

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LLANURA (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Bohn, Vanesa Y^(1,2), Piccolo, M.Cintia^(1,3)

¹ Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca – Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ Instituto Argentino de Oceanografía (IADO – CONICET).

E-mail: ybohn@criba.edu.ar

Resumen

El uso de bases de datos a escala global así como también la aplicación de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el estudio del fenómeno de las inundaciones, ha ido en incremento. En regiones en las que la información es escasa, las mencionadas herramientas aparecen como una excelente opción para el análisis del fenómeno y sus consecuencias espaciales. La metodología de trabajo incluyó el análisis de datos satelitales, topográficos e hidrológicos, así como también el análisis estadístico en un entorno SIG. Se analizaron aspectos hidrológicos tales como la estacionalidad, recurrencia y máxima extensión de agua superficial. El objetivo del trabajo fue desarrollar una metodología de trabajo para el análisis de inundaciones en cuencas de llanura. Se tomaron 3 casos de estudio, localizados en la provincia de Buenos Aires (Argentina): cuenca del río Arrecifes, del arroyo de Las Flores y del río Quequén Salado. Entre los principales resultados se hallaron, en todos los casos, que las áreas inundadas en forma intermitente superaron a aquellas en las que la recurrencia de agua fue del 100 %. En cuanto al Desarrollo de Línea de Costa (DLC) y origen de las lagunas de la región, predominaron aquellas de forma circular y semicircular, probablemente relacionadas a un origen eólico. La información generada se consideró de gran importancia para el planeamiento de la región y para uso de los productores agropecuarios.

Palabras clave: Recurrencia - Sensoramiento Remoto - Cuencas Hidrográficas

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR FLOODING ANALYSIS IN PLAIN WATERSHEDS (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Abstract

The use of databases on a global scale as well as the application of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) in the study of the phenomenon of floods, has been increasing. In regions where information is scarce, the mentioned tools appear as an excellent option for the analysis of the phenomenon and its spatial consequences. The method of the research included satellite, topographic and hydrological data analysis as well as statistical analysis in a GIS environment. Hydrological data on the seasonality, recurrence and maximum water extent were studied. The objective of the work was the development of a methodology in order to study the flooding in plain watersheds. Three study cases, located in the Buenos Aires province (Argentina), were studied: Arrecifes river basins watershed, from Las Flores river and from Quequén Salado river watershed. Among the main results were found, in all cases, that intermittently flooded areas exceeded those in which the recurrence of water was 100%. In relation to the Coastal Line Development (CLD) and origin of the water bodies, the circular and semicircular shapes were the

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: septiembre de 2018

majority, probably related to a wind origin. The generated information was considered relevant to the region planning and the farmer's knowledge.

Keywords: Recurrence; Remote Sensing; Hydrological Basins

Introducción

La evaluación de recursos de agua disponibles y su distribución espacial y temporal, así como el análisis de riesgo de inundaciones y sequías, son de gran importancia para la preservación de los sistemas naturales y la salud humana (Lehner, Döll, Alcamo, Hernichs y Kaspar; 2006). Los lagos y lagunas constituyen un componente importante de la hidrosfera terrestre y son sensibles a la variabilidad climática (Adrian et al., 2009). Reciben influencia no sólo de las variaciones en el clima sino también de las actividades antrópicas, convirtiéndose en indicadores significativos de respuestas regionales (Ma et al., 2011). Es por ello, que el conocimiento de sus variaciones espaciales, es relevante para la planificación y el aprovechamiento del recurso. En los últimos años, el desarrollo, publicación y uso de bases de datos aplicado a estos estudios ha ido en aumento. Su utilidad en trabajos de integración y desarrollo de modelos a nivel regional, ha sido demostrada (Lehner y Döll, 2004; Lehner et al., 2006; Vicente-Serrano, Beguería, y López-Moreno, 2010; Pekel, Cottam, Gorelick, y Belward, 2016). Fenómenos multiescalares, de relevancia y complejidad tales como inundaciones, sequías, incendios, entre otros, requieren de ser estudiados desde un enfoque regional. No sólo por su desarrollo espacial sino también por el alcance de sus consecuencias y la dificultad que implica su continuo monitoreo, estudio y análisis.

Este enfoque se nutre, también, del uso de datos satelitales y aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante los cuales se logra el análisis espacial y la superposición e interpretación integral de los fenómenos analizados (Olivera Acosta et al., 2011). Al respecto, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) integra desde el año 2003 la *Carta Internacional El Espacio y las Grandes Catástrofes* (de su nombre original en inglés *International Charter Space & Major Disasters*), un sistema unificado de adquisición y entrega de datos espaciales a través de usuarios autorizados, para ayudar a mitigar los efectos generados por las catástrofes naturales o antropogénicas, en cualquier punto del planeta (www.conae.gov.ar). La Carta Internacional proporciona imágenes satelitales elaboradas a los países que lo soliciten, para ayudar a las autoridades de gestión de desastres en la fase de respuesta y mitigación de una emergencia con importantes daños a la población y los bienes. Este sistema puede movilizar 15 agencias espaciales en todo el mundo, entre ellas la CONAE de Argentina, y obtener beneficios de sus conocimientos

técnicos y de sus satélites, a través de un punto de acceso único que funciona las 24 horas, los 7 días a la semana, sin costo para el usuario.

Específicamente en relación al fenómeno de excesos hídricos, los mapas de inundación han surgido como producto para el asesoramiento de organismos de gestión y tomadores de decisión ya que se elaboran, por una parte, a partir de cartografía que localiza y caracteriza el fenómeno físico de las inundaciones y, por la otra, a partir de cartografía que localiza y caracteriza los elementos expuestos. El uso de las llamadas *nuevas tecnologías*, como los SIG, la percepción remota, los sensores hidrológicos o Internet, representa un potencial de gran valor para el desarrollo de los mapas de riesgo de inundaciones lo cual constituye, actualmente, un campo abierto a la investigación (Ribera Masgrau, 2004).

En el área de estudio, la alternancia de años secos y húmedos es un fenómeno típico, que afecta a la región mediante la ocurrencia de inundaciones y sequías (Scarpati y Capriolo, 2013). Ambos fenómenos toman mayor relevancia por el predominio de la actividad agrícola y ganadera en la región. Las variaciones morfométricas en lagunas someras de la llanura argentina se asocian con la ocurrencia de eventos extremos, cambios en el uso del suelo, desarrollo urbano, actividades turísticas y agrícolas (Canziani, Ferrati, Marinelli y Dukatz, 2008). El objetivo del trabajo es desarrollar una propuesta metodológica para el estudio – a nivel regional - del fenómeno de inundación en cuencas hidrográficas de la provincia de Buenos Aires (figura N° 1), situadas a través de un gradiente de precipitación y a partir del uso de bases de datos globales, satelitales y aplicación de SIG.

Área de estudio

Se seleccionaron 3 cuencas hidrográficas (Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, 2017) localizadas en un gradiente de precipitación (NE-SO) extendido entre los 1100 mm/año y los 600 mm/año, en la llanura pampeana argentina (figura N° 1). Las unidades hidrográficas seleccionadas fueron (de N-NE a SO): Cuenca del río Arrecifes (10471 km²), del arroyo De Las Flores (17017 km²) y del río Quequén Salado (9958 km²) (figura 1).

La pendiente topográfica de la región es de ~ 0,4 %. Se destaca el desarrollo de 2 sistemas serranos que atraviesan el área en dirección ONO-ESE. En el N, el drenaje es menor que en el sur, permitiendo el desarrollo de áreas de inundación y lagunas someras. Además, se ha comprobado una relación directa entre aguas superficiales y subterráneas (Kruse y Laurencena, 2005). Los suelos en esta región son aptos para agricultura y ganadería (Viglizzo et al. 2008) y presentan una textura caracterizada por el contenido de arenas, limos y arcilla (INTA).

El área de estudio presenta un clima templado (14–20 °C) y se caracteriza por la existencia de un gradiente espacial de precipitación anual que decrece desde el NE (1100 mm) hacia el SO (400 mm) (Viglizzo et al., 2008). De acuerdo a Aliaga, Ferrelli y Piccolo (2017), el área de estudio incluye subzonas climáticas que van desde una zona húmeda en el NE hasta una subzona semiárida en el SO de la región.

La cuenca del río Arrecifes se encuentra ubicada en el norte de la provincia de Buenos Aires y es tributaria de la Cuenca del Plata. Su principal exponente, el río Arrecifes, colecta los caudales drenados por otros cursos, igualmente importantes, tales como el arroyo Pergamino y el río Salto (figura N° 1).

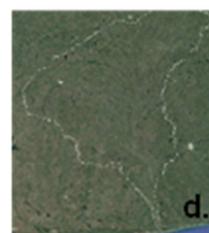
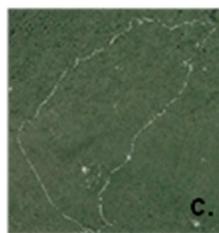
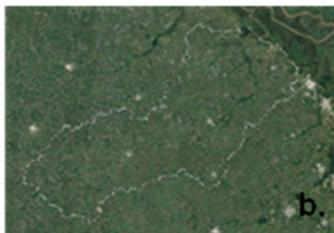
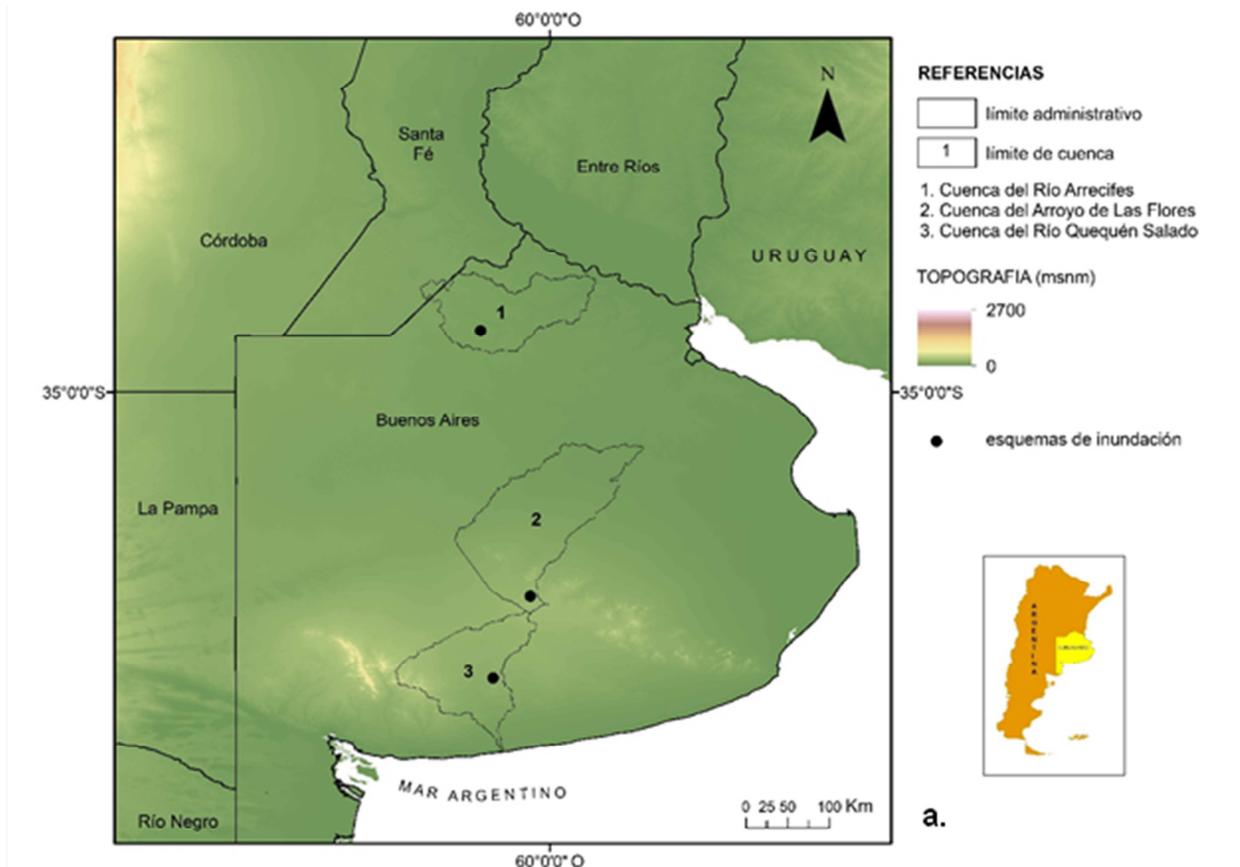
La mencionada cuenca se encuentra en la Llanura Platense y, a su vez, en la subregión Llanura Pampeana. Constituye una de las zonas más fértiles de la República Argentina, la agricultura y la ganadería conforman su estructura productiva. El 90 % de la superficie está ocupada por suelos agrícolas en los que se producen entre el 6 y 10 % de la producción nacional de trigo, maíz, soja y girasol. Los rendimientos de la tierra son de los más importantes del país, lo que confiere a la cuenca su gran riqueza.

La subcuenca del arroyo de Las Flores se incluye en la Cuenca del río Salado, en la pampa deprimida y es una unidad hidrológica destacada en las planicies argentinas. Se localiza en una de las regiones más productivas del país (Gabellone, Solari, Casco y Claps, 2013) y su sistema hidrológico muestra un escaso desarrollo y gran desintegración (figura N° 1). La cuenca se caracteriza por prolongadas inundaciones en forma periódica y frecuente. En el sector rural los perjuicios son múltiples, dado su rol predominante entre las actividades económicas de la misma (López, Rodríguez y Rodríguez, 2003). La mencionada subcuenca forma parte de uno de los 4 ejes de análisis del Plan Maestro Integral de la Cuenca del río Salado (<http://www.mosp.qba.gov.ar>).

Por último, la cuenca del río Quequén Salado muestra como principal rasgo geomorfológico sus nacientes en el Sistema serrano Pillahuincó (perteneciente al sistema serrano de Ventania, figura N° 1). Según la clasificación de cuencas hidrográficas de Argentina (SRRHH), forma parte de la cuenca de arroyos del sur de Buenos Aires. Al igual que en las demás cuencas estudiadas, el uso del suelo relevante es la agricultura y la ganadería. Esta última, se practica fundamentalmente en la cuenca superior debido a la predominancia de suelos arcillosos (Marini y Piccolo, 2005).

Figura Nº 1. Cuencas hidrográficas estudiadas.

a) localización en la llanura pampeana argentina; b) vista satelital (Google Earth) cuenca del río Areco; c) vista satelital cuenca del arroyo de Las Flores; d) vista satelital cuenca del río Quequén Salado. Las figuras b, c y d no están realizadas a escala (croquis).



Fuente: elaboración propia

Metodología

Las cuencas hidrográficas fueron seleccionadas teniendo en cuenta su extensión areal (km²) y estudios previos (Marini y Piccolo, 2005; Aliaga, Bohn, Piccolo y Perillo, 2014; Carol, Braga, Donnici, Kruse y Tosib, 2017) que reflejan su importancia en la región, a lo largo de un gradiente de precipitación (1100 – 600 mm/año). Este último fue definido de acuerdo a estudios previos (Aliaga et al., 2017) y datos históricos (SMN). Para el análisis de la dinámica y variación del patrón de inundación interanual e intra-anual de cada una de las cuencas se procesó la base de datos Global Surface Water (GSW) (Pekel et al., 2016). La GSW fue elaborada mediante el procesamiento de imágenes LANDSAT. Contiene el análisis y procesamiento de 32 años de datos satelitales con una cobertura a nivel global. Cada pixel fue clasificado como agua, tierra u observación no válida. El set de datos muestra diferentes facetas de distribución espacial y temporal de agua superficial. En el presente trabajo se analizaron 3 de los 6 productos que surgen de la GSW, el de recurrencia (R), el de estacionalidad (E) y el de máxima extensión (ME) de agua. El primero de ellos constituye una medida del grado de variabilidad interanual en la presencia de agua. Describe la frecuencia de recurrencia de un año a otro (0 – 100 %) y el comportamiento temporal de las aguas superficiales (Pekel et al., 2016). En cuanto a los datos de E, se obtuvo el comportamiento intra-anual de las aguas para un período de un año (2014-2015) mediante el cálculo del área cubierta de agua durante 0 – 12 meses. Por último, el producto de ME brindó información de todas las áreas en las que (durante un período de 32 años) se detectó agua. Por lo tanto, es la unión de todos los set de datos descritos anteriormente. El procesamiento de los productos satelitales así como la elaboración de los mapas se realizó en el SIG ArcGIS 10.1. Se aplicaron técnicas estadísticas estándar para el análisis de las tablas de atributos correspondientes.

Complementariamente, con el objetivo de graficar la distribución y frecuencia areal de la recurrencia del agua en las cuencas estudiadas, se realizaron esquemas de inundación. Se seleccionaron las 3 áreas de agua permanente (R = 100 %) de máxima extensión calculada, una para cada cuenca. La elaboración de los esquemas incluyó el procesamiento, interpretación y elaboración de perfiles topográficos a partir del Modelo de Elevación Digital de la Misión Topográfica de Radar (en inglés, DEM SRTM), de resolución espacial 90 m. El mismo fue obtenido en forma gratuita del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (en inglés, USGS). Se analizaron también, imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth) y los mapas de vectores obtenidos (con distintos porcentajes de recurrencia del agua) del producto satelital de R. Los datos fueron incorporados a un SIG

para la elaboración de los esquemas de inundación la cual se complementó con el uso de un software de diseño gráfico.

Para la interpretación de los mencionados esquemas así como también para la selección de áreas inundadas en cada caso, se realizó una descripción de la energía del relieve según los criterios enunciados por Popolizio (1981) y se obtuvo el Desarrollo de la Línea de Costa (DLC) de las extensiones de agua permanentes. Este último se calculó e interpretó de acuerdo a los criterios de Dangavs (2005) y la siguiente ecuación:

$$DLC = P / [2 \times (\pi \times S)^{1/2}] \quad (1)$$

donde P es el perímetro y S el área del cuerpo de agua considerado. Los valores (Timms, 1992) indicaron formas circulares ($DLC < 1,15$), semicirculares ($1,15 \leq DLC \leq 1,3$) y triangulares ($1,3 < DLC \leq 3$) y dendríticas ($DLC > 3$).

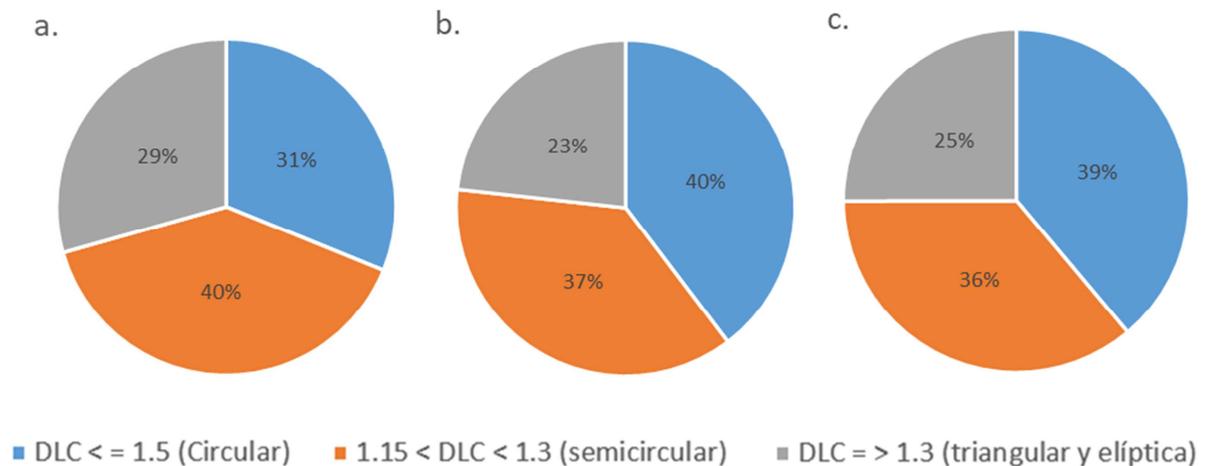
Los mapas de inundación fueron elaborados en el SIG ArcGIS 10.1 sobre la base de la GWS (Pekel, J., et al., 2016) y el DEM SRTM. A partir de ellos, se cuantificaron áreas de inundación permanente e intermitente.

Resultados y discusión

Tras el análisis y cuantificación de las áreas de agua permanentes, se obtuvo un total de cuerpos de agua de 2475, 1769 y 3572 para las cuencas de Arrecifes, arroyo de Las Flores y Quequén Salado, respectivamente. La cuenca del río Quequén Salado presentó el mayor área media, alcanzando los 5671 km² de extensión así como también mostró la mayor área máxima, con 2,69 km². En cuanto a las formas predominantes, tras el cálculo del DLC se obtuvo un predominio de formas semi-circulares en la cuenca del río Arrecifes mientras que, en las dos cuencas restantes, predominaron las lagunas circulares. Estos aspectos, en relación a las interpretaciones realizadas por Timms (1992), indicarían el origen eólico de las cubetas. Por su parte, las formas triangulares y elípticas mostraron un origen vinculado al valle de los ríos, mayormente en la cuenca del río Arrecifes (figura N° 2).

Figura Nº 2. Desarrollo de la Línea de Costa (DLC) para las lagunas permanentes ($R = 100$ %) de cada una de las cuencas analizadas.

a. Cuenca del río Arrecifes; b. cuenca del arroyo de Las Flores y c. cuenca del río Quequén Salado.



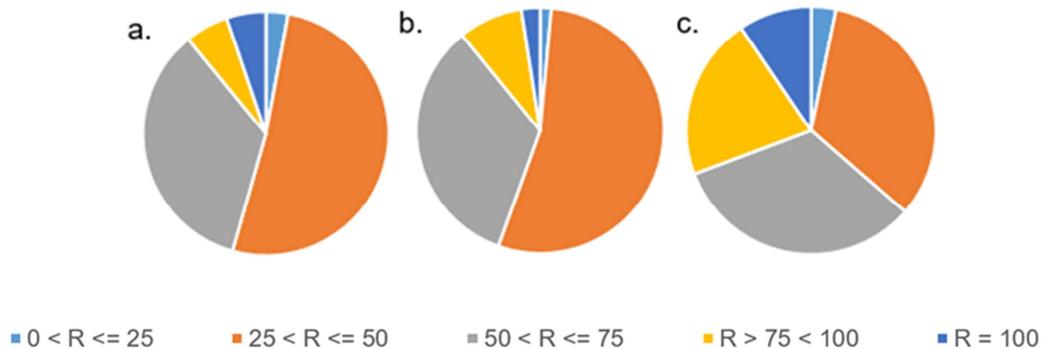
Fuente: elaboración propia

Tras la incorporación de los mapas de vectores correspondientes a las cuencas hidrográficas (Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, 2017) al SIG se obtuvieron las áreas y porcentajes correspondientes a las distintas categorías de recurrencia (R) de agua, estacionalidad (E) y máxima extensión (ME) de agua. Como resultado del análisis de la R en cada unidad hidrográfica, se registró que la cuenca del río Arrecifes superó el 99 % del área con 0 % de R , sobre el total de área de la cuenca. La recurrencia de agua se analizó en las siguientes categorías: Recurrencia (R) = 0 %, $0 < R \leq 25$, $25 < R \leq 50$, $50 < R \leq 75$, $75 < R < 100$ y $R = 100$ (figura Nº 3).

La categoría de R entre 25 y 50 % fue la más representada en las cuencas del río Arrecifes y del Arroyo de las Flores (figura Nº 1). En tanto, la cuenca del río Quequén Salado presentó mayor R , entre el 50 y 75 %. En cuanto a las aguas permanentes ($R = 100$ %), la cuenca del río Quequén Salado fue la que presentó mayor porcentaje (0,20 %) (figura Nº 2).

Figura Nº 3. Recurrencia de agua en las cuencas analizadas:

a) Arrecifes, b) De Las Flores y c) Quequén Salado



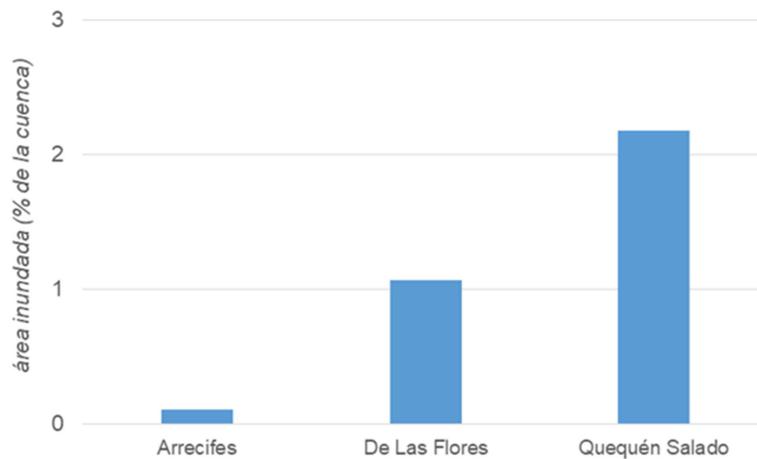
Fuente: elaboración propia

El set de datos de recurrencia obtenido de la GWS (Pekel et al., 2016) se utilizó para analizar la frecuencia con la cual el agua retorna anualmente (período 1984-2015), expresada en porcentaje.

El análisis de la E de las aguas superficiales, mostró los meses en los que se presentaron áreas cubiertas de agua, durante el período de un año (octubre 2014 – octubre 2015). En todos los casos, la estacionalidad de 0 mes fue la más representada, en concordancia con los valores hallados para la recurrencia anual ($R = 0\%$). Posteriormente, la estacionalidad de 1-2 meses fue la más representada en todas las cuencas analizadas.

En relación a la ME de agua detectada en el término de 32 años, la cuenca del río Quequén Salado mostró las mayores áreas, superando el 2 % de su área total. En cuanto a las restantes cuencas analizadas, las áreas inundadas alcanzaron el 1 % y fueron inferiores al 0,20 % en las cuencas del arroyo De Las Flores y del río Arrecifes, respectivamente (figura Nº 4).

Figura N° 4. Porcentaje de área ocupada por agua durante 32 años analizados (período 1984-2015), según cuenca analizada



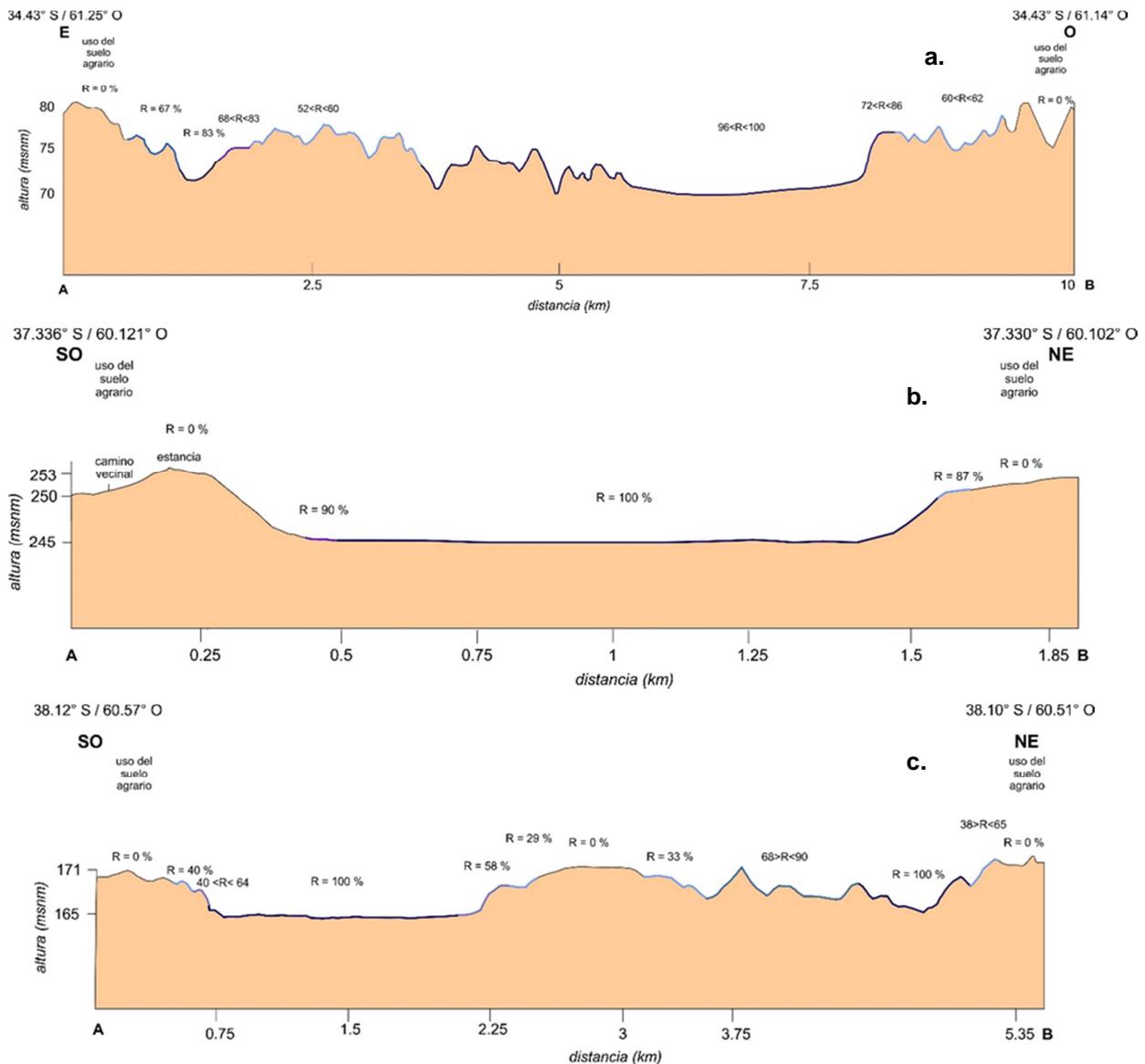
Fuente: elaboración propia

El set de datos de extensión máxima de agua GWS (Pekel, J., et al., 2016) se utilizó para analizar la máxima extensión (ME) de área cubierta por agua, expresada en porcentaje del área total de la cuenca.

Esquemas y mapas de inundación. Relación entre la topografía y la recurrencia del agua

Para la elaboración de los esquemas de inundación, se seleccionaron 3 áreas de agua permanente, una de cada cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta su extensión areal. En ellos se integró información de R del agua, topografía y de uso del suelo. El primero de los esquemas, presenta una longitud de 10 km, en dirección E – O y se localiza en la cuenca del río Arrecifes (figuras N° 1 y N° 5). A lo largo del perfil, el cual muestra una amplitud del relieve escasa (10 m) y una energía del relieve baja, fue posible observar que las áreas con porcentajes más altos de R coincidieron con las áreas topográficamente más bajas. A partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth) se determinó que el uso del suelo del entorno es agrícola – ganadero. El área inundada en forma permanente (R = 100 %) abarcó aproximadamente 4 km-, mientras que si se consideran toda la longitud afectada por agua (en diferentes porcentajes de R), la misma se incrementa a 9 km, aproximadamente (figura N° 5.a).

Figura Nº 5. Esquemas de inundación a lo largo de un perfil topográfico, en relación a porcentajes de R (se discriminan por color sobre el perfil)



Fuente: elaboración propia

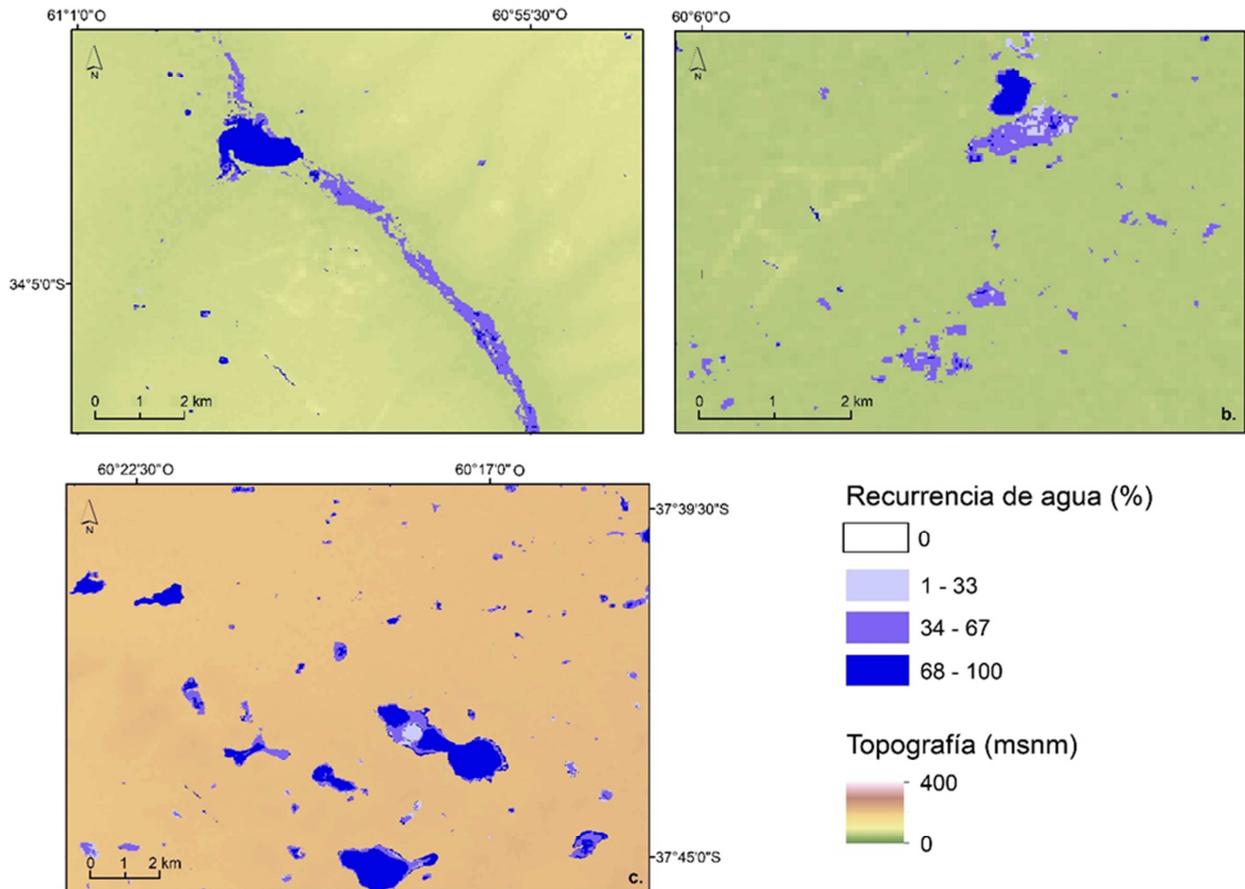
a. Cuenca del río Arrecifes; b. Cuenca del arroyo de Las Flores y c. Cuenca del río Quequén Salado. Escala vertical exagerada = 1 (de un rango de 0.01 a 3). Elaborado sobre la base de datos de GWS (Pekel, J. et al., 2016) e imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth).

El esquema correspondiente a la cuenca del arroyo de Las Flores (figura Nº 5.b) se extendió a lo largo de 1,85 km. La energía del relieve en el perfil es baja y la amplitud no alcanzó los 10 m. Aproximadamente, 1,30 km de longitud fueron afectados por una R del 100%, mientras que una longitud inferior a 0,5 km fue afectada por una R entre 87 y 90 %.

Las zonas topográficamente más altas del perfil presentaron ocupación humana (estancias) y uso del suelo agrario (figura N° 5.b). Por último, el perfil correspondiente a la cuenca del Río Quequén Salado (figura N° 5.c), se extendió a lo largo de 5,35 km. La energía del relieve fue moderada en relación a los perfiles descritos anteriormente mientras que la amplitud, fue baja (~ 6 m). En este caso, el perfil se realizó sobre un área inundada en forma permanente de forma semicircular a elíptica, por lo que se detectó $R = 100\%$ en dos tramos del perfil (figura 5.c). Dichas zonas fueron las más bajas desde el punto de vista topográfico. Sin embargo y, en respuesta a la escasa energía del relieve antes mencionada, los niveles de R fueron variables y se extendieron en la mayor parte del perfil. Las áreas con $R = 0\%$ presentaron uso del suelo agrario, al igual que en los casos anteriores y de acuerdo a lo descrito por Viglizzo et al. (2008) para esta región.

Por otra parte, como resultado de la confección de los mapas de inundación, se cuantificaron y se analizaron espacialmente las áreas de agua permanente e intermitente en cada una de las cuencas analizadas. A modo de ejemplo, se presentan sectores de cada una de ellas que muestran rasgos de su forma y distribución (figura N° 6). Tal como se ha mencionado anteriormente, en la cuenca del río Arrecifes la mayor recurrencia de agua surge como consecuencia del desborde de los ríos y arroyos. Ello trae como consecuencia la formación de lagunas con formas elípticas y triangulares (figura N° 6.a). En tanto, en las cuencas del arroyo de Las Flores y río Quequén Salado, predominaron las formas circulares (figura N° 6, b y c). En la última de ellas, el tamaño medio de las lagunas permanentes fue mayor en relación a las demás cuencas estudiadas.

Figura N° 6. Mapas de recurrencia de inundación



Fuente: elaboración propia sobre la base de la GWS database (Pekel et al., 2016).

A modo de ejemplo, se muestra un sector de cada una de las cuencas analizadas: a) Arrecifes, b) De Las Flores, c) Quequén Salado

En relación al área total inundada en forma permanente e intermitente, en la cuenca del río Arrecifes, se cuantificaron 7,55 y 137,71 km², respectivamente. Ello significó que un 1,39 % del área total de la cuenca, es inundable (tabla N° 1). En cuanto a la cuenca del arroyo de Las Flores, dicho porcentaje alcanzó el 2,80 % mientras que, para la cuenca del río Quequén Salado, el porcentaje fue mayor, del 2,14 % (tabla N° 1). Desde el punto de vista de su distribución espacial, el mayor desarrollo de lagunas en la cuenca de Arrecifes se detectó al NE de la misma, en relación al curso del río homónimo. En cuanto a las restantes dos cuencas, la mayor densidad de lagunas se observó en el N (De Las Flores) y NO y SE (Quequén Salado).

Tabla N° 1. Área total inundada (permanente e intermitente)

Cuenca hidrográfica	Área inundada (km ²)		% del área total de la cuenca	
	Permanente (R = 100 %)	Intermitente (1 < R < 100 %)	Permanente (R = 100 %)	Intermitente (1 < R < 100 %)
Arrecifes	7,55	137,71	0,07	1,32
De Las Flores	11,68	465,95	0,07	2,73
Quequén Salado	20,26	193,46	0,20	1,94

Fuente: elaboración propia, calculada sobre la base de datos de recurrencia (Pekel et al., 2016), según cuenca hidrográfica

Conclusiones

En relación a la recurrencia del agua, las proporciones de los porcentajes de cada una de las categorías fueron similares entre las cuencas del río Arrecifes y del arroyo de Las Flores. En dichos casos, las categorías más representadas espacialmente fueron las de $25 < R \leq 50$ y $50 < R \leq 75$, lo cual fue considerado un alto nivel de recurrencia. Es por ello, que la similitud entre patrones podría estar dada por la localización de ambas cuencas por encima de los 800 mm/año de precipitación. En tanto, la cuenca del río Quequén Salado presentó mayor recurrencia, lo cual se relaciona con la mayor densidad de cuerpos de agua cuantificados en el presente trabajo y el desarrollo de suelos arcillosos en su nivel superior, tal como lo enunciaron Marini y Piccolo (2005).

En cuanto a la estacionalidad del agua, los patrones fueron homogéneos entre cuencas y no indicaron influencia del gradiente de precipitación en la estacionalidad del agua.

La elaboración de esquemas y mapas de inundación permitió mostrar la importancia del análisis de la recurrencia de agua no sólo en su carácter permanente. En todos los casos, el área afectada por agua de manera estacional superó ampliamente (tabla N° 1) al área inundada en forma permanente. Este último aspecto es de fundamental importancia para los organismos de planeamiento así como también para los productores agropecuarios de la región. Es por ello que, tras los resultados obtenidos, es posible confirmar y alentar la importancia del análisis del fenómeno de las inundaciones teniendo en cuenta no sólo las áreas de inundación permanente sino también aquellas de carácter intermitente. Asimismo,

se consideró relevante el estudio multitemporal del fenómeno y a una escala regional. Al respecto, el análisis de datos satelitales en complemento con datos topográficos y en un entorno SIG, se presentan como una herramienta valiosa y eficaz para el mencionado análisis.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección Provincial de Obras hidráulicas (Argentina), Universidad Nacional del Sur, CONICET, CONAE, USGS, IGN, INTA, IAI y Proyecto SAFER.

Referencias bibliográficas

- Adrian, R., O'Reilly, C.M., Zagarese, H.E., Baines, S.B., Hessen, D.O., Keller, W. et al. (2009). Lakes as Sentinels of Climate Change. *Limnology and Oceanography*, 54 (6, part 2), 2283–97.
- Aliaga, V.S., Bohn, V.Y., Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E. (2014). Efecto de la precipitación sobre la dinámica hidrológica de las lagunas de la cuenca inferior del río Colorado (Período 1981-2012). *Biología Acuática*, 30, 5-15
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F. y Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *Int. J. Climatol*, 37, 1237–1247
- Canziani G., Ferrati, R., Marinelli, C. y Dukatz, F. (2008). Artificial neural networks and remote sensing in the analysis of the highly variable Pampean shallow lakes. *Math Bioscience Engineering*, 5, 691-711.
- Carol, E., Braga, F., Donnici, S., Kruse, E. y Tosib, L. (2017). The hydrologic landscape of the Ajó coastal plain, Argentina: An assessment of human-induced changes. *Anthropocene*, 18, 1-14.
- Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires, en *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires, La Plata, Capítulo XIII, 219-235.
- Gabellone, N., Solari, N., Casco, M.A., Claps, M.A. (2013). Conservación del plancton y protección de las cuencas hídricas. El caso de la Cuenca Inferior del Río del Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Especial de Aguas AUGMDOMUS*: 100-119. Asociación de Universidades Grupo Montevideo ISSN: 1852-2181
- Kruse, E. y Laurencena, P. (2005). Aguas superficiales: Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento, en *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino - Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*, 313 – 326. La Plata, Argentina.
- Lehner, B. y Döll, P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296 (1-4), 1-22.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Hernichs, T. y Kaspar, F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75: 273–299

- López, S, Rodríguez, A, Rodríguez, M. (2003). Modelado Hidrológico de la Cuenca del Río Salado, Buenos Aires, Argentina. Implementación de un SIG. (Etapa I) *Sistemas & Información Global*.
- Ma, R., Yang, G., Duan, H., Jiang, J., Wang, S., Feng, X., et al. (2011). China's lakes at present: Number, area and spatial distribution. *Science China. Earth Sciences*, 54, 2, 283–289
- Marini, M. y Piccolo, M.C. (2005). Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 37, 59-71.
- Olivera Acosta, J., Morales, G., García Rivero, A., Salgado, E., López, M., Estrada, R., et al. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios peligrosos de inundaciones en cuencas fluviales. Estudio de caso cuenca Guanabo, ciudad de La Habana. En: *X Congreso cubano de Informática y Geociencias*. La Habana, Cuba.
- Pekel, J.F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A.S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422.
- Popolizio, E. (1981). *La geomorfología como base para los estudios de planeamiento de los recursos hídricos en el nordeste argentino*. Serie C- Investigación Tomo 16 N° 3. Centro de Geociencias Aplicadas de la Universidad Nacional del Nordeste, 1-16.
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las Innovaciones tecnológicas. *Doc. Anàl. Geogr.* 43 pp.
- Scarpati, O. y Capriolo, A.D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82, 38-51.
- Timms, B. (1992). *Lake geomorphology*. Adelaide: Gleneagles Publishing.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. y Lopez-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration, Index, *Journal of Climate*, 23/7, 1696-1718.
- Viglizzo, E.F., Jóbbagy, E.G., Carreño, L.V., Frank, F.C., Aragon R. De Oro, L. y Salvador, V.S. (2008). The dynamics of cultivation and floods in arable lands of central Argentina. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 5, 2319–2345.