiento. Una multiplicación entre las diferentes coberturas y una reclasificación final permitió establecer el mapa de mayor probabilidad de anegamiento. Este último mostró una importante similitud con el mapa de áreas inundadas, por lo que puede ser considerado como una buena aproximación en la determinación de dichas áreas. Por último, se dan recomendaciones sobre las estaciones que deben instalarse para el monitoreo y prevención de este tipo de eventos en la zona.

Palabras clave: Cuenca del río Quequén Grande, inundación, zonas de anegamiento, peligrosidad de inundación, metodología SIG, llanura.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

WATERLOGGING MODEL AND PREDICTION-PREVENTION STRATEGY OF FLOODING RISK IN FLAT AREAS: THE SOUTHEAST OF BUENOS AIRES PROVINCE AS A CASE STUDY

ABSTRACT

The intermountain pampean plain is located in the southeast of the Buenos Aires province, bounded by the mountain systems of Tandilia and Ventania, dedicated almost exclusively to agricultural production. The high productivity of the area is strongly linked to water availability both in surface and groundwater, so that climatic variations have a strong impact on production and development of the region. This document analyzes the past 3 floods in the catchments of Quequén Grande River corresponding to the years 1980, 1998 and 2002. With this aim were used rainfall data, flow data and satellite images, all framed within a Geographic Information System (GIS). It established the behavior of rainfall and flow before and during flood events, response times and relevant statistical data. With satellite images were obtained floodplain maps for the years 1998 and 2002. It also generated a model of areas most likely flooding using information from soils, unsaturated zone thickness, slope and orientation of the field. Each of these layers was converted to raster and was reclassified according to their potential contribution to the accumulation of water on the surface, high values assigned areas with greater potential for flooding. A final reclassification of multiplication of the different layers allowed establishing the most likely map of flooding. This model showed significant similarity to the map of flooded areas, which can be considered a good approximation in the determination of these areas. Finally, recommendations are given on the stations to be installed for monitoring and prevention of such events.

Keywords: Quequén Grande River basin, flood, flooded areas, flood hazard, GIS methodology, flat areas.

1. Introducción

Las inundaciones se encuentran entre las amenazas naturales que más daño producen en el mundo, causando gran cantidad de muertes y pérdidas económicas (CEOS, 2003). Estos eventos extraordinarios plantean serios riesgos cuando sus efectos se encuentran interrelacionados con el hombre o las actividades que él desarrolla, produciendo impactos económicos, sociales y/o ambientales negativos (Paoli y Giacosa, 2003). Esto hace que el monitoreo de este fenómeno y el análisis de sus causas y efectos sea un tema relevante en el desarrollo de las regiones que pueden verse afectadas por este tipo de eventos. Su evaluación constituye una herramienta básica para la planificación, no solo de los recursos productivos sino también de la infraestructura social (Aguglino, 1998). Es por esto que el monitoreo y cuantificación de inundaciones durante las tres etapas del evento - antes, durante y después - constituyen una herramienta imprescindible para mitigar los impactos sobre el ambiente y las actividades humanas.

Los análisis de prevención y control de inundaciones mediante técnicas convencionales en áreas extensas, como las que se presentan en la llanura interserrana bonaerense, resultan costosas

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

tanto en tiempo como en dinero, por lo que recurrir a metodologías que permitan evaluar e identificar las zonas inundables mediante análisis regionales y automatizados resulta especialmente útil. En este sentido la utilización de información satelital para el estudio de episodios multitemporales es mundialmente reconocida. Esta tecnología ha sido ampliamente probada en el análisis y monitoreo de fenómenos naturales, convirtiéndose en una herramienta valiosa en investigaciones que sirven de apoyo en la toma de decisiones y en la definición de políticas vinculadas a la gestión de los recursos naturales (Gorgas *et al.*, 2000).

Las inundaciones, dependiendo del régimen de precipitación que las originen, se pueden clasificar en dos tipos: crecidas (o avenidas) y mantiforme (INET, 2005). Estas últimas son más frecuentes en zonas de llanura, con la consecuente formación de grandes áreas anegadas. Por lo general, se originan en combinación con la disminución en la profundidad del nivel freático, debido a los grandes volúmenes de agua recargados hacia el acuífero.

Las herramientas ofrecidas por los SIG se han constituido en las últimas décadas como elementos fundamentales en la planificación territorial, debido principalmente a su capacidad de integrar, analizar y gestionar la información espacial (Horcajada *et al.*, 2000). En la práctica los SIG se utilizan en el análisis de riesgo de inundaciones en tareas tales como regionalización, discretización e interpolación de datos hidrológicos, obtención de parámetros morfométricos, confección de bases de datos georeferenciadas y edición de cartografía integrada de riesgo, entre otras (Diez Herrero, 2002). Diversos trabajos realizados durante los últimos años han demostrado que la combinación de los SIG con la información procedente de imágenes de sensores activos y/o pasivos resulta ser la metodología que mejor solución ofrece en temas relacionados con mapeo de zonas inundadas, tanto en términos de rapidez como de calidad de resultados (Giraut, 1992). La información provista por las imágenes ópticas ofrece una vía rápida y eficiente para alimentar variables necesarias en la implementación de modelos hidrológicos (Giraut *et al.*, 1998).

La llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires, situada entre los sistemas serranos de Tandilia y Ventania, está dedicada en gran parte a la actividad agrícola intensiva. Su producción es afectada por la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones y, sobre todo, por su imprevisibilidad, dependiendo fuertemente de la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, tanto en forma de escurrimiento superficial como del agua subterránea (Kruse, 1993; Kruse *et al.*, 1993; Campo de Ferreras y Piccolo, 2002). Esta región se ve afectada periódicamente por fenómenos de inundación y sequías que alteran sus índices de producción y por ende la calidad de vida de sus habitantes.

Las características geológicas, geomorfológicas y topográficas de la llanura interserrana bonaerense imprimen ciertas particularidades que inciden en el comportamiento hidrológico de la misma. La baja pendiente, sumada a la presencia de irregularidades topográficas locales, determinan que el escurrimiento sea básicamente bidimensional y difuso (no siempre encauzado), con baja velocidad de traslado, en la cual los procesos de acumulación se vuelven importantes y persistentes. Los pequeños arroyos que la drenan desaparecen en épocas de déficit hídrico y en periodos húmedos, debido al poco desarrollo de sus cauces, dejan escapar el agua encauzada a zonas aledañas. Este tipo de sistemas, por lo general con gran extensión y con permanencia de agua, favorece los fenómenos de movimiento vertical de la misma (evaporación e infiltración)

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

(Zimmerman, 2004). En climas subhúmedos estas características pueden generar fluctuaciones importantes de nivel freático, pudiendo provocar en algunos casos la salinización del suelo. La lentitud de los flujos permite solamente el acarreo de materiales muy finos que son depositados en depresiones de estancamiento, los cuales pueden llegar a impermeabilizar el sustrato y contrarrestar el incremento de la infiltración. Aquí el agua tiende a estancarse y a formar lagunas que son difícilmente evacuadas por la escorrentía. Un factor adicional que agrava la dinámica del escurrimiento en este tipo de zonas son las construcciones (canales, terraplenes y rutas) que, en un relieve de tan escasa pendiente, constituyen barreras al drenaje superficial tan o más importantes que los rasgos geomorfológicos naturales (Ussunoff, 1994).

El objetivo de este trabajo es evaluar la peligrosidad de inundaciones en la Cuenca del río Quequén Grande (CRQG). Para ello se analiza la información asociada a los últimos tres eventos de inundación ocurridos, caracterizando desde el punto de vista hidrológico cada uno de ellos e identificando sus causas y zonas de afectación. Además, se plantea el desarrollo de un modelo que permite la delimitación de áreas con diferente probabilidad de anegamiento, el cual pueda ser utilizado en zonas con características similares a la evaluada en este trabajo. Con la información generada se establece un plan preliminar de gestión de riesgo ante inundaciones.

2. Generalidades del área

La CRQG se localiza al sudeste de la provincia de Buenos Aires, entre las sierras de Tandilia y Ventania ([figura 1](#)), con una extensión de 9.990 km². Sus características climáticas e hidrológicas han sido analizadas previamente en diferentes trabajos (Deluchi *et al.*, 1995; Campo de Ferreras y Piccolo, 1997; Kruse *et al.*, 1997). La precipitación media anual en el período 1961-1990 fue de 855 mm, la temperatura media fue de 14°C y la evapotranspiración real, utilizando el método de Thornthwaite, fue de 740 mm, con lo que se obtuvo un exceso de agua de 115 mm. Quiroz Londoño *et al.* (2008), para el período entre 1993 y 2005, establecen una precipitación promedio de 931 mm/año, una temperatura promedio anual de 14.1°C y una evapotranspiración real de 785 mm/año.

Los sedimentos que conforman esta cuenca son de edad cenozoica, principalmente de naturaleza arenosa y limosa de origen fluvio-eólico, que constituyen un acuífero multicapa no confinado conocido como Pampeano. Este acuífero es el más importante en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, con un espesor que puede llegar a 290 m, valor determinado a partir de perforaciones en los alrededores de la ciudad de Necochea, donde se reportó la existencia de areniscas paleozoicas impermeables que conforman el basamento hidrogeológico de esta cuenca (Llambías y Prozzi. 1975).

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

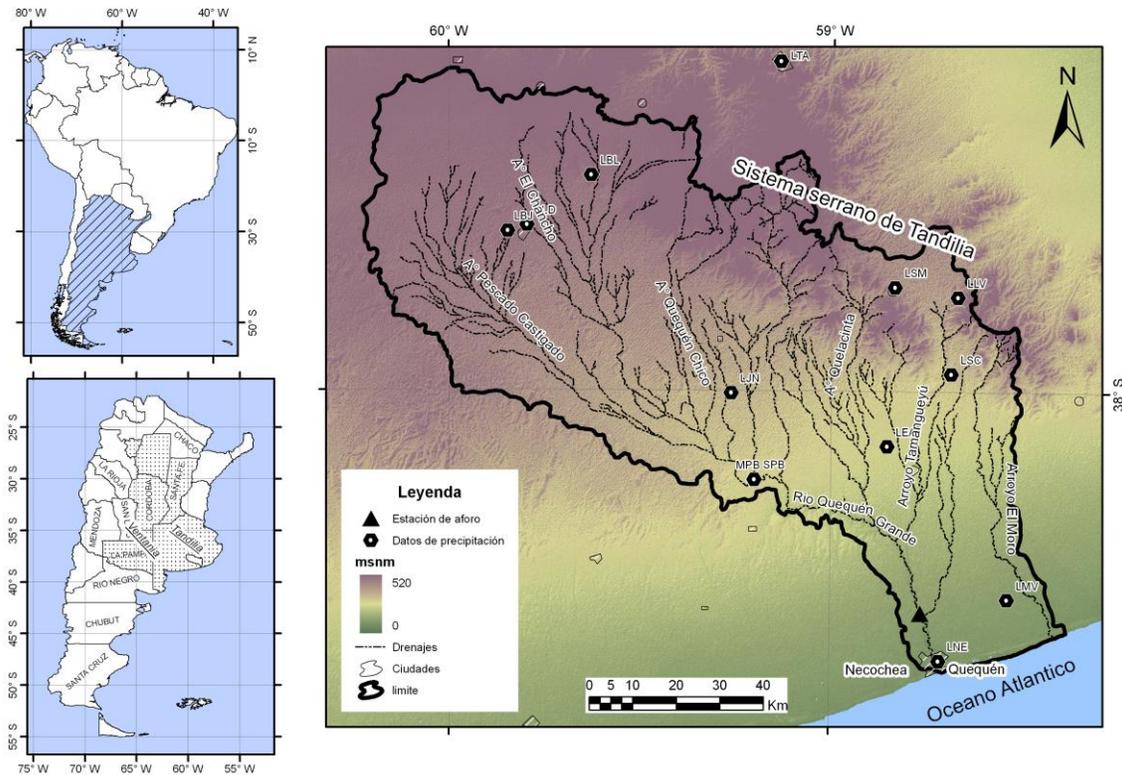


Figura 1. Mapa de localización.

Se ha establecido que la recarga al acuífero pampeano en esta cuenca proviene de los excesos de precipitación por infiltración, del orden de los 150 mm/año (Quiroz Londoño *et al.*, 2012), y la descarga ocurre principalmente hacia cursos de agua superficiales. El río Quequén Grande (RQG) se constituye como la principal fuente de descarga de agua subterránea al Océano Atlántico (Martínez *et al.*, 2007). Mediante técnicas isotópicas e hidrogeoquímicas se comprobó el aporte de agua subterránea desde la CRQG hacia la del arroyo El Moro (Quiroz Londoño *et al.*, 2008), razón por la cual en este trabajo se decidió incluir la cuenca de dicho arroyo en este análisis, alcanzando así el área de estudio una extensión total de 11.075 km² (figura 1). El acuífero presenta propiedades hidrogeológicas homogéneas, con pocas variaciones a lo largo de su perfil, con valores de permeabilidad que oscilan entre 1 a 30 m/día, con un valor medio de 10 m/día (Auge, 2004; Ruiz de la Garreta *et al.*, 2007).

El drenaje superficial de la CRQG es asimétrico y se reconocen como principales tributarios los arroyos Pescado Castigado, Quelacintá, Quequén Chico, Calaveras, El Choncho y Tamanguéyú (figura 1). Todos afluentes al río Quequén Grande en su margen izquierda, en lo que Martínez *et al.* (2011) reconocen como control neotectónico. En su parte media y baja, el río presenta importantes barrancas que pueden alcanzar los 8 m de altura.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

Estudios geomorfológicos han identificado en esta cuenca cinco unidades fisiográficas: sierras y serranías; lomadas periserranas; lomas de divisorias con lagunas; lomas relictas sin lagunas; planicies con drenaje deficiente y llanuras aluviales. Estas controlan la dinámica del escurrimiento y definen, en gran parte, la distribución y el uso de los suelos en la región (Martínez, 2007).

Los suelos predominantes en la CRQG se ubican dentro del Dominio Edáfico 13, donde sobresalen los Argiudoles Típicos y los Argiudoles Típicos Someros, según la carta de suelos elaborada por el INTA para la provincia de Buenos Aires. Estos suelos son el resultado de la acción de un clima subhúmedo sobre materiales loésicos, en posiciones bien drenadas. Son, en general, suelos bien desarrollados y con buena distribución areal; presentan colores oscuros y elevados contenidos de materia orgánica y de nutrientes. Esta particularidad los define como los suelos más fértiles del país, por lo que son utilizados casi exclusivamente para la producción hortícola y agrícola tradicional (Álvarez *et al.*, 2008), predominado los cultivos de trigo, maíz, soja, girasol y papa, con una ganadería de tipo extensiva solo en algunos sectores.

3. Materiales, datos y métodos

En el presente trabajo se analizaron tres eventos de inundaciones, ocurridos los años 1980 (21-29 de abril), 1998 (27 de septiembre-05 de octubre) y 2002 (15-25 de octubre), para los cuales se tiene información de precipitación, caudales e imágenes de satélite. Se analizó toda la información de precipitaciones almacenada en el SIG del grupo de hidrogeología de la Universidad Nacional de Mar del Plata. En total se analizaron 16 estaciones, las cuales poseen registros temporales variables, con mayor detalle para las lluvias ocurridas antes de los eventos de inundación. Con esta información se realizó un análisis estadístico que incluyó: estimación de valores máximos, mínimos y promedios; análisis de porcentaje acumulado de precipitaciones medias mensuales; elaboración de un histograma de frecuencias de precipitación mensual y de un análisis comparativo entre las precipitaciones mensuales promedios generales y los valores registrados en cada uno de los años en los que se presentaron los eventos de inundación.

Posteriormente se evaluaron datos de caudales diarios existentes para la estación de aforo instalada en la estación piscícola de Las Cascadas, ubicada sobre el río Quequén Grande, a 11 km al norte de la ciudad de Necochea (figura 1). Se analizaron en total 11.160 registros, entre los años 1963 y 2005. De ellos, solamente 20 años presentan registros diarios continuos completos. Para determinar el aporte de agua subterránea en el flujo del RQG se utilizó el programa *Baseflow* (Arnold y Allen, 1999). Este programa estima tres valores de caudal base por cada medición, utilizando algoritmos de cálculo diferentes. Combinando la información obtenida de los registros de precipitación y caudales, se consideraron los principales eventos de precipitación y su correspondiente respuesta en la estación de aforo.

Para el análisis de las inundaciones ocurridas en los años 1998 y 2002 se realizó un reconocimiento visual de las imágenes de satélite *Landsat 5 TM* de los meses posteriores a los eventos de precipitación. Las imágenes fueron corregidas, registradas y realizadas mediante técnicas

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

clásicas del procesamiento digital. Esto incluye realce por contraste (*stretching*), *density slicing*, realce de bordes y operaciones de filtrado. Se extrajo información de las imágenes para concluir con la selección de áreas con cobertura conocida (áreas de entrenamiento), en función de firmas espectrales de diferentes elementos (dunas, cultivos, ciudades, infraestructura, cuerpos de agua y bajos inundados). A partir de dichas clasificaciones se generaron mapas binarios de áreas inundadas. La misma metodología fue usada para un año con precipitaciones cercanas al promedio anual establecido para la cuenca. Esto se realizó con el fin de estimar el área cubierta por agua en periodos hídricos típicos para la región y poder compararlas con el valor de áreas anegadas luego de eventos de inundación.

Finalmente, y utilizando las potencialidades de las herramientas SIG, se planteó un modelo que explique desde el punto de vista topográfico, hidrogeológico y geomorfológico las mayores posibilidades de anegamiento (figura 2). Para esto se utilizó información topográfica, de inventario de puntos de agua y de suelos. La información topográfica fue obtenida desde el modelo digital de elevación (MDE) del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) con una resolución espacial de 90 metros. Estos datos han sido utilizados en muchos estudios y aplicaciones relacionadas con topografía, geomorfología, coberturas con vegetación densa, impactos de tsunamis y estudios urbanos (Gorokhovich y Voustianiouk. 2006).

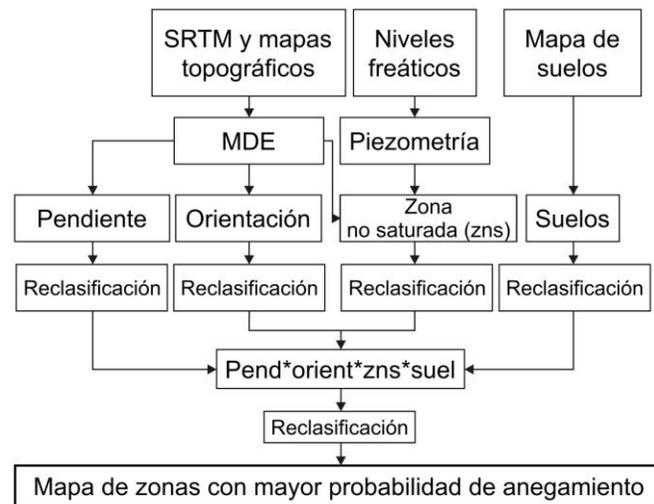


Figura 2. Modelo conceptual del mapa de zonas potenciales de anegamiento (ZNS zona no saturada).

A partir del MDE se elaboraron mapas de pendiente y orientación del terreno. El primero de ellos determina el grado de inclinación de cada píxel con referencia a la horizontal, para la zona se cuantificaron valores que oscilan entre 0° y 56°. Los máximos valores se localizan en la zona de sierras y en las cercanías del RQG. Bajos valores de pendiente contribuyen a

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

la acumulación de agua en superficie, limitando su desplazamiento horizontal. El segundo mapa indica la dirección de cada una de las celdas que lo conforman, analizando la orientación de la pendiente de cada una de ellas respecto al norte. Este dato puede variar entre 0° y 360°, donde 0° corresponde a una orientación norte y 180° a una orientación sur. En esta capa las orientaciones con componente sur o este fueron reclasificadas con valores bajos, ya que se encuentran en concordancia con la pendiente general de la cuenca; las celdas que registran dirección con componente norte u oeste se consideraron como potenciadoras de anegamiento, ya que actuarían como barrera natural al escurrimiento superficial.

Con los datos de nivel freático de pozos medidos en el mes de marzo de 2003, distribuidos en toda la zona de estudio, se elaboró un mapa piezométrico. Para la elaboración del mismo se realizó una interpolación manual, teniendo en cuenta el carácter ganador o perdedor de los cuerpos de agua superficial. Este mapa, elaborado con una equidistancia de 5 metros, fue rasterizado utilizando una resolución espacial de 90 metros y restado al MDE, obteniéndose así el mapa de espesor de zona no saturada (ZNS), el cual constituye la tercera cobertura del modelo de anegamiento. Se consideró para este análisis que bajos espesores de zona no saturada contribuyen más efectivamente al anegamiento en superficie.

Por último se utilizó el mapa digital de suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) a escala 1:500.000, obtenido desde la página oficial (Cruzate *et al.*, 2012) y se rasterizó según la posición del suelo en el paisaje. Esta cobertura, además de proveer información del suelo propiamente dicho, asocia las características geomorfológicas de cada unidad. Este mapa fue rasterizado a píxeles de 90 metros con el objetivo manipular toda la información raster a una misma resolución espacial.

Cada una de estas coberturas fue reclasificada con valores entre 1 y 5, asociando los valores menores a una menor probabilidad de anegamiento. Para obtener el mapa final de probabilidad de anegamiento se realizó una multiplicación entre las distintas coberturas. Como último paso se realizó una reclasificación utilizando el método de Cortes Naturales de Jenks (*Natural Break Jenks*). Este método define las distintas clases en agrupamientos naturales que se dan dentro de la distribución de los datos, identificando los puntos de ruptura entre las diferentes clases utilizando la fórmula estadística denominada optimización de Jenks (Jenks y Caspall, 1971; Jenks, 1977). Para lograr esto, el método minimiza la suma de las varianzas dentro de cada clase (Slocum, 1999; Murray y Shyy, 2000).

4. Resultados

4.1 Análisis de precipitaciones

Al graficar los promedios anuales de precipitación para todas las estaciones dentro de la cuenca (*figura 3*) se encontró que el promedio general anual es de 900,37 mm, con un máximo de 1.314,14 mm y un mínimo de 569,50 mm. La *figura 3* permite encontrar diferencias entre las precipitaciones que ocasionaron las inundaciones de los años 1980, 1998 y 2002. Para el caso del

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

año 1980 se tiene uno de los valores más altos de precipitación en las últimas tres décadas; sin embargo, el año inmediatamente anterior presentó el valor de precipitación más bajo en el mismo periodo de tiempo. Para el año 1998 se registró un valor total de precipitación por debajo de la media general de la zona; los años anteriores presentaron valores, aunque superiores, cercanos a la media general. Por último, en el caso del 2002 se registró la precipitación total anual más alta de todos los registros que se tienen hasta la fecha.

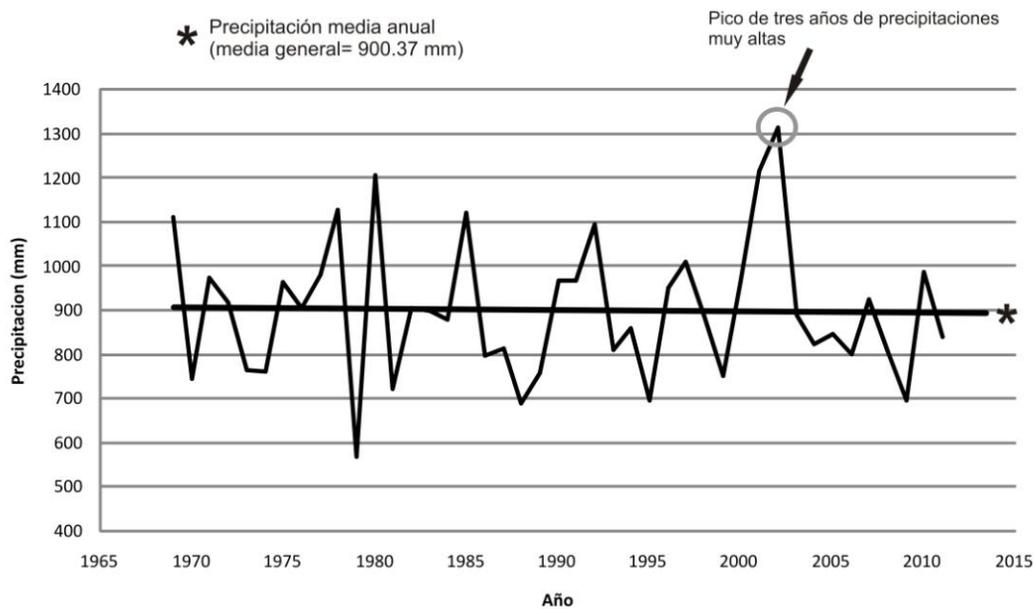


Figura 3. Precipitación promedio anual en la Cuenca del río Quequén Grande.

En cuanto a los valores mensuales, se tiene que el 73% de las precipitaciones ocurridas en el período de tiempo analizado son inferiores a 100 mm (figura 4a). De igual manera, el histograma de frecuencia elaborado con esta información permitió establecer que el 23% de las precipitaciones medias mensuales tienen valores que oscilan entre 27 y 53,5 mm (figura 4b). Los valores de desviación típica, media y coeficiente de variación para los valores de precipitación media mensual fueron de 53,2; 76,0 y 0,7, respectivamente.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

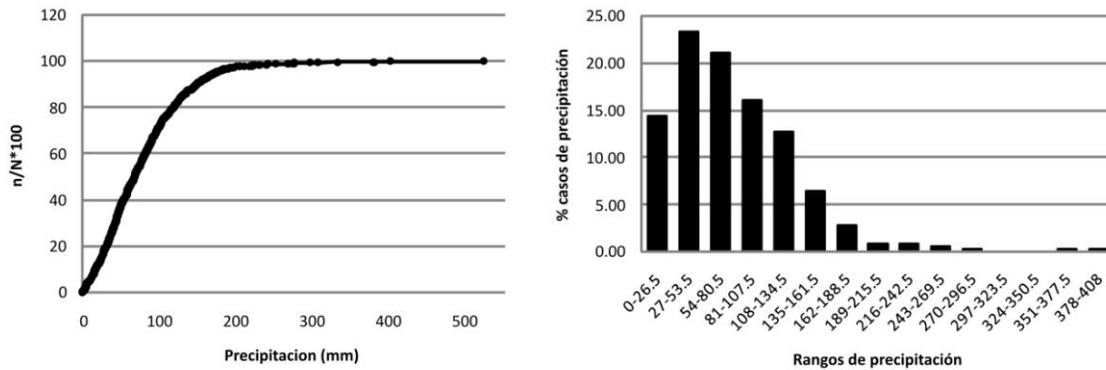


Figura 4. a. Porcentaje acumulado de precipitaciones medias mensuales b. Histograma de frecuencias de precipitación mensual.

En la figura 5 se comparan los valores mensuales de precipitación de los años donde se presentaron inundaciones con los valores promedio mensuales de todas las estaciones. En el caso de la precipitación registrada en 1980 se puede apreciar que las precipitaciones mensuales son similares con el promedio mensual de las últimas tres décadas. La diferencia con otros años es que en el mes de abril de ese año se produjo una precipitación que alcanzó los 414 mm y que fue la responsable de las inundaciones ocurridas a fines del citado mes, ocasionando pérdidas económicas muy importantes en las ciudades de Necochea y Quequén, además de afectar la infraestructura vial de la región. Los datos diarios de precipitación indican que entre los días 21 y 28 de abril se precipitaron sobre la cuenca un total de 309 mm, esto corresponde al 26% del total de las lluvias ocurridas en ese año.

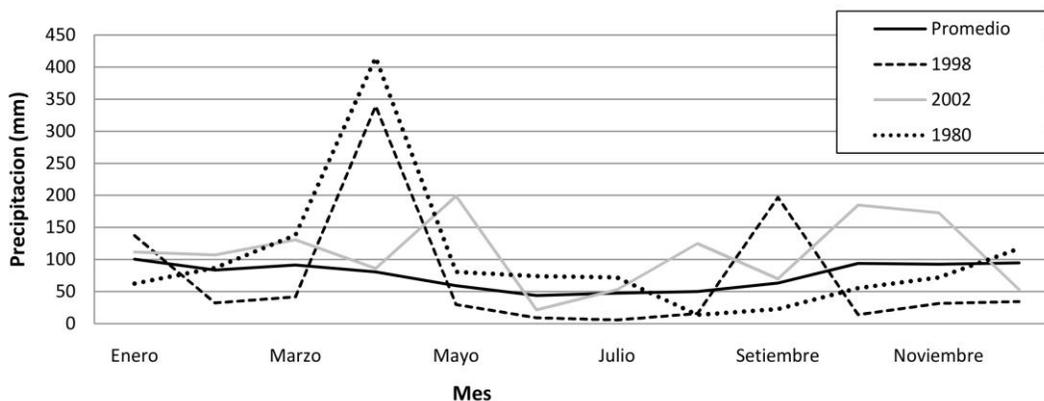


Figura 5. Precipitación promedio mensual en la CRQG comparada con la precipitación mensual en los años 1980, 1998 y 2000.

Para el caso de las precipitaciones del año 1998 se puede observar que, pese a que en este año las precipitaciones estuvieron por debajo del promedio general, entre los días 26 y 27 de

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

septiembre se registraron precipitaciones que alcanzaron los 170 mm, causando un aumento importante en el nivel del RQG, ocasionando algunos daños en sus zonas aledañas a su cauce principal y anegamientos cerca de la ciudad de Necochea. Las precipitaciones que causaron esta crecida fueron muy acotadas en el tiempo (2 días), presentando valores similares en todas las estaciones analizadas. Vale la pena destacar que en los datos de lluvia de este año también se presentaron valores altos de precipitaciones en el mes de abril ([figura 5](#)), las cuales alcanzaron un valor total mensual que duplica el total de la lluvia en el mes de septiembre. Sin embargo, en esta ocasión no se presentaron crecidas importantes en el RQG. Esto a causa de que las precipitaciones no tuvieron una distribución temporal ni espacialmente uniforme, distinta a lo que ocurrió en el mes de noviembre.

Para el caso del año 2002 se observa que las precipitaciones estuvieron en todos los casos por encima del promedio general ([figura 5](#)), sobresaliendo los meses de mayo, octubre y noviembre con los valores máximos.

Se puede establecer entonces que para los años de 1980 y 1998 las precipitaciones fueron acotadas en el tiempo y uniformes a lo largo de toda la cuenca, produciendo importantes daños solamente en el año 1980 debido a que las lluvias triplicaron en valor a las ocurridas en el año de 1998. Para el caso de la inundación ocurrida en el 2002, las precipitaciones totales mensuales superaron en todos los casos los promedios históricos. Aunque a lo largo del año las precipitaciones no tuvieron una distribución espacial similar, el volumen total fue semejante en todas las estaciones.

4.2 Análisis de caudales

Se analizaron 11.160 mediciones de caudal realizadas en la estación de Las Cascadas entre el 18 de enero de 1963 y el 21 de noviembre de 2005. El caudal promedio calculado fue de 22,3 m³/seg, con valores máximos y mínimos de 1.942 m³/seg y 2 m³/seg, respectivamente, con una desviación típica de 85,14 y un coeficiente de variación de 3,8. En la [figura 6](#) podemos observar que más del 80% de los valores de caudal medido se encuentran por debajo de los 24 m³/seg.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

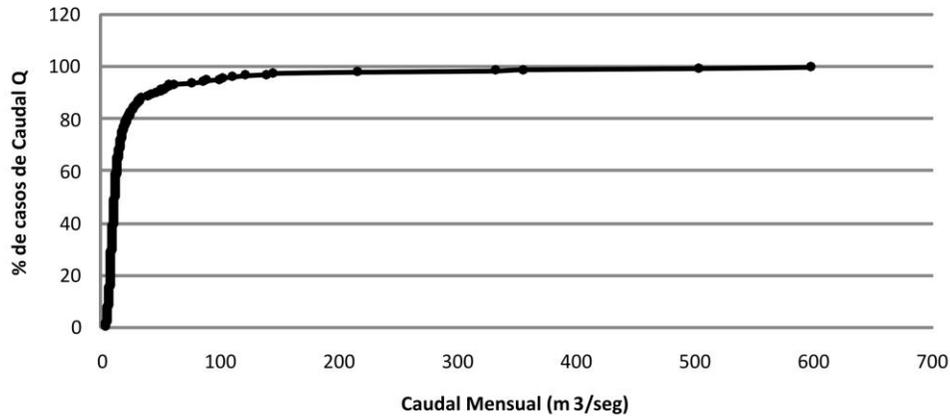


Figura 6. Porcentaje de mediciones de caudal.

A partir de la estimación del caudal base del RQG, utilizando todas las mediciones con que se dispone, se pudo establecer que éste alcanza al 83% del flujo total (Martínez *et al.*, 2007). Si en este análisis se consideran solamente los años con registros diarios completos (20 años), este valor alcanza el 73%. De los años en que se presentaron inundaciones, solo se tienen registros de caudal diario completo para el año 1998 y algunos datos aislados para el año 2002. Para los valores de caudal del año 1998 (figura 7) se pueden observar algunos incrementos en el mes de abril y en el mes de septiembre. Al relacionar los datos de precipitaciones con los caudales registrados ese año se puede observar que en el mes de abril se presentaron precipitaciones con valores similares a las que ocurrieron en el mes de septiembre y que causaron la inundación en ese año. Sin embargo, los caudales del mes de abril presentan incrementos que alcanzan un máximo de 302 m³/seg, mientras que los correspondientes al mes de noviembre alcanzan los mayores valores históricos medidos en la estación de Las Cascadas (1.848 m³/seg). Esta diferencia se debe a que en el mes de abril las lluvias no fueron simultáneas espacialmente, lo que sí ocurrió con las precipitaciones de los últimos días de noviembre. Lo anterior demuestra que, además de la intensidad registrada en las precipitaciones, la distribución espacial y la coincidencia temporal de las mismas son factores muy importantes en el establecimiento de redes de monitoreo y alerta para la CRQG. Este aspecto deja claro además la capacidad de atenuación que presenta la cuenca ante precipitaciones como las ocurridas en el mes de abril de ese año.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

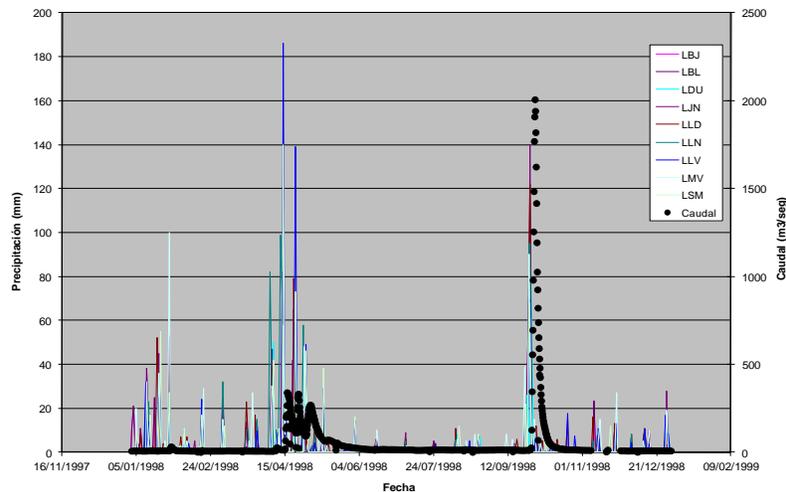


Figura 7. Valores de precipitación y caudales en 1998.

A fin de definir un tiempo de respuesta de la cuenca ante las precipitaciones, se evaluaron los datos de precipitación y caudal en un periodo de 20 años (años con series diarias completas), considerando solamente precipitaciones que estuvieron precedidas por períodos secos, donde el caudal del RQG estaba compuesto en más del 80% de flujo base. Se pudo establecer que el tiempo transcurrido desde la ocurrencia de eventos importantes de precipitación hasta que éstas se ven representadas en los caudales varía entre 2 y 5 días. Si se tiene en cuenta la ubicación de esta estación de aforo, cerca de la desembocadura del RQG en el océano, se puede tomar este lapso de tiempo como el periodo de reacción de la parte baja de la cuenca ante eventos de precipitaciones fuertes. La diferencia de tiempo detectada radica en la distribución espacial de la precipitación, si éstas se restringen a la parte alta de la cuenca, se reflejarán en el caudal pico en la estación de aforo en un lapso de 5 días, pero si las precipitaciones ocurren en toda la extensión de la cuenca el máximo pico de caudal ocurrirá 2 días después.

4.3 Áreas inundables

Para tener una aproximación de las áreas con mayor probabilidad de anegamiento se analizaron las imágenes de satélite correspondientes a los períodos mayo-junio del 1998 y noviembre-diciembre del 2002. Con estas imágenes se elaboraron mapas de áreas inundables, entendiendo éstos, como aquellos que se limitan a identificar las áreas afectadas por las inundaciones (Ribera, 2004). Adicionalmente, se realizó este mismo análisis para un año con precipitaciones típicas en la cuenca (año 2006), con el objetivo de determinar la superficie que normalmente se encuentra cubierta por agua. El resultado de este análisis se presenta en [figura 8](#).

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevenición del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

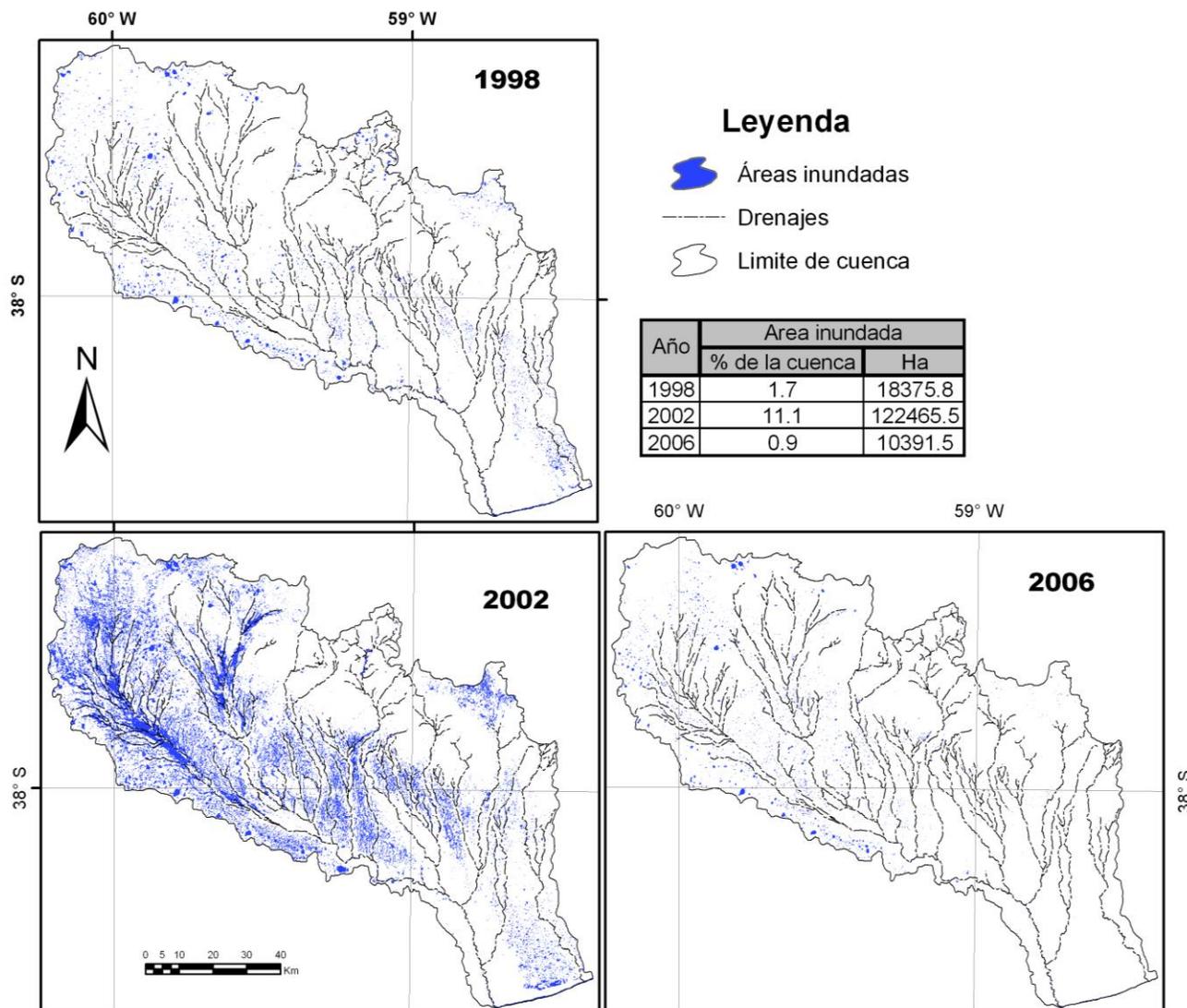


Figura 8. Superficie cubierta de agua en la cuenca del río Quequén Grande bajo diferentes escenarios hidrológicos. Años 1998, 2002 y 2006.

Con referencia a la imagen del año 2006, puede observarse la presencia de cuerpos de agua permanentes en la parte alta de la cuenca, incluyendo las divisorias de cuenca localizada al sudoeste y que coincide con la región que Martínez (2007) denomina *lomas de divisorias con lagunas*. Se pudo establecer que para ese año, con una precipitación promedio (871 mm/año), el 0,9% del área de la cuenca está cubierta permanentemente de agua, lo que equivale a 10.391,5 ha. Por su parte, las imágenes del año 1998 presentan a la parte alta de la cuenca con la mayor cantidad de superficie inundada, observándose áreas afectadas en el segmento medio del arroyo Tamanguayú y la parte baja del arroyo El Moro (figura 8). El total de superficie anegada para ese año alcanzó el 1,7% del

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

total de la cuenca (18.375,5 ha). En el caso del año 2002 la tendencia general es la misma que la detectada en el año 1998, pero con mayor superficie afectada, alcanzando el 11,1% del total del área, lo que equivale a 122.465,5 ha.

En los mapas elaborados para el año 1998 y 2002 se observan dos zonas en las que no se detectan problemas de anegamiento. La primera, cercana a la zona de sierras, donde, a causa de las unidades geológicas aflorantes y de los mayores valores de pendiente, existe una escorrentía superficial que se encauza, dando origen a los distintos arroyos que drenan la cuenca. La segunda zona se ubica alrededor del cauce principal del RQG, entre su sección media y su desembocadura. En este sector se ha creado una especie de zona "buffer" natural debido al desnivel que existe entre el nivel base del río y la topografía circundante (aproximadamente 8 m). Este desnivel aumenta la capacidad de drenaje, concentrando rápidamente la escorrentía en el cauce principal. En este sector el espesor de la ZNS también aumenta (Bocanegra *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2007).

4.4 Modelo de anegamiento

Como resultado de la aplicación del modelo de anegamiento se obtuvo el mapa que se ilustra en la [figura 10](#). En términos generales este mapa es coherente con los mapas de áreas inundadas y de unidades geomorfológicas, este último elaborado por Martínez (2007). Se puede además observar una buena coincidencia con las zonas que aparecen inundadas en los años 1998 y 2002, aunque, en extensión, el mapa resultado de la modelización presenta mayores zonas afectadas. Lo anterior puede deberse a que en los mapas de áreas inundables, resultado de análisis de sensores remotos, identifican únicamente las áreas totalmente cubiertas por agua, dejando a un lado las zonas donde el nivel freático se encuentra a pocos centímetros del suelo o las áreas que han sido drenadas rápidamente.

Las zonas con mayor probabilidad de anegamiento están localizadas en algunos valles interserranos, cerca de las confluencias de los principales cursos superficiales, parte baja de la cuenca del arroyo El Moro (SE del área de estudio) y parte media de la subcuenca del arroyo Pescado Castigado (sector SO). En estos sectores se reconocen bajas pendientes, orientaciones contrarias a la escorrentía y escaso espesor de zona no saturada. Por su parte, las zonas con menor peligrosidad se distribuyen a lo largo de toda la cuenca, respondiendo esencialmente a mayores pendientes y mayores valores de ZNS.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

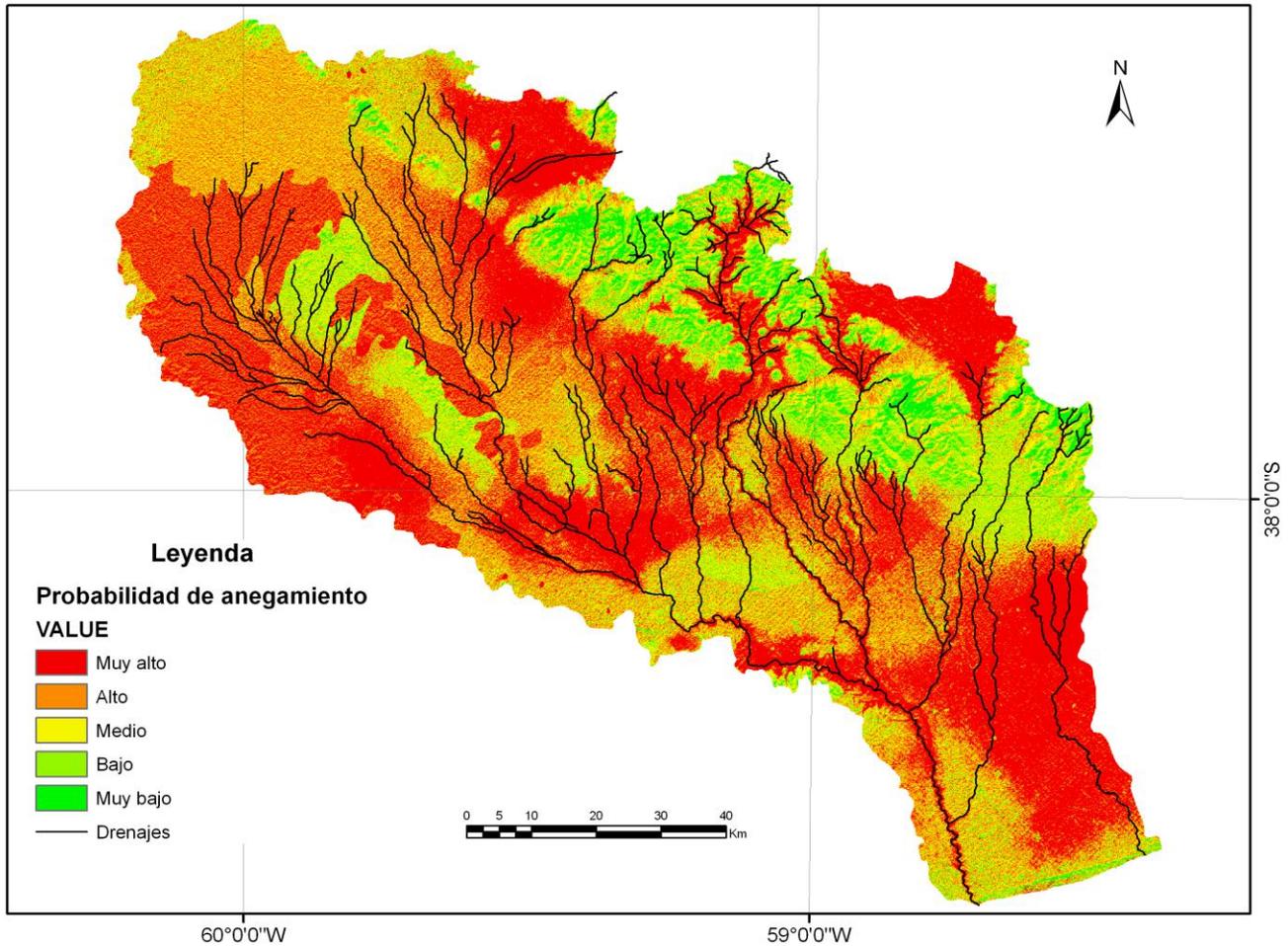
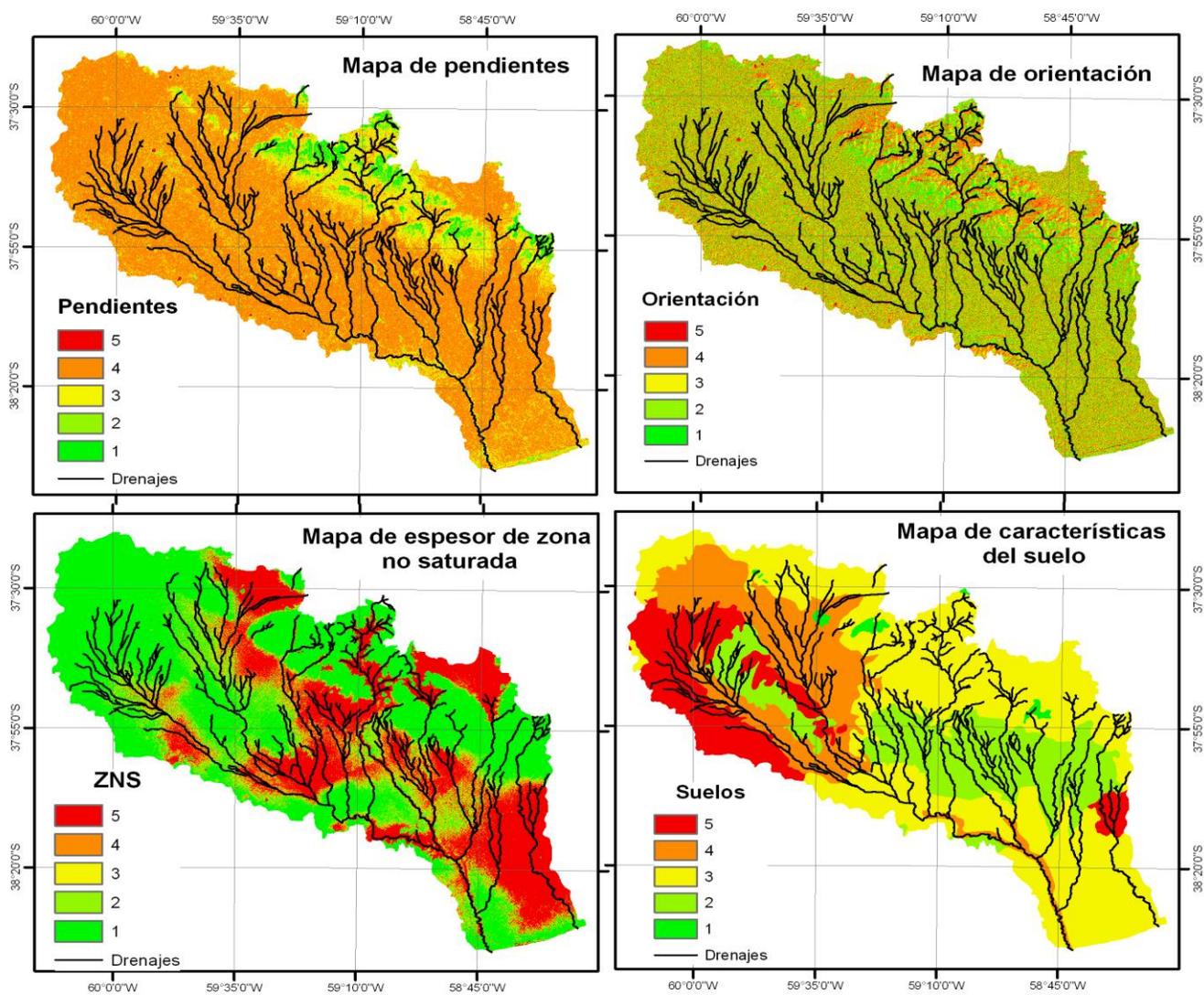


Figura 10. Mapa resultado del modelo de probabilidad de anegamiento.

Este mapa puede ser tomado como indicativo y ser usado en la planificación y uso del territorio. Una de las ventajas a considerar en la elaboración de este mapa, además de su facilidad de aplicación, es que, excepto los niveles freáticos, toda la información fue obtenida desde Internet como información de acceso libre. Esto le da una gran potencialidad de uso a esta herramienta en áreas con condiciones similares a la de la zona analizada en este documento. Este modelo puede ser mejorado incluyendo otro tipo de coberturas como puede ser la de capacidad de infiltración de suelo o aumentando la resolución espacial de las diferentes coberturas utilizadas.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157



Parámetro				Rango
Pendiente	orientación	ZNS	Características del suelo	
0	Sin orientación, Norte	<1	Planicie, Lago/laguna, Cubetas	5
<2	Norte, Noreste, Oeste, Noroeste	<2.5	Albardón	4
<3	Este	<3	Loma, Pendiente, Duna	3
<5	Sureste, Suroeste	<5	Lomas con tosca en superficie	2
<56	Sur	<15	Afloramiento rocoso	1

Figura 9. Coberturas utilizadas en el modelo de anegamiento. Valores de reclasificación.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

4.5 Propuesta de monitoreo y gestión

El proceso de gestión del riesgo de inundación ha sido largamente estudiado (UNDRO, 1991; Mileti, 1999; Plate, 2002; Hansson *et al.*, 2008) y, básicamente, comprende tres etapas: pre, durante y post-evento. En la **figura 11** se detallan las acciones propias de cada una de ellas y en sombreado gris se muestran las que fueron abordadas en este trabajo.

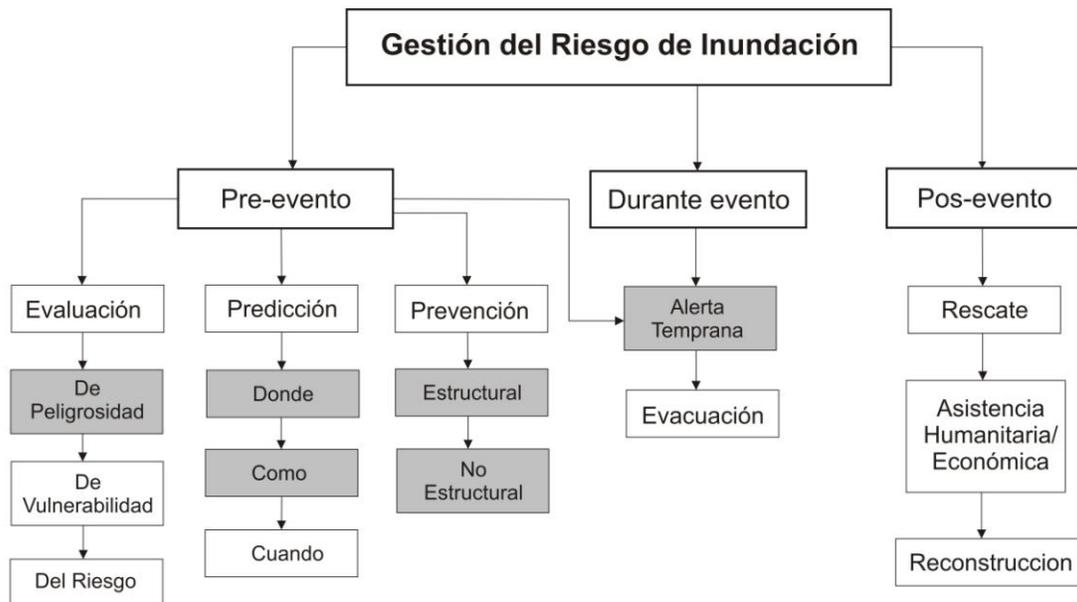


Figura 11. Etapas del proceso de gestión de riesgo. En gris las etapas abordadas en este trabajo.

La primera tarea en cualquier proceso de gestión del riesgo es la evaluación del mismo, que resulta de la combinación de la evaluación de la peligrosidad y del daño (o, indirectamente, la vulnerabilidad de las personas/bienes expuestos). En este trabajo se avanzó sobre la variable inicial, es decir, la evaluación de la peligrosidad, en términos de discriminar las áreas con mayor posibilidad de ocurrencia de inundaciones (**figura 11**). Si bien una completa evaluación de peligrosidad requiere análisis más profundos (cálculo de tiempos de recurrencia, alturas de lámina de agua, etc.), el mapa presentado constituye un avance y es una herramienta fundamental para el diseño de las tareas que se proponen a continuación.

Dentro de las estrategias de predicción es bien conocido que, en términos generales, para cuencas de más de 5.000 km² los aforos dan tiempo suficiente de alarma, mientras que en el caso de cuencas entre 150 y 3.000 km², en general, hay que predecir inundaciones a partir del registro de precipitaciones (MOPT, 1993). En la CRQG esta lógica enfrenta el problema asociado con su conformación como cuenca de llanura, donde, frecuentemente, son tan significativas las

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

inundaciones en manto como las de pico de crecida. Aún si se quisiera trabajar solo sobre estas últimas tipologías de inundaciones, la infraestructura es claramente inadecuada ya que solo se cuenta con una estación de aforo en la desembocadura del RQG. Por ello, como estrategia de predicción y en base al mapa de posibilidad de anegamiento ([figura 10](#)), se proponen las siguientes acciones:

- a) Monitoreo de precipitaciones o tormentas: Si bien existe una cobertura importante de registros de precipitaciones, es por iniciativa individual de cada productor o bien instituciones como el INTA o la Cooperativa Agrícola de La Dulce. Esto hace que el registro carezca de organización y de un sistema de recolección e interpretación centralizada, función que, hasta el momento, la está cumpliendo el grupo de investigación de la UNMdP al que pertenecen los autores de este trabajo. Tampoco se cuenta con estaciones meteorológicas automáticas. Las precipitaciones presentan amplia variabilidad en la cuenca, por lo que se hace necesario contar con una buena cobertura espacial. Se propone llevar control de cinco estaciones pluviométricas distribuidas según se muestra en la [figura 12](#).
- b) Monitoreo de caudales: Se requiere la instalación de, al menos, tres estaciones en las cuencas alta y media. Contando con la estación de Las Cascadas, y en función del mapa de probabilidad de anegamiento ([figura 10](#)), se propone la instalación seis estaciones como se muestra en la [figura 12](#).
- c) Monitoreo de niveles freáticos: Como ya se ha mencionado en este trabajo, en áreas de llanura el control del nivel freático sobre los episodios de inundación es sumamente importante. Actualmente se cuenta con tres estaciones de control, siendo necesarias cuatro más para lograr una mejor cobertura de la cuenca. En la [figura 12](#) se ilustran las estaciones de medición de nivel freático propuestas.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

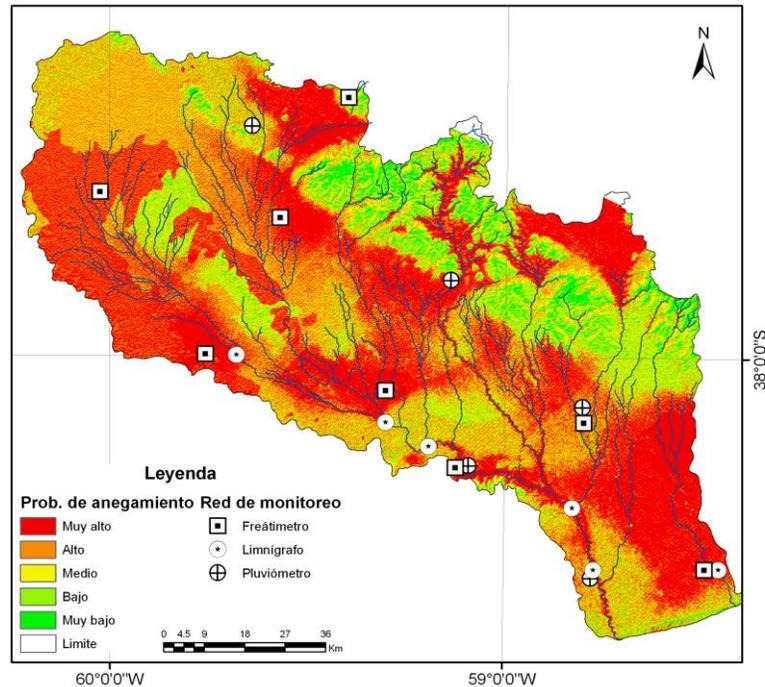


Figura 12. Red de monitoreo propuesta.

Se plantea, además, como estrategia de prevención estructural, el mantenimiento y limpieza de los cauces, con especial atención en las áreas donde los arroyos tienen poca expresión topográfica y resultan fácilmente obstruidos por la vegetación que crece espontáneamente. La complejidad que requiere un sistema de alarma excede, por mucho, lo realizado en este trabajo; sin embargo, es necesario destacar que los tiempos al pico para la ciudad de Necochea (2 y 5 días) son elementos centrales para tener en cuenta.

5. Conclusiones

El uso de las herramientas ofrecidas por los SIG, conjuntamente con el análisis de imágenes de satélite, precipitaciones y caudales, permitió caracterizar y analizar inundaciones históricas ocurridas en la CRQG. De igual forma, permitió la identificación de áreas de mayor peligrosidad ante eventos de inundaciones mediante un modelo cartográfico basado en información de fácil acceso.

Mediante el análisis de datos hidroclimatológicos y teniendo en cuenta el régimen de precipitación que las originó, se logró clasificar las inundaciones de los años 1980 y 1998 como del tipo de avenida. Por su parte, la inundación del año 2002 fue clasificada como de tipo mantiforme, es decir, por aumento del nivel freático. Para las inundaciones de tipo de avenida se pudo establecer

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

un tiempo de desfase de entre 2 y 5 días entre las precipitaciones máximas y la respuesta máxima de caudal en la estación de Las Cascadas. La diferencia en el tiempo de respuesta del RQG obedece a la distribución tanto temporal como espacial de las precipitaciones.

Los datos analizados permitieron establecer, además, un límite de intensidad máxima de precipitación, distribuida de manera homogénea en toda la cuenca, para que un evento de inundación de tipo avenida afecte de manera negativa las ciudades de Necochea y Quequén. Este límite alcanza el valor de 170 mm en dos días y es similar al evento que ocasionó la inundación de 1998, en la cual, según reportes de diarios locales, el río alcanzó su nivel máximo y estuvo a punto de afectar las zonas más bajas de las ciudades ubicadas cerca de la desembocadura del RQG.

Un factor a tener en cuenta para trabajos futuros es la inclusión en el modelo de anegamiento de rutas y caminos, los cuales presentan una mayor altura respecto a los terrenos circundantes y conforman barreras que impiden la circulación y escurrimiento del agua. De igual manera, la instalación de estaciones de aforo permitirá trabajar a nivel de subcuenca y analizar la contribución de cada una de ellas al sistema integral, así como mejorar la delimitación de áreas afectadas. Se espera que esta información sirva para generar planes de contingencia que ayuden a amortiguar estos fenómenos naturales y permitan el diseño y la creación de redes de monitoreo que actúen como herramientas de alerta temprana.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo queremos expresar nuestro agradecimiento a los propietarios y empleados de las estancias El Moro Viejo, Malalthuel Chico, los propietarios del paraje San Cayetano, La Balanza pública de San Manuel y al personal de la Escuela Agropecuaria de Lobería, por la colaboración brindada en la recopilación de datos. Al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), por el apoyo económico en la compra de equipos para medición de nivel. La financiación económica para la realización de este trabajo fue otorgada por al ANPCyT (PICT 07 390). Queremos agradecer también a los revisores de este trabajo, los cuales realizaron aportes importantes para la preparación final de este documento.

Referencias bibliográficas

Aguglino, J. (1998): *Análisis multitemporal de las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Evento El Niño 1997/1998*. Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias. Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires.

Álvarez, M. F.; Osterrieth; M. L.; Bernava Laborde, V. y Montti, L. (2008): "Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles Típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de la calidad física de suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina", en *Ciencias del Suelo* 26 (2), pp. 115-129

Arnold, J. G. y Allen, P.M. (1999): "Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records", en *Journal of the American Water Resources Association* 35(2), pp. 411-424.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

Auge, M. (2004): *Vulnerabilidad de Acuíferos: Conceptos y Métodos*. Buenos Aires. Disponible en: www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Vulnerabilidad-Conceptos.pdf.

Bocanegra, E.; Martínez, D. E.; Massone, H. E. y Farenga, M. (2005): "Modelación numérica preliminar del flujo subterráneo de la cuenca del río Quequén, provincia de Buenos Aires", en *IV Congreso Argentino de Hidrogeología*, Río Cuarto, Córdoba, del 25 al 28 de octubre, Vol. 1, núm. 1, pp. 191-200.

Campo de Ferreras, A. M. y Piccolo, M. C. (1997): "El Balance Hídrico en la cuenca del Río Quequén Grande, Argentina", en *Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia*. (enero-julio de 1997), pp 51- 66.

Campo de Ferreras, A. M. y Piccolo, M. C. (2002): "Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado", en *Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Santa Fe, pp. 97-103.

CEOS (2003): *The use of earth observing satellites for hazard support: assessments and scenarios*. Final report of the CEOS disaster Management Support Group (DMSG), November.

Cruzate, G.; Gómez, L.; Pizarro, M.J.; Mercuri, P. y Banhero, S. (2012): *Mapa de Suelos de la República Argentina - Versión Digital Corregida, Revisada y Aumentada (Versión 1.0)*. SAGyP – INTA. Proyecto PNUD ARG/85/019 (con la participación del Instituto de Suelos y EEAs del INTA). Disponible en: <http://geointa.inta.gov.ar/>.

Deluchi, M.; Laurencena, P.; Varela, L. y Kruse, K. (1995): "Caracterización Hidrológica Regional de la Llanura Interserrana, Provincia de Buenos Aires. Primera Etapa", en *Jornada de comunicaciones científicas de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo*.

Díez Herrero, A. (2002): "Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales", en L. Laín Huerta (ed.): *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente*, Serie Medio Ambiente. Riesgos Geológicos 3. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid, pp. 85-112.

Giraut, M. (1992): *GIS methodology applied to hydrological hazard mapping in flat areas*. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, EPFL, Suisse.

Giraut, M.; Soldano, A. y Ludueña, S. (1998): "Cuantificación de la evolución de coberturas hídricas durante las recientes inundaciones en el noreste de la República Argentina: una propuesta metodológica", en *Jornadas Argentinas de Teleobservación*, CONAE, Buenos Aires.

Gorgas, J. A.; Pappalardo, J.; Tassile, J.L.; Bustos, V. y Reynoso, D. (2000): *Monitoreo satelital de anegamientos de tierras. Grado que afectan su productividad en el sudeste de Córdoba*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 10 págs.

Gorokhovich, Y. y Voustianiouk, A. (2006): "Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics", en *Remote Sensing of Environment* 104, pp. 409-415.

Hansson, K.; Danielson, M. y Ekenberg, L. (2008): "A framework for evaluation of flood management strategies", en *Journal of Environmental Management*, 86, pp. 465-480.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

Horcajada, H. T.; Simancas, C. M. R. y Dorta, A. S. (2000): "La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas cuencas hidrográficas mediante Sistemas de Información Geográfica. Propuesta metodológica y aplicación a la ordenación del territorio", en *Boletín de la A.G.E.*, n°30, pp. 135-154.

INET- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2005): *Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenazas Recomendaciones técnicas para su elaboración* (en colaboración con la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE, pp. 71.

Jenks, G. (1977): "Optimal data classification for choropleth maps", en *Department of Geography occasional paper* no. 2, University of Kansas, Lawrence, Kansas

Jenks, G. y Caspall, F. (1971): "Error on choropleth maps: definition, measurement, and reduction", en *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 61 (2), pp. 217-244.

Kruse, E.; Laurencena, P.; Deluchi, M. y Varela, L. (1997): "Caracterización de la Red de Drenaje para la Evacuación Hidrológica en la Región Interserrana (Provincia de Buenos Aires)", en *Actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea*. Bahía Blanca, pp. 133-145.

Kruse, K. (1993): "El agua subterránea y los procesos fluviales en la Región Centro Oriental de la Provincia de Buenos Aires", en *Caracterización Ambiental de la Provincia de Buenos Aires*. C.I.C. La Plata. Año II, 15, pp. 13-31.

Kruse, R.; Rojo, A. y Laurencena, P. (1993): "Aspectos Geohidrogeológicos de la zona sur de Mar del Plata (Buenos Aires)", en *Actas XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de exploración de hidrocarburos*, Mendoza. VI, pp. 117-130.

Llambías, E. y Prozzi, C. R. (1975): "Ventania", en *Geología de la Provincia de Buenos Aires*, 6° Congreso Geológico Argentino. Relatorio, Buenos Aires, pp. 79-101.

Martínez, D. E.; Quiroz Londoño, O.M.; Dapeña, C.; Massone, H. E.; Ferrante, A. y Bocanegra, E. (2007): "Aportes al modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca del río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires", en *V Congreso de Hidrogeología y III Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea*. Paraná, Entre Ríos, Argentina. 16-19 de octubre de 2007, pp. 262-271. ISBN 978-987-23936-3-2.

Martínez, G. A. (2007): "Mapeo Geomorfológico con imágenes de satélite Landsat 7 y Radarsat 1 en la cuenca del Río Quequén Grande, provincial de Buenos Aires, Argentina", en *Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Mar del Plata 19-21 de septiembre. ISBN 978-987-543, pp.126-3.

Martínez, G. A.; Quiroz Londoño, O. M.; Martínez, D. E.; Massone, H. E.; Farenga, M. y Grondona, S. I. (2011): "Control Neotectónico en la Evolución del Relieve de la Interserrana Bonaerense", en *XVIII Congreso Geológico Argentino*, mayo 2011, Neuquén, pp. 1225-1226. ISBN 978-987-22403-4-9.

Mileti, D. (1999): *Disasters by Design*. National Academy Press, 352 págs.

MOPT-Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1993): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid, España, 809 págs.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. (2013): "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 76-98. ISSN: 1578-5157

Murray, A. y Shyy, T. (2000): "Integrating attribute and space characteristics in choropleth display and spatial data mining", en *Int. J. Geogr. Inform. Sci.* 14 (7), pp. 649-667.

Paoli, C. y Giacosa, R. (2003): "Caracterización del riesgo hídrico con relación a las inundaciones y a las crecidas y lluvias de diseño", en *Inundaciones en la región pampeana*. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. Argentina.

Plate, E. J. (2002): "Flood risk and flood management", en *Journal of Hydrology* 267, pp. 2-11.

Quiroz Londoño, O. M.; Martínez, D. E.; Dapeña, C. y Massone, H. E. (2008): "Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient catchments of the province of Buenos Aires, Argentina", en *Hydrogeology Journal*, Volume 16, Number 6 (September), pp. 1113-1128. ISSN 1431-2174.

Quiroz Londoño, O. M.; Martínez, D.E. y Massone, H. E. (2012): "Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. La llanura interserrana bonaerense (Argentina), como caso de estudio", en *Revista DYNA (Journal of th school of mine)*. Medellin-Colombia, 2012. ISSN 0012-7353, pp. 239-247.

Ribera, M. (2004): "Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas", en *Doc. Anal. Geografic.* Vol. 43, pp. 153-171.

Ruiz de la Garreta, A.; Varni, M.; Banda, N.R. y Barranquero, R. (2007): "Caracterización Geohidrológica Preliminar en la Cuenca del Arroyo Languyú, partido de Tandil, Buenos Aires", en *V Congreso Argentino de Hidrogeología*.

Slocum, T. A. (1999): "Thematic cartography and visualization. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ", en *The Era of RADARSAT*. Ottawa. Canadá, pp. 482-483.

UNDRO-United Nations Disaster Relief Coordinator Office (1991): *Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options. A Manual for Policy Makers and Planners*, United Nations, New York

Ussunoff, E. (1994): "Técnicas en estudios de Llanura", en *Memorias del Seminario Hispano-Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea*. Universidad Nacional de Mar del Plata- Consejo Nacional de Inversiones. Mar del Plata, 20-23 de septiembre, pp. 103-117.

Zimmerman, E. (2004): *Análisis de Sistemas Hidrológicos. Desarrollo de contenidos*. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario-Republica Argentina.