

Redes de drenaje superficial a partir de Modelos Digitales de Elevación para determinar áreas críticas de evacuación ante eventos de inundación en la ciudad de Bahía Blanca ¹

Zapperi, Paula A.^{1,3}; Aldalur, Beatriz^{1,2}; Campo, Alicia M.^{1,3}; Jelinsky, Guillermo⁴ y Crisafulli, Marta⁵

1. Departamento de Geografía y Turismo – Universidad Nacional del Sur (UNS)
2. Departamento de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur (UNS)
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
4. Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
5. Autoridad del Agua – Provincia de Buenos Aires (ADA)

E-mail: paula.zapperi@uns.edu.ar

RESUMEN: La capacidad de respuesta ante la ocurrencia de inundaciones es un componente fundamental de los Sistemas de Alerta Temprana. El establecimiento de rutas de evacuación y su señalización constituyen puntos clave al momento de concientizar a la población en cuanto a su accionar durante la inundación de sus viviendas. Con el objetivo de generar cartografía sobre peligro hídrico superficial en Bahía Blanca y zonas periféricas se realizó un convenio entre la Autoridad Del Agua (ADA) y el Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur. La identificación de las principales líneas de escurrimiento constituye el punto de partida la identificación de zonas críticas para su evacuación durante eventos de inundación. Es por ello que el objetivo del trabajo fue delimitar las redes de escorrentía a partir de MDE obtenido de imágenes del SRTM30 (un arco segundo) en banda C. Se trabajó con versión de demostración del programa Global Mapper v15.1. Conjuntamente con la información altimétrica e hidrográfica se incorporaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) el tendido de desagües pluviales y red vial. Asimismo, se consultaron los registros obtenidos del monitoreo de los sectores afectados ante la ocurrencia de eventos de precipitación intensa. De la superposición de los distintos factores que influyen en el escurrimiento superficial se delimitaron las áreas que presentan mayor dificultad para la evacuación de población en caso de inundación. La baja pendiente y el tendido de las vías de ferrocarril junto con las rutas de circulación hacen de las zonas sur y central de la ciudad áreas críticas para su evacuación.

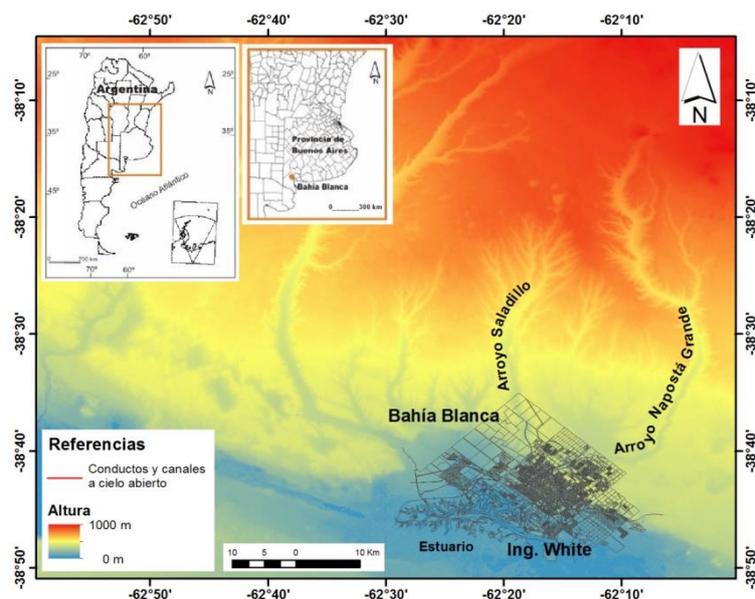
INTRODUCCIÓN

La capacidad de respuesta ante la ocurrencia de inundaciones es un componente fundamental de los Sistemas de Alerta Temprana. El establecimiento de rutas de evacuación y su señalización constituyen puntos clave al momento de concientizar a la población en cuanto a su accionar durante la inundación de sus viviendas. Para ello es imprescindible conocer las áreas inundables así como también las zonas vulnerables. Conocer los posibles escenarios ante precipitaciones extremas es esencial para organizar la protección de la población. Con el objetivo de generar cartografía sobre peligro hídrico superficial en Bahía Blanca y zonas periféricas

¹ El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación “*Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales*” dirigido por la Dra. Alicia M. Campo y subsidiado por la SGCyT-UNS (24/G067).

se realizó un convenio entre la Autoridad Del Agua (ADA) y el Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur. La identificación de las principales líneas de escurrimiento constituye el punto de partida del análisis de posibles vías de evacuación ante eventos de inundación. Es por ello que el objetivo del trabajo fue delimitar redes de esorrentía a partir del Modelo Digital de Superficie (MDS) obtenido de imágenes radar SRTM y su posterior actualización a un Modelo Digital de Elevación (MDE). La obtención y análisis de un MDE constituye una técnica fundamental para el estudio y delimitación de áreas inundables y conforma la base para la realización de un modelo de escurrimiento. Si bien un MDE es el origen de todas las modelaciones dependientes de la topografía, la utilidad y validez de los resultados derivados están estrechamente relacionadas con la calidad del modelo original (Presutti, 2009).

La ciudad de Bahía Blanca de aproximadamente 301.501 habitantes (INDEC, 2010) es cabecera del partido bonaerense del mismo nombre y está en el suroeste de la provincia de Buenos Aires a unos 5 km de la costa del estuario homónimo. Se ubica en la cuenca inferior del arroyo Napostá Grande cuyo curso atraviesa el interior de la misma. Esta cuenca hidrográfica tiene sus nacientes en la vertiente suroccidental del Sistema de Ventania y abarca una superficie total de 1.237 km² y 105 km de extensión (Torrero, 2005) (Figura 1).

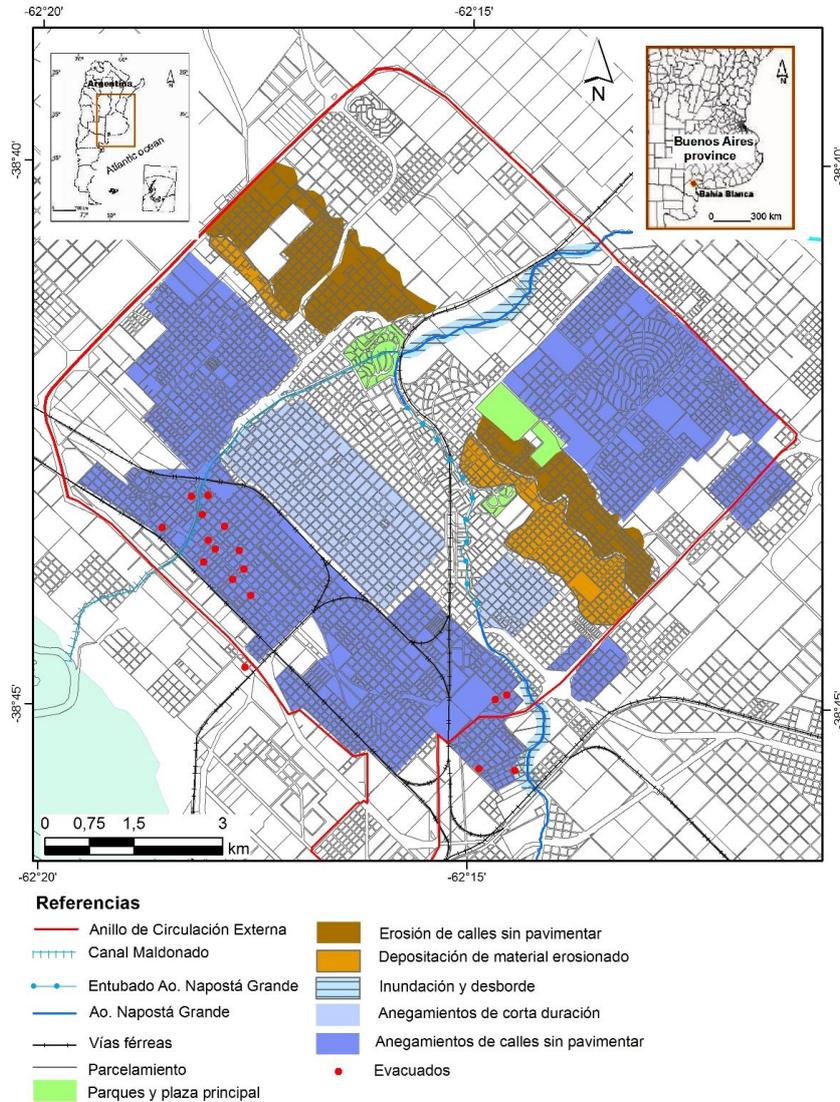


Fuente: Elaboración propia (2015) sobre la base de información de la imagen SRTM30 y Municipalidad de Bahía Blanca.

Figura 1.- Ubicación de la ciudad de Bahía Blanca e Ingeniero White.

Durante el período comprendido entre 1884 y 1944 la ciudad de Bahía Blanca sufrió varias inundaciones producto de las intensas lluvias que se produjeron en diferentes sectores de la cuenca del arroyo Napostá Grande Grande (La Nueva Provincia, 1944). En 1947 el gobierno provincial comenzó la canalización del partidor natural del arroyo, canal Maldonado, para permitir un escurrimiento más rápido del agua. En la década del ochenta se concretó el entubado de gran parte del tramo urbano del arroyo. Las posibilidades de evacuación de los excesos de aguas pluviales en la ciudad de Bahía Blanca presentan tres caminos: el arroyo Napostá Gande, el Canal Maldonado y la zona vinculada con el frente litoral Atlántico (Aldalur *et al.*, 2006). La ocurrencia de inundaciones y anegamientos en la ciudad no solo está asociada con su ubicación en la

cuenca inferior del mencionado arroyo sino que la topografía es otro elemento natural determinante. Si bien en el área predomina la llanura con microrrelieves escasamente perceptibles, se reconocen diferentes unidades geomorfológicas que también condicionan el escurrimiento. La figura 2 presenta la zonificación de los efectos derivados de 26 eventos de lluvia intensa ocurridos entre los meses de septiembre de 2008 y noviembre de 2011.



Fuente: Zapperi, P. (2012)

Figura 2.- Zonificación de las distintas consecuencias que generan las precipitaciones de intensidad en la ciudad de Bahía Blanca.

El centro de la ciudad cuenta en gran parte con tendidos de desagües pluviales por lo que luego alrededor 30 minutos de finalizada la lluvia la acumulación de agua comienza a disminuir. De lo contrario, en las calles sin pavimentar de la llanura aluvial del arroyo y de áreas de escasa pendiente, el escurrimiento del agua puede demorar más de un día y en algunos casos el tránsito debe interrumpirse. Esto a su vez se agrava por la presencia de rutas de acceso y vías férreas que contribuyen con el endicamiento del agua. Cabe aclarar que en este sector de la ciudad (sur-suroeste) es en donde el Personal de Defensa Civil realiza la mayor parte de

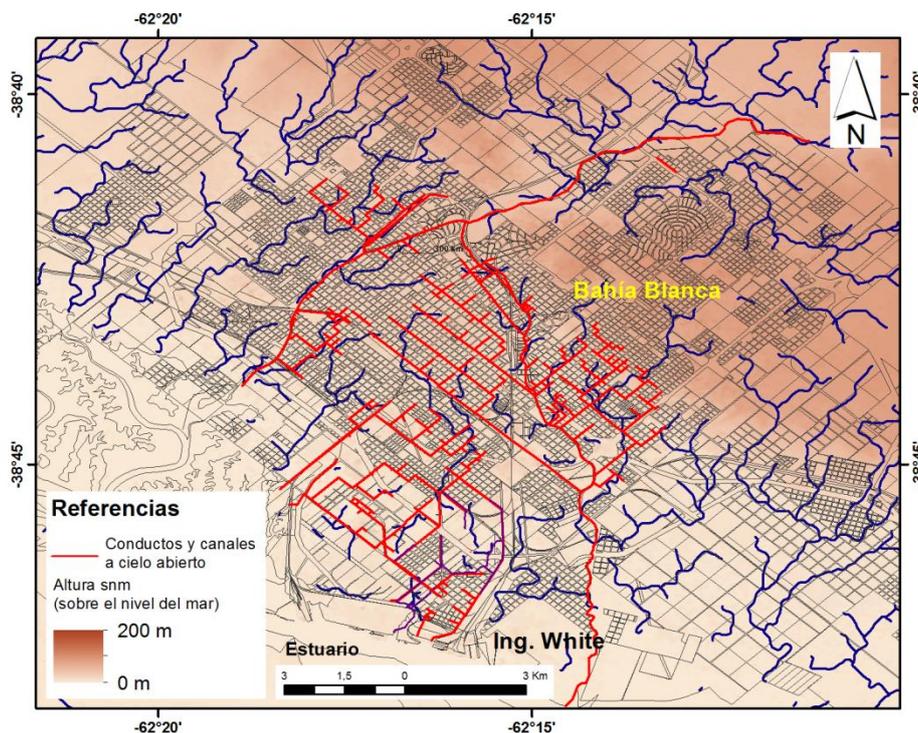
los operativos de asistencia a evacuados, que en muchos casos también se ven afectados por las crecidas del arroyo. Por otra parte, desde hace más de una década allí se ha dado un importante proceso de expansión comandado por la instalación de viviendas precarias que se deterioran fácilmente luego de las precipitaciones (Formiga y Garriz, 2000). Asimismo, la forma dispersa en que se extiende la ciudad, encarece el tendido de servicios y mantenimiento de las vías de circulación. De esta manera, en las calles sin pavimentar que se extienden sobre las zonas de mayor pendiente las lluvias fuertes generan procesos erosivos con la consecuente depositación del material removido en las calles descendentes. La acumulación de sedimentos no solo es un inconveniente para el tránsito vehicular sino que también obstaculiza la entrada del agua al sistema de desagües pluviales y se eleva el riesgo de inundación de las viviendas.

MÉTODOS Y MATERIALES

Se trabajó con la información altimétrica que ofrecen las imágenes del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 30 m de resolución. Las páginas web desde donde se obtuvieron las imágenes son: www.cgiar-csi.org y el sitio web del United States Geological Survey (USGS): <http://www.usgs.gov/>. Es importante destacar que las áreas con menor pendiente o pendiente baja son las que tienen menor error en la información de altura provista por el SRTM (Capachero Martínez *et al.*, 2014). Para corregir las imperfecciones del modelo producto de las funciones de interpolación en zonas conflictivas, se ejecutó la herramienta *Fill* de la aplicación de Hidrología del programa ArcGis 9.1. Como primera aproximación, se delimitaron líneas de drenaje sobre la base de la imagen del SRTM30. Para ello se trabajó con un demo del programa Global Mapper v15.1. La metodología empleada para la delimitación de cuencas de drenaje es el algoritmo 8 Direction que evalúa el punto de escurrimiento a través del valor de altura en las ocho direcciones de los píxeles linderos. El umbral de escurrimiento (*thershold*) que guio la delimitación de los drenajes fue el número de celdas con acumulación de flujo (*stream cell count*). Su valor se ajustó a la resolución y escala del modelo. Cuanto mayor es este valor, mayor cantidad de caudal se incorpora a las áreas a delimitar, lo que resulta en menor cantidad de cursos de agua o redes de drenaje. Luego de analizar varias opciones se eligió un valor de umbral de 100, dado que a partir del mismo se generaron las líneas de drenaje de mayor orden. La elección de un valor menor implicaba el agregado de pequeños cursos que dificultaban la identificación de la red en su conjunto. Las redes de drenaje obtenidas se superpusieron al tendido de canales de desagües pluviales y canales a cierto abierto dado que constituyen factores de influencia sobre en el escurrimiento fluvial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

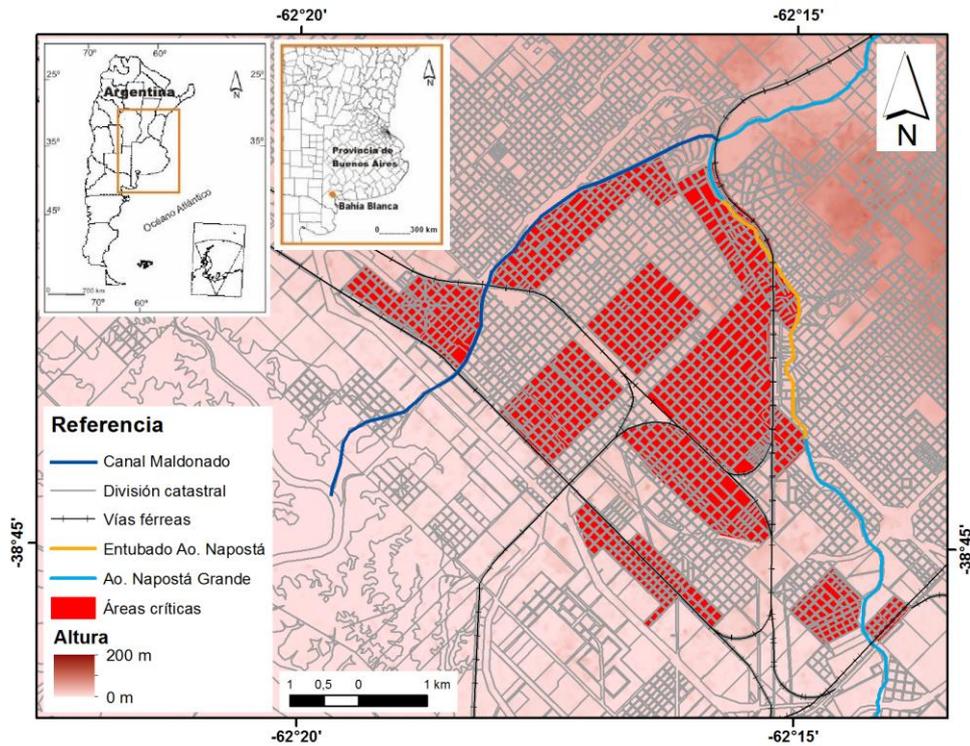
La Figura 3 muestra las redes de drenaje obtenidas sobre la base de la información altimétrica de las imágenes SRTM30. Se identifica una red que se estructura principalmente en función del arroyo Napostá Grande y del canal Maldonado. Sin embargo, también se identificaron cursos que escurren en sentido nortesur en zonas de menor pendiente y que no desembocan en los cursos principales. Es interesante destacar que para la zona central de la ciudad no se identifican líneas de escorrentía, lo que da muestra de la dificultad que presenta el agua para escurrir. Si bien el tendido de desagües compensa dicha limitación, este punto es importante al momento de planificar las vías que posibiliten la evacuación del sector en caso de inundaciones.



Fuente: Elaboración propia (2016) sobre la base de información altimétrica SRTM30 y división catastral de la Municipalidad de Bahía Blanca.

Figura 3.- Drenajes realizados sobre la base del SRTM30

A partir de la superposición de las líneas de drenaje, conductos y canales a cielo abierto y principales vías de circulación, se delimitaron las áreas que presentarían mayor dificultad para la evacuación de población en caso de inundación. Si bien dentro de la trama varios sectores quedan delimitados por líneas de escurrimiento, las zonas sur y central de la ciudad se presentan como las áreas críticas para su evacuación. Factores como la baja pendiente, la presencia del canal y arroyo junto con las vías de ferrocarril y rutas de circulación externa otorgan mayor dificultad al movimiento de la población en sentido opuesto al del escurrimiento y posterior acumulación del agua (Figura 4). Por otra parte, en el centro de la ciudad la falta de organización del drenaje sugiere cierta dificultad para evacuación. Hecho que estaría compensado por el tendido de desagües pluviales.



Fuente: Elaboración propia (2016) sobre la base de información altimétrica SRTM30 y división catastral de la Municipalidad de Bahía Blanca.

Figura 4.- Delimitación del área crítica para evacuación ante eventos de inundación en la ciudad de Bahía Blanca.

REFLEXIONES FINALES

La información altimétrica brindada por las imágenes SRTM30 ha sido de utilidad para el trazado de líneas de drenaje superficial a través de un software de análisis espacial con el Global Mapper. Si bien el trabajo en áreas urbanas requiere de información espacial de alta resolución, el procesamiento realizado puede ser utilizado como primera aproximación para el diagnóstico de los sectores y vías de comunicación en donde se encauza el agua. De esta manera, se contribuye con la identificación de áreas de mayor peligrosidad durante la ocurrencia de precipitaciones abundantes y que deben ser descartadas como potenciales vías de evacuación o puntos de reunión. Por otra parte, para la realización de este tipo de zonificación se considera de suma importancia el estudio exhaustivo de la trama circulatoria. Es por ello que se propone para trabajos futuros la continuación del estudio hidrográfico conjuntamente con un análisis de la jerarquía del sistema de circulación, densidad de población y ubicación de posibles centros de evacuados. Asimismo, la aplicación de correcciones hidrológicas en función de la red de desagües y colectores es otro procedimiento metodológico que se propone para el reacondicionamiento del MDE.

REFERENCIAS

- Aldalur, B., Fernández, S y Campo de Ferreras, A. 2006. Estudio de la hidrología urbana de Ingeniero White, Argentina. *Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, Chile, pp. 11 – 18.
- Capachero Martínez, C.; García Reinoso, P. y Obregón Neira, N., 2014. Análisis de la exactitud del modelo digital de terreno SRTM-30. *Rev. Invest. Univ. Quindío*. Colombia, 27(1), pp.30-38.
- Formiga, N. y Garriz, E., 2000. Caracterización y estructuración de los asentamientos marginales. Formiga, N. y Marengo, S. (Ed.) *La dinámica urbana*. EdiUNS, Bahía Blanca, pp. 75-92.
- INDEC, 2010. <http://www.sig.indec.gov.ar/censo2010/>
- La Nueva Provincia, 1944. *No hubo que lamentar desgracias personales en la ciudad y villas*. 9 de abril.
- Presutti, M. 2009. Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel con el DEM-SRTM para estimar la altura de plantaciones forestales. En: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, pp. 2943-2950.
- Torrero, M., 2005. *Análisis temporal de la variabilidad hidroclimática y su relación con las actividades antrópicas en el ambiente fluvial del arroyo Napostá Grande*. Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 62 pp.
- Zapperi, P., 2012. *Hidrografía Urbana de Bahía Blanca*. Tesis de Doctorado en Geografía. Universidad Nacional de Sur, Bahía Blanca. 139 pp.
- <http://www.usgs.gov/>
- <http://www.cgiar-csi.org/>

Agradecimientos. *Se agradece a la Municipalidad de Bahía Blanca por facilitar el plano de la ciudad y tendido de desagües pluviales en formato digital.*