

1

Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas

Antonela Volonté¹ y Verónica Gil²

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Universidad Nacional del Sur

@ [antonela.volonte@uns.edu.ar] | [verogil@uns.edu.ar]

RECIBIDO: 26-11-2018

ACEPTADO: 20-03-2019

Cita sugerida: Antonela Volonté y Verónica Gil (2019). Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas. Revista *Huellas* Volumen 23, Nº 1, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Recuperado a partir de: <http://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas>

DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2019-2302>

Resumen

El aporte de la hidrogeomorfología histórica en áreas carentes de información hidrográfica y estudios geomorfológicos confiables resulta una herramienta interesante y complementaria para delimitar espacios potencialmente inundables. El objetivo de este trabajo es determinar áreas inundables desde el enfoque hidrogeomorfológico histórico. Como unidad de análisis se toma la cuenca del arroyo San Bernardo que se encuentra en el sistema serrano de Ventania, Buenos Aires (Argentina). Se utiliza

1 Becaria posdoctoral de CONICET. Doctora en Geografía por la Universidad Nacional del Sur. Auxiliar de docencia en el Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur en las cátedras Introducción a la Geografía y Didáctica y Práctica de la Geografía.

2 Profesora Adjunta en el Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur en las cátedras Climatología, Hidrografía Continental y Marina y Geografía Física. Investigadora Adjunta de CONICET.

El presente trabajo se desarrolló en el marco de los siguientes proyectos de investigación: “*Geografía Física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diferentes escalas témporo-espaciales*”, financiado por la SGCyT (24/G078) y dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y “*Riesgo de inundación asociado a eventos hidrometeorológicos en cuencas de vertientes opuestas del cordón Sierra de la Ventana*”. Financiado por AGENCIA – FONCyT (2016/2751) y Dirigido por la Dra. Verónica Gil.

una metodología basada en diferentes métodos y técnicas (hidrográficas, geomorfológicas, biogeográficas), que al complementarlos permiten la zonificación de la llanura de inundación. Los eventos de crecidas que se producen en esta área están ligados a eventos de precipitaciones torrenciales. Las consecuencias implican daños materiales, pérdidas de infraestructura y en algunos casos hasta víctimas mortales.

Palabras clave: Hidrogeomorfología; crecidas; áreas inundables.

Contributions of historical hydrogeomorphology
to determine floodable areas from extreme flood events

Abstract

The contribution of historical hydrogeomorphology in areas lacking hydrographic information or reliable geomorphological studies represents an interesting complementary tool to delimit potentially floodable spaces. This work aims at determining floodable areas through the historical hydrogeomorphological approach. The unit of analysis taken is the San Bernardo stream basin which is located in the mountain range system of Ventania, Buenos Aires (Argentina). The methodology used is based on different methods and techniques (hydrographic, geomorphologic, biogeographic) which, by complementing one another, allow for the zoning of the flood plain. The flooding events occurring in this area are linked to torrential rainfall events. The consequences range from material damage, to loss of infrastructure and even fatalities, in some cases.

Key words: hydrogeomorphology; flooding events; floodable areas.

Contribuições da hidrogeomorfologia histórica na determinação de
áreas inundáveis a partir de eventos extremos de cheias

Resumo

A contribuição da hidrogeomorfologia histórica em áreas carentes de informação hidrográfica e estudos geomorfológicos confiáveis resulta uma ferramenta interessante e complementar para delimitar espaços potencialmente inundáveis. O objetivo deste trabalho é determinar áreas inundáveis a partir do enfoque hidrogeomorfológico histórico. Como unidade de análise considera-se a bacia do arroio San Bernardo que se localiza no sistema serrano de Ventania, em Buenos Aires (Argentina). Utiliza-se uma metodologia baseada em diferentes métodos e técnicas (hidrográficas, geomorfológicas, biogeográficas) que quando completas permitem determinar a zona da planície de inundação. Os eventos de cheias que se produzem nesta área estão conectados a eventos de precipitações torrenciais. As consequências implicam danos materiais, perda de infraestrutura e em alguns casos vítimas fatais.

Palavras-Chave: Hidrogeomorfologia; Cheias; Áreas inundáveis.

Introducción

La hidrogeomorfología forma parte de la evolución reciente de la geomorfología fluvial y sus métodos son abordados desde la Geografía así como desde otras ciencias. Estudia el funcionamiento natural de los ríos mediante el análisis de las relaciones entre procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos (Garry, Ballais y Masson, 2002; Gutiérrez Elorza, 2008). Comenzó a utilizarse en la década de 1980 principalmente por geomorfólogos y en la década de 1990 se empezó a utilizar como un método de diagnóstico de áreas inundables para su prevención y mapeo. En los últimos 25 años han surgido trabajos que han retomado estos métodos tradicionales y los han renovado enfocándolos hacia su aplicación a diferentes espacios (Leopold, Gordon y Miller, 1995; Bravard y Petit, 1997; Thorne, 1998; Knighton, 1998; Senciales González, 1999, Garry *et al.*, 2002; García Martínez y Baena Escudero, 2008, Bravard y Malavoi, 2010; Escorza, 2011; Ibisate, Ollero y Díaz, 2011; Conesa García y Pérez Cutillas, 2014; Ollero Ojeda, Ballarin Ferrer y Mur, 2015; Speggorin de Oliveira Morais, 2018). Actualmente el método hidrogeomorfológico permite identificar unidades espaciales homogéneas en función de su geomorfología y del comportamiento hidrográfico, para ello requiere del uso sistemático de la microtopografía y de la sedimentología. Esta precisión es necesaria principalmente para la elaboración de cartografía de detalle (Ballais, Chave, Delorme y Espósito, 2007; Ballais, Chave, Delorme y Espósito, 2011).

En Francia el método hidrogeomorfológico es utilizado por los organismos públicos para la realización de los atlas de las zonas inundables ya que proporciona información sobre el funcionamiento natural de los cursos de agua. Generalmente se complementa con un estudio histórico de inundaciones y se puede utilizar como herramienta principal o preliminar y complementaria del estudio hidráulico cuando es necesario cuantificar el riesgo de inundación en el marco de la elaboración de un plan de gestión. Otro de los usos actuales está relacionado con diagnósticos a nivel municipal o intermunicipal para definir zonas de inundación y delimitar unidades naturales en un territorio determinado, proporcionando una orientación en la implementación de futuras urbanizaciones de acuerdo al riesgo de inundación (Ballais *et al.*, 2007).

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas, de uso del suelo, etc. Esto

impone la necesidad de individualizar estos aspectos particulares para integrarlos luego en sus conjuntos naturales y evaluar los resultados concretos del comportamiento de la cuenca (Sheng, 1992). La interpretación de los sistemas fluviales, desde el punto de vista de la Hidrogeomorfología se basa en tres principios. Por un lado, que los sistemas fluviales son dinámicos (1), los cambios en dicha morfología ocurren en escalas de tiempo relativamente breves debido a la erosión o depositación. Los cambios en los sistemas fluviales son complejos (2), las respuestas del sistema a cambios en las variables externas pueden ser previstas, pero frecuentemente es imposible predecir en forma precisa su naturaleza. Por último, un cambio gradual de una variable externa puede producir un cambio drástico del sistema fluvial (3), siendo uno de los problemas más críticos determinar las condiciones externas límites que causan modificaciones significativas en el sistema (Niño, 2004).

El objetivo de este trabajo es determinar áreas inundables producto de eventos de precipitaciones torrenciales abordándolo desde un enfoque hidrogeomorfológico histórico. Como cuenca de aplicación se toma la cuenca del arroyo San Bernardo que se encuentra en el Sistema serrano de Ventania, Buenos Aires (Argentina). Los eventos de crecidas que se producen en esta área son repentinos y están asociados a eventos de precipitaciones extrema. Las consecuencias implican daños materiales, pérdidas de infraestructura y en algunos casos hasta víctimas mortales. Elaborar una cartografía donde queden explícitas estas áreas resulta un instrumento imprescindible en la gestión integral de las crecidas. El uso combinado de diferentes métodos (estadísticos, hidrometeorológicos, hidráulicos, cartográficos y geomorfológicos) constituye una vía de aproximación al problema que ayuda a superar la carencia de información hidrológica.

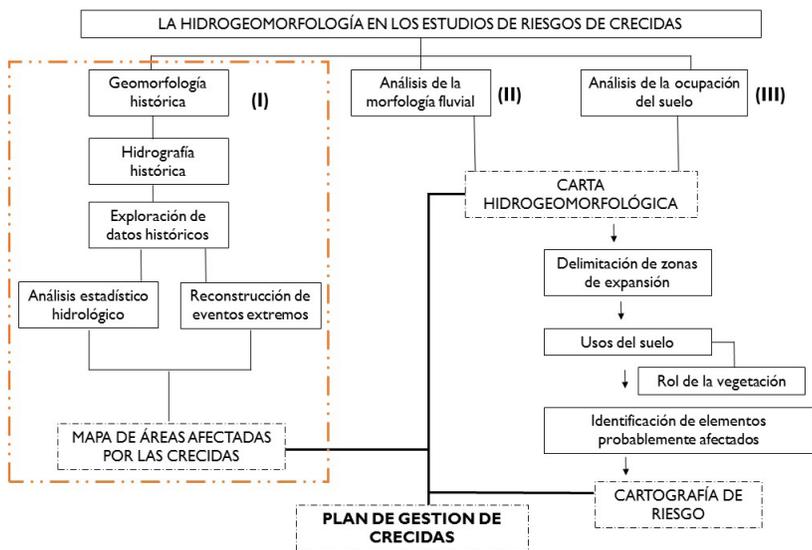
Materiales y métodos

Lo métodos hidrogeomorfológicos combinan métodos biogeográficos, geomorfológicos, históricos e hidrográficos. La hidrogeomorfología ofrece una visión basada en evidencias reales las cuales permiten zonificar la llanura de inundación y tener en cuenta aspectos que exceden a la parte hidrográfica como lo son los efectos de la carga sedimentaria de fondo y los cambios en el trazado del cauce principal. Esto combinado con métodos históricos sobre inundaciones o crecidas posibilita realizar validaciones y así los resultados adquieren mayor viabilidad. Los métodos hidrográficos permiten estimar caudales, delimitar la profundidad y velocidad de la corriente de agua, ya sea a través de un análisis estadístico de los datos como realizando modelos y/o estimándolo. El aporte que realizan los métodos

biogeográficos está asociado a la distribución de la vegetación y a las características y funciones de la vegetación ribereña (Marquínez, Lastra y Fernández, 2006; Díez Herrero, Laín Huerta y Llorente, 2008). Estos grandes grupos de métodos no son excluyentes, al contrario, es recomendable aplicarlos de manera integrada y complementaria.

Los diferentes métodos enunciados previamente se pueden agrupar en 3 grandes grupos según Ballais *et al.* (2011). Por un lado, aquellos que corresponden a (I) la geomorfología e hidrografía histórica. En esta etapa se deben explorar los datos históricos correspondientes al análisis hidrológico, la reconstrucción de eventos y datos hidrogeomorfológicos. En una segunda etapa es importante realizar el (II) análisis morfológico junto con la (III) ocupación del suelo. Producto de estas dos últimas etapas se obtiene el mapa hidrogeomorfológico, que permite la delimitación de zonas expansión, la tipología de la ocupación de suelos y la identificación de elementos que posiblemente sean afectados entre otras variables para obtener como producto final la cartografía de riesgo (Figura N°1).

Figura N° 1. Esquema metodológico para el abordaje de las crecidas desde la Hidrogeomorfología.



Fuente: elaborado por las autoras sobre la base de Ballais *et al.*, 2011.

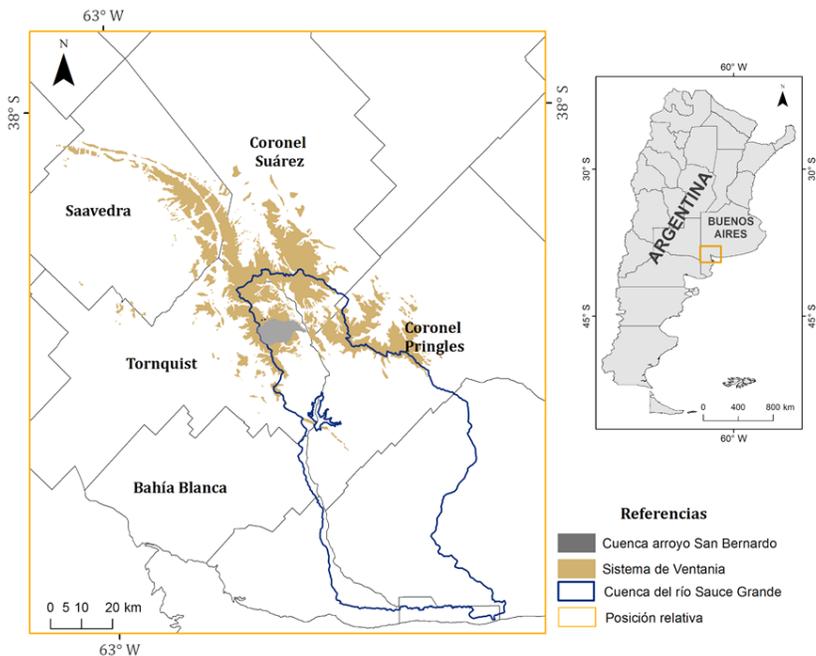
En este trabajo se va a aplicar la primera etapa metodológica (recuadro de la figura N° 1), la cual implica el conocimiento básico del sistema, incluyendo los aspectos geomorfológicos e hidrográficos históricos. Se analizan

los eventos de precipitaciones que generaron el desborde del curso principal afectando de manera directa o indirecta a la población. Para espacializar estas afectaciones se elabora una cartografía con las áreas y sitios de relevancia afectados por las crecidas.

Área de estudio: cuenca de aplicación arroyo San Bernardo

La cuenca del río Sauce Grande se encuentra localizada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Nace en el cordón de Ventana, drena las laderas de la vertiente este y recibe en su trayecto varios afluentes del cordón de las Tunas y Pillahuincó por su margen izquierda y del cordón de Sierra de la Ventana por la margen derecha. La combinación de factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica fluvial de otras cuencas y cuencas vecinas (Gil, 2010). El arroyo San Bernardo es uno de los principales tributarios del río Sauce Grande y confluye en cercanías de la localidad turística de Sierra de la Ventana (Figura N° 2). Su cuenca tiene un área de 82 km² y nace en las

Figura N° 2. Área de estudio: cuenca del arroyo San Bernardo



Fuente: elaborado por las autoras.

laderas orientales del cordón de Sierra de la Ventana. Este arroyo es uno de los principales tributarios del río Sauce Grande y confluye en cercanías de la localidad turística de Sierra de la Ventana. En el área perteneciente a la cuenca se observan espacios de uso rural sobre los valles y de uso urbano en los sectores de las márgenes de los ríos.

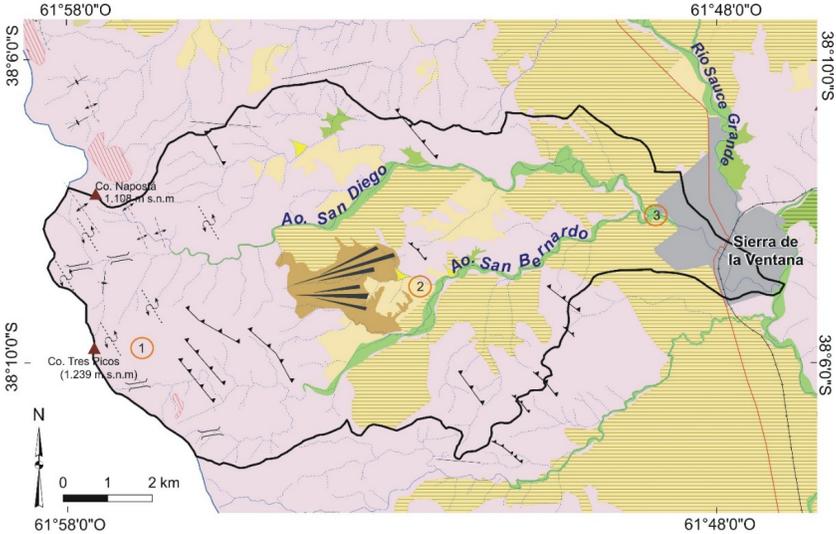
Climáticamente, el área está comprendida en la franja de climas templados, con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados. En esta zona donde existe una alternancia permanente de masas de aire de distinta índole, la característica esencial es la variabilidad en las condiciones de tiempo, hecho que se pone de manifiesto en todas las estaciones del año (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Las precipitaciones varían temporal y espacialmente. A su vez, la ocurrencia de las precipitaciones también se ve influenciada por fenómenos meteorológicos a escala global los cuales contribuyen a las fluctuaciones periódicas en el monto de las precipitaciones (Deschamps, Otero y Tonni, 2003; Zapperi, Casado, Gil y Campo, 2006; Zapperi, Ramos, Gil y Campo, 2007; Gil, Gentili, Zapperi, Casado, y Campo, 2008; Zapperi, 2012; Gentili y Gil, 2013; Ferrel y Aliaga, 2015).

Resultados

Geomorfología. Geomorfológicamente, las unidades que se destacan son el “macizo antiguo plegado” (MAP) y las “acumulaciones aluviales” (Aa) (Figura N°3). Las rocas que componen el afloramiento del MAP pertenecen al Grupo Ventana (Segundo ciclo sedimentario - Andreis, Iñiguez, Lluch y Rodríguez, 1989) y al grupo Pillahuincó (Tercer ciclo sedimentario - Andreis *et al.*, 1989). El grupo Ventana se caracteriza por presentar una secuencia predominantemente cuarcítica. Los afloramientos se extienden desde el sector norte de las sierras de Puán y Pigüé, por la sierra de Bravard y de la Ventana, así como por los cordones de Lolén, Esmeralda y Mambacher. Con respecto al grupo Pillahuincó, los afloramientos se encuentran dispersos en la planicie que se extiende entre las sierras de la Ventana y las sierras de Tandil. Esta unidad presenta areniscas pardo-amarillentas del Plioceno, depósitos de rodados, sedimentos areno-arcillosos del Pampeano y sedimentos arcillo-arenosos del Postpampeano al Holoceno, finalmente los suelos modernos y el acarreo fluvial actual (Sellés Martínez, 2001).

En el área de estudio predominan geoformas como los *hogback* y crestas, ambas relacionadas con el ángulo de inclinación de los bancos que forman los flancos de los pliegues y con la erosión diferencial de los mismos. Como parte componente de las acumulaciones aluviales (Aa), se destacan los abanicos aluviales y las bajadas aluviales.

Figura N° 3. Mapa geomorfológico de la cuenca del arroyo San Bernardo



Referencias

Hidrografía

- Efímero
- Intermitente
- Sedimentos aluviales (en llanura inundable)

Morfoestructura

- Macizo antiguo plegado
- Cresta
- Clusé

Formas climáticas heredadas

- Superficies erosivas paleógenas
- Pedimentos
- Acumulaciones aluviales
- Acumulaciones aluviales (cultivadas)
- Bajada aluvial
- Conos aluviales

Elementos estructurales

- Plegue
- Anticlinal
- Fractura
- Salto
- ▲ Cerro (altura)

Elementos antropogénicos

- Ferrocarril
- Localidad
- Ruta
- Fotografía



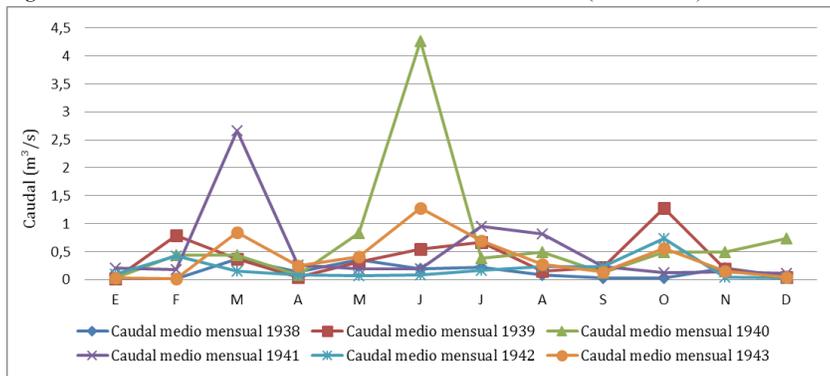
Fuente: Modificado de Gil (2010).

Los abanicos aluviales se construyen fundamentalmente en relación con las precipitaciones intensas y se forman en donde la corriente confinada cargada de sedimentos con fuerte pendiente y elevada capacidad de transporte ingresa en zonas más llanas con pendientes más suaves (Gómez Villar, 1996). En la cuenca estas geoformas son de baja frecuencia, la mayoría de los conos aluviales están estabilizados por la vegetación. Los abanicos se encuentran principalmente en sectores donde los cursos de orden 2 o 3 desembocan en otro mayor, con el consiguiente cambio de pendiente que determina la deposición del material sedimentario (Gil, 2010).

Las bajadas aluviales se encuentran en sectores cercanos a las sierras y se producen por la unión de conos aluviales contiguos distinguiéndose de las acumulaciones aluviales por su pendiente y posición. En algunos lugares se hallan cultivadas aprovechando el sistema de curvas de nivel vegetadas que retienen el escurrimiento. Las acumulaciones aluviales fueron rellenas en periodos secos con ausencia de actividad fluvial del sistema principal. Esta área es muy importante en la cuenca porque además de ocupar una superficie importante es el lugar donde se desarrollan las actividades agrícolas-ganaderas (Gil, 2010).

Caudales históricos. La cuenca del arroyo San Bernardo contó con una estación de aforo oficial en el periodo 1938-1943. A partir de los datos de las estadísticas hidrológicas para este periodo se hicieron gráficos comparativos de los caudales medios mensuales y medios anuales. En la figura N°4 se observa la distribución mensual de los valores medios para cada año. El otoño y primavera presentan los valores máximos en la mayor parte del año. En marzo y octubre se registraron los valores más importantes para el año 1941 y 1940. En 1938 y 1941 el mayor valor fue en el mes de marzo mientras que en 1939 y 1942 los mayores valores se presentaron en junio, seguido de marzo y octubre. El periodo de estiaje se produce en enero para todo el periodo analizado. El año con los mayores valores fue 1940 llegando a presentar en el mes de junio un caudal promedio de 4,26 m³/s. Los datos históricos se complementaron con información actualizada a partir de aforos con correntómetro. Estas mediciones arrojaron un caudal promedio de 0,7 m³/s.

Figura N° 4. Distribución mensual de los valores medios de caudal (1938 - 1943)



Fuente: elaborado por las autoras.

Reconstrucción de eventos extremos. De acuerdo al IPCC (2014:130) un fenómeno climático extremo es una media de una serie de fenómenos

meteorológicos en un período concreto. Para el área de estudio se consideran como eventos extremos a aquellas precipitaciones concentradas en un intervalo de tiempo inferior a las 6 horas que generan las crecidas de los cursos de agua. Las crecidas se diferencian en ordinarias o extraordinarias de acuerdo al tiempo de recurrencia. El concepto de crecida ordinaria hace referencia a aquella crecida que desborda el cauce y se establece estadísticamente asociándola a la frecuencia de aparición del caudal máximo. Según Ollero Ojeda (1997: 265) estas crecidas máximas suelen presentarse entre 2 y 7 años en regímenes no alterados y determinan el umbral a partir del cual los cauces se desbordan y el agua ocupa las márgenes de la llanura de inundación. Las máximas crecidas extraordinarias se definen en función de un tiempo de retorno de 50 años.

Cuadro N° 1. Principales crecidas en la cuenca del arroyo San Bernardo

Año	Características del evento	Consecuencias
2003 - Octubre	290 mm en el lapso de dos días.	Los desbordes e inundaciones se produjeron en varios sectores de la localidad de Sierra de la Ventana. El barrio San Bernardo fue evacuado.
2011 - Enero	220 mm registrados en las nacientes en un intervalo de dos horas.	Se debió evacuar a turistas que se encontraban en el balneario San Bernardo tras la repentina crecida. Estuvo cortado el tránsito en la ruta 72 sobre el puente que une la localidad de Saldungaray con Sierra de la Ventana. El arroyo San Bernardo desbordó 100 metros hacia ambos márgenes, superando las barandas del puente, arrastrando a su paso árboles enteros (Figura N° 5) El gran caudal también provocó que el agua pasara el puente del ferrocarril ubicado en las inmediaciones.
2014 – Abril	60 mm en dos horas	Las fuertes lluvias ocasionaron el corte de la ruta provincial 72 hacia Saldungaray, imposibilitando el paso vehicular por el puente ya que el agua cubría unos 200 metros hacia ambos márgenes de su curso natural.
2014 – Agosto	100 mm en seis horas	Las consecuencias se limitaron al corte temporal de la ruta provincial 72 por el desborde del arroyo.
2015 – Marzo	82 mm en dos horas	Esto provocó el desborde del arroyo San Bernardo e impidió la comunicación por ruta entre las localidades de Sierra de la Ventana y Saldungaray(Figura N°6).

Fuente: elaborado por las autoras.

En el cuadro N° 1 se pueden observar las crecidas más importantes desde el año 2011. Estos eventos se seleccionaron debido a que en estos últimos años ha aumentado la exposición productodel avance de la urbanización sobre la llanura de inundación, por lo tanto el desborde del canal principal ha traído consecuencias importantes a la población que allí se encuentra.

Figura N° 5. Desborde y crecida del arroyo San Bernardo (25/01/2011)



Fuente: fotografías de las autoras y Sierra de la Ventana (online).

Figura N° 6. Daños ocasionados por la crecida (17/03/2015)



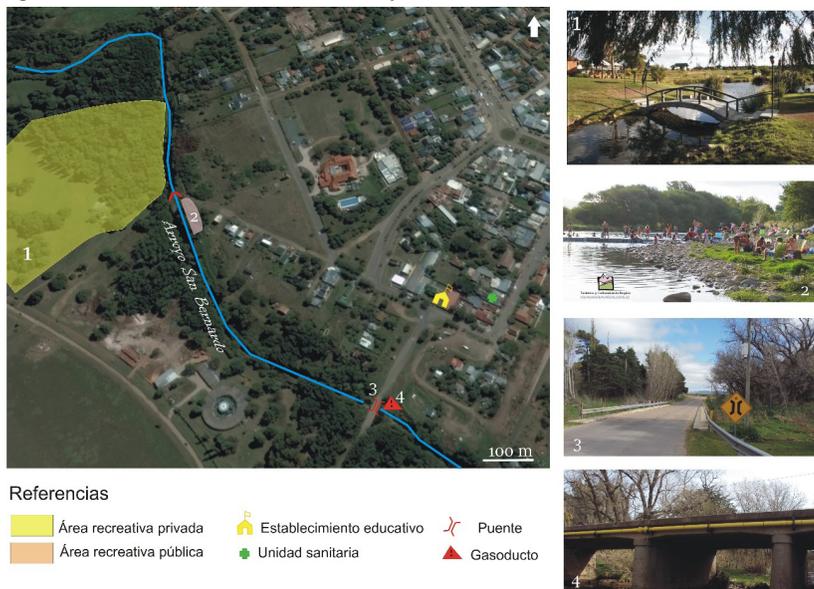
Fuente: fotografías de las autoras.

La exposición se refiere a la distribución de lo que es potencialmente afectable, la población y los bienes materiales que podrían ser destruidos, heridos o dañados. Se expresa territorialmente como construcción histórica que entrelaza los procesos físicos-naturales con las relaciones socio-económicas, configurando determinados usos de suelo, distribución de infraestructura, localización y tamaño de asentamientos humanos, presencia de

servicios públicos, etc. (Natenzon y Ríos, 2015). Asociado a este concepto se encuentra el de sitios esenciales, el cual es definido por D'Ercole y Metzger (2002) como aquellos lugares, elementos o espacios que son relevantes para el funcionamiento de un territorio y sin los cuales es posible que se generen retrocesos, disfuncionalidades y paralizaciones que repercuten en el bienestar y desarrollo del conjunto del territorio. La determinación de sitios esenciales es importante dado que hay tantos elementos en un territorio que se debe priorizar entre ellos para estar en capacidad de formular políticas de gestión de riesgo y enfocar acciones en el marco de la protección.

Como se pudo observar en el cuadro N°1 las consecuencias de las crecidas son principalmente materiales (daños en puentes, calles, infraestructura turística, etc.). De acuerdo a la localización de los daños producto de las últimas crecidas se determinaron los sitios esenciales en la cuenca baja (Figura N°7).

Figura N° 7. Sitios esenciales de la cuenca baja



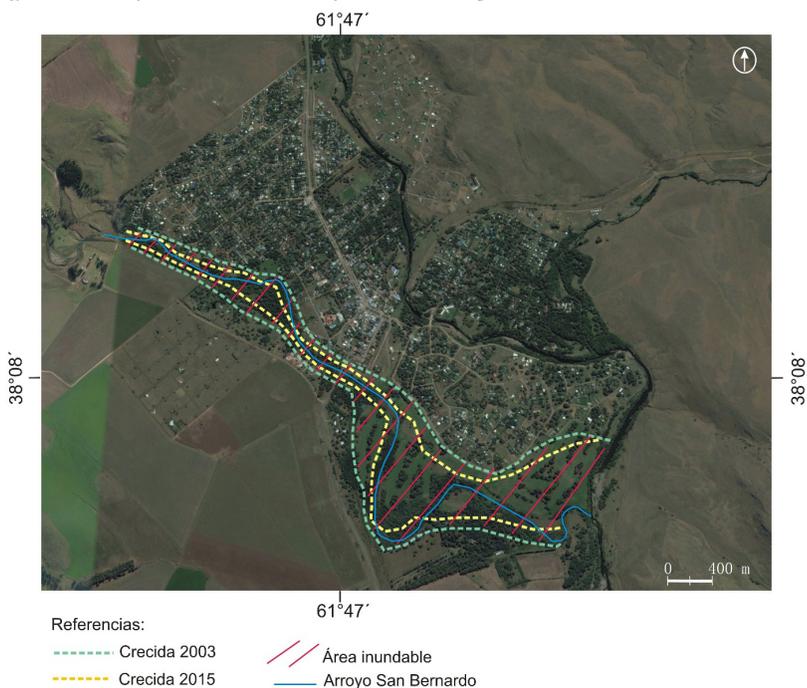
Fuente: elaborado por las autoras.

A nivel educativo, un sitio esencial es la escuela primaria y el jardín de infantes a los que asisten niños de Sierra de la Ventana y localidades próximas. A nivel sanitario, fue seleccionada la sala médica como principal institución de primeros auxilios de la localidad. El puente de acceso a Sierra de la Ventana, desde el sector sureste, se ve afectado de manera con-

secutiva por las crecidas y la localidad queda aislada, sin poder acceder a la escuela ni a la unidad sanitaria. Además el puente es un punto importante porque debajo se halla un gasoducto que representa un peligro por la carga sedimentaria que lleva el arroyo durante las crecidas.

A nivel recreativo existe un balneario municipal que se ve afectado de manera recurrente por las crecidas principalmente dañándose las mesas y bancos. En el ámbito privado, las viviendas y el área recreativa que se encuentran en la llanura de inundación ven afectado sus accesos y estructura edilicia. Conocer las afectaciones que se generan con las crecidas es un paso importante para la delimitación de áreas para la evaluación del peligro y la posterior generación de cartografía de riesgo.

Figura N° 8. Mapa de áreas inundables para la cuenca baja



Fuente: elaborado por las autoras.

Con la información obtenida a partir del análisis hidromorfológico histórico, los eventos de crecidas y la determinación de sitios esenciales se cartografiaron las áreas afectadas por las crecidas más importantes (2003 y 2015) como así también la ubicación geográfica de los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades.

El área inundable abarca la zona urbanizada, en la cual las viviendas están dentro de la llanura de inundación. También abarca el área del puente donde se localiza el gasoducto, que puede verse afectado por la carga que transporta el arroyo (bloques, troncos) durante las crecidas y representa un grave peligro para la población. También, esta área se encuentra sectores susceptibles de ser afectados por las crecidas pero sin que corra riesgo la vida humana.

Conclusiones

El aporte de la hidrogeomorfología histórica en áreas carentes de información hidrográfica y estudios geomorfológicos resulta una herramienta interesante para delimitar áreas inundables. La combinación de métodos históricos, hidrográficos y geomorfológicos permite realizar validaciones y que los resultados adquieran mayor viabilidad. Estos grandes grupos de métodos no son excluyentes, al contrario, se recomienda aplicarlos de manera integrada y complementaria.

A partir de la información recabada para la cuenca del arroyo San Bernardo se pudo delimitar la superficie ocupada por el agua durante las crecidas y se elaboró la cartografía específica. Determinar la ubicación de los elementos esenciales es fundamental, así como su espacialización al momento de elaborar la cartografía con fines aplicados.

Para lograr un abordaje integral del riesgo de crecidas es necesario continuar con la siguiente etapa metodológica, realizando en análisis morfológico y de ocupación del suelo para elaborar el mapa hidrogeomorfológico. Esta cartografía junto con el mapa de las áreas inundables, la delimitación de zonas expansión urbana, la tipología de la ocupación de suelos y la identificación de elementos esenciales permitirán obtener como producto final la cartografía de riesgo.

Referencias bibliográficas

- Andreis, R., Iniguez, A., Lluich, J. y Rodríguez, S. (1989). Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. En: Chebli, G. y Spalletti, L. (Eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas* (pp. 265-298). San Miguel de Tucumán, Argentina: Instituto Superior de Correlación Geológica.
- Ballais J. L., Chave S., Delorme V. y Esposito C. (2011). Le lit majeurexceptionnel: premier bilan. *Revue Géographique de l'Est*, 51 (3), 75-84.
- Ballais, J., Chave, S., Delorme, V. y Esposito, C. (2007). Hydrogéomorphologie et inondabilité. *Géographie physique et Quaternaire*, 61(1), 75-84.
- Bravard J.P. y Petit F. (1997). *Les cours d'eau: dynamique du système fluvial*. Paris, Francia: Édit. Armand Colin.
- Bravard, J. P. y Malavoi, J. (2010). *Elément sd'hydromorphologie fluviale appliquée*. Paris, Francia: ONEMA. Recuperado de: <http://www.onema.fr/hydromorphologie-fluviale>.
- Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A. y Díez, P. (2004). *El clima del Suroeste bonaerense*. Bahía Blanca, Argentina: Edius.
- Conesa García, C., y Pérez Cutillas, P. (2014). Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59 (1), 25-44.
- D'Ercole, R. y Metzger, P. (2002). *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador: Ed. AH.
- Deschamps, J. R.; Otero, O.; Tonni, E. P. (2003). *Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Belgrano.
- Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (2008). *Mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero.
- Escorza, C. (2011). Algunos rasgos de los meandros del río Ebro en su curso próximo a Calahorra. *Revista Kalakorikos*. 1(16), 307-317.
- Ferrel, F. y Aliaga, V. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la región pampeana, Argentina* (Tesis de especialización). Luján, Argentina.
- García Martínez, B. y Baena Escudero, R. (2008). El doble meandro abandonado del Guadalquivir en Cantillana (Sevilla). *Revista Geographica*, 1(53), 101-119. Recuperado de: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/52489>
- Garry, G.; Ballais, J. y Masson, M. (2002). La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 8 (1), 5-15.
- Gentili, J. O. y Gil, V. (2013). "Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina". *Revista Universitaria de Geografía*, 22 (2), 147-166.
- Gil, V. (2010). *Hidromorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Gil, V.; Gentili, J.O; Zapperi, P.A. Casado, A.L.; Campo, A. M. (2008). Aspectos geomorfológicos e hidrometeorológicos en cuencas serranas, Suroeste de la provincia de Buenos Aires. En: *Utilización de tecnología, Jornada SIG GIS Day*, Bahía Blanca, Argentina.
- Gómez Villar, A. (1996). "Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña". *Polígonos: Revista de geografía*, 2 (1), 187:198.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Ed. Prentice-Hall.
- Ibáñez, A., Ollero, A. y Díaz, E. (2011). Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats. *Revista Limnetica*, 30(2) 169-182. Recuperado de: www.limnetica.com/Limnetica/Limnetica30/L30b169_Catchment_processes_fluvial_morphology.pdf
- IPCC (2014). Anexo II: Glosario- En: Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.) *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (pp. 127-141). Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes. A new perspective*. Londres, Inglaterra: Arnold.
- Leopold, L. B., Gordon Wolman, M. y Miller, J.P. (1995). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Nueva York, Estados Unidos: Dover Publication.
- Marquínez, J., Lastra, J., Fernández, E. (2006). Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del Norte. En: Díez Herrero, A.; Laín huerta, L y Llorente Isidro, M. (Eds.), *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación* (pp. 125-141). Madrid, España: Instituto Geológico Minero de España.
- Natenson, C. y Ríos, D. (2015). *Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la Geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Imago.
- Niño, Y. (2004). *Hidráulica Fluvial y Transporte de Sedimentos*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Ollero Ojeda, A. (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico. Un planteamiento didáctico. *Lurralde: Investigaciones y Espacio*, (20), 261-283. Madrid, España: Instituto Geográfico Vasco Andrés de Urdaneta.
- Ollero Ojeda, A., Ballarín Ferrer, D., y Mora Mur, D. (2015). Cambios en elcauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. *Geographicalia*, (50), 87-109. Recuperado de: <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/article/view/1126/988>.
- Sellés Martínez, J. (2001). Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Journal of IberanGeology*, (27), 43-69. Recuperado de: <http://revistas.ucm.es/index.php/JIGE/article/view/JIGE0101110043A>
- Senciales González, J. M. (1999). *Redes fluviales. Metodología de análisis*. España: Universidad de Málaga.
- Sheng, T. C. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia: FAO.
- Speggorin De Olivera Morais, R. (2018). *Análise da Geomorfologia fluvial do Sistema Araguaia-Javaes a partir de sensoramento remoto* (tesis de grado). Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Brasil.
- Thorne, C. R. (1998). *Stream Reconnaissance Handbook: Geomorphological Investigation and Analysis of River Channels*. Londres: Inglaterra: Wiley.
- Zapperi, P. (2012). *Hidrografía urbana de Bahía Blanca* (tesis de doctorado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Zapperi, P., Casado, A., Gil, V., y Campo, A. (2006). Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense. *IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Zapperi, P.; Ramos, M.; Gil, V. y Campo, A. (2007). Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas*, 1 (2), 483-491.