



Aplicación de tecnologías de la información geográfica para el análisis del escurrimiento superficial en una subcuenca urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina

Aplicación de tecnologías de la información geográfica para el análisis del escurrimiento superficial en una subcuenca urbana de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina

Neuman, K.¹; Zapperi, P.²; Santecchia, G.³; Span, J.⁴; Bongiovanni, A.⁵

¹Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur (UNS). kneuman@uns.edu.ar

²CONICET. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur (UNS). paula.zapperi@uns.edu.ar

³Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur (UNS). guillermina.santecchia@uns.edu.ar

⁴Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur (UNS)

⁵Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur (UNS)

RESUMEN

Palabras claves:

Arroyo Napostá Grande
Escorrentía urbana
Tecnologías de la Información Geográfica
Modelo Digital de Terreno
Perfiles topográficos

Parte del ejido urbano de Bahía Blanca se extiende sobre la llanura aluvial del arroyo Napostá Grande, curso de agua que nace en el sistema serrano de Ventania, suroeste de la provincia de Buenos Aires. En este tramo inferior las intervenciones urbanísticas y las obras viales contribuyeron con la formación de subcuencas y cambios en la red de drenaje. El objetivo del trabajo es analizar el escurrimiento superficial en una subcuenca urbana donde la infraestructura vial se extiende de forma paralela al arroyo Napostá Grande. El análisis se focaliza sobre un tramo del Camino de La Carrindanga, avenida que estructura la circulación vehicular en el sector norte de la ciudad. Para ello se generó un MDT (Modelo Digital de Terreno) de la subcuenca cuya precisión fue mejorada con relevamientos con VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) y mediciones en campo con equipos GNSS (Global Navigation Satellite System). Se reconocieron zonas de inundabilidad asociadas con las microdepressiones del terreno. El análisis de los perfiles mostró que el nuevo perfilado de la cuneta sumado al mantenimiento del sector reduciría los inconvenientes de anegamiento a corto plazo al facilitar el escurrimiento hacia las vías de desagüe. Sin embargo, en la zona baja, la diferencia de nivel inferior a 1 m entre el fondo de desagüe y el curso de agua y la presencia de construcciones provocan el redireccionamiento del drenaje y la pérdida de conexión directa con el cauce principal. Esto se traduce en el anegamiento del sector durante días luego de lluvias intensas.

ABSTRACT

Keywords:

Napostá Grande creek
Urban runoff
Geographic Information Technologies
Digital Terrain Model
Topographic profiles

Some Bahía Blanca city sectors extends over the Napostá Grande creek alluvial plain, a water stream which is born in the Ventania System, located in the Buenos Aires province. In its lower basin, urban development and road works contributed to create sub-basins, changing the drainage network. The goal of this research is to analyse the surface runoff in an urban sub-basin where the road infrastructure runs parallel to the Napostá Grande creek. The analysis focuses on a Carrindanga reach road, avenue that structures the vehicular circulation in the northern sector of the city. A DTM (Digital Terrain Model) of the sub-basin, whose precision was improved through UAV surveys (unmanned aerial vehicle) and field measurement with GNSS equipment (Global Navigation Satellite System). Two flooding zones were identified, considering the normal precipitation for the area, which are related to small depressions on the field. The profiles analysis determined that a change in the ditch profile, added to the sector maintenance, would reduce in the short term the flooding inconveniences by facilitating the water arrival the existent drainages. However, in the lower sector, the less 1 m level difference the drainage bottom and the water stream, as well as the buildings influence and the field backfill, cause the drainage redirection and the loss direct connection to the main stream. As a result, the sector is flooded after heavy rains days.

Recibido: 29/06/2021

Aceptado: 10/11/2021

1. Introducción

El espacio urbano es un claro ejemplo de la superposición del sistema natural y el sistema humano (Liu et al., 2007). La intervención antrópica sobre la topografía y la incorporación de nuevos usos del suelo generan numerosos impactos sobre el ciclo del agua, según Chocat (1997) se pueden mencionar: la construcción de obstáculos al escurrimiento y la “artificialización” de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas, entre otros. El funcionamiento hidrológico natural se ve afectado por la urbanización y la consecuente formación de microrelieves; la presencia de zonas de anegamientos luego de episodios de lluvias intensas, es una evidencia de esta problemática. Se pueden distinguir dos tipos básicos de inundaciones urbanas: inundaciones ribereñas, generalmente asociadas a la urbanización indebida de áreas inundables aledañas a los cursos de agua; e inundaciones provocadas por el crecimiento urbano tradicional. En realidad, en muchos casos se observan combinaciones de ambos tipos básicos (Bertoni, et al., 2004).

Los modelos digitales del terreno (MDT) son el origen de todas las modelaciones dependientes de la topografía. Por lo que la utilidad y validez de los resultados derivados están estrechamente relacionadas con la calidad del modelo original (Presutti, 2009) y éste a su vez, con la calidad de los datos fuente (Rosatto et al., 2009). En la gestión de inundaciones urbanas, los MDT son el insumo topográfico fundamental para la delimitación de cuencas, la ejecución de modelos de escurrimiento y la elaboración de los mapas de inundación que sustenten las decisiones referidas a la prevención, respuesta y mitigación (Re et al., 2019). La morfología de las ciudades lleva a que el desarrollo de un MDT urbano sea un proceso complejo que deriva de la densidad de las construcciones como también de la existencia de microrelieves y depresiones. No obstante, en los últimos años se ha entendido su aplicación como fuente de información altimétrica para la definición de la escorrentía superficial. Leitão et al. (2008) compararon la aplicación de MDEs (Modelos Digitales de Elevación) en la ciudad de Lisboa para identificar líneas de escurrimiento y depresiones donde se acumula el agua. Liu et al. (2021) proponen un modelo de corrección por infraestructura urbana a modelos globales mejorando el mapeo de inundaciones y evaluación de riesgos.

La información topográfica y temática puede ser adquirida por observación remota de la superficie terrestre, esta tarea constituye el marco de estudio de la teledetección. Esta técnica no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen, sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación (Chuvioco, 2010). Conforme se aumenta la escala del área de estudio, se requiere información topográfica más detallada y una mayor resolución espacial. Correcciones geodésicas con datos de campo, permiten delimitar con mayor precisión a una cuenca hidrográfica junto con su sistema de drenaje superficial (Gómez et al., 2017). La utilización de instrumental GNSS (*Global Navigation Satellite System*) a través de técnicas de medición que garantizan cierta precisión, permite generar MDEs confiables. La posibilidad de obtener un elevado número de puntos de control se ha utilizado, en los últimos años, en la corrección fotogramétrica de los ortomosaicos obtenidos de relevamientos realizados por vehículos aéreos no tripulados (VANT), comúnmente conocidos como drone. Existen antecedentes de modelado del terreno a partir de información topográfica obtenida con este tipo de tecnología para aplicaciones hídricas, como por ejemplo, la delimitación de áreas de inundación (Coveney & Roberts, 2017). En la corroboración de precisión realizada por Hashemi-Beni et al. (2018), encontraron que la extensión de la lámina de agua obtenida del modelado basado en las imágenes adquiridas con un VANT difiere hasta en un máximo de 30 cm de aquella generada de datos LiDAR y registros de caudal. En los últimos años, las distintas aplicaciones de los VANT han mostrado su potencial como herramienta de gestión de los recursos hídricos debido a la diversidad y precisión de datos que obtienen, tanto de la superficie terrestre como también de los cuerpos de agua (McDonald, 2019).

La ciudad de Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires) se encuentra emplazada en la cuenca inferior del arroyo Napostá Grande cuyo curso la atraviesa. Esto contribuye a que reciba el escurrimiento que se acumula aguas arriba y aumenta el peligro de inundaciones por crecidas (Mastrandrea & Pérez, 2020). En el período 2001-2017, se dio la combinación de un bajo nivel de crecimiento poblacional con una importante extensión del área urbana dando muestra de un proceso de expansión urbana horizontal con una ocupación de baja densidad en la periferia (Urriza, 2018). Este modelo de expansión tiende a dificultar y encarecer el tendido de servicios y el mantenimiento de las vías de circulación, favoreciendo al surgimiento de problemáticas como el anegamiento y erosión de calles sin pavimentar luego de precipitaciones, el aislamiento de algunos sectores de la ciudad y ocasionalmente la evacuación de los pobladores (Zapperi, 2014). Actualmente, el manejo de las aguas pluviales es un aspecto valorado dentro de la gestión de los espacios urbanos, a la vez que se plantea un cambio de paradigma en cuanto a los sistemas de drenajes tradicionales (Perales Momparler & Andrés-Doménech, 2008).

El objetivo del trabajo es analizar el escurrimiento superficial en una subcuenca urbana donde la infraestructura vial se extiende de forma paralela al arroyo Napostá Grande. De esta manera, se busca

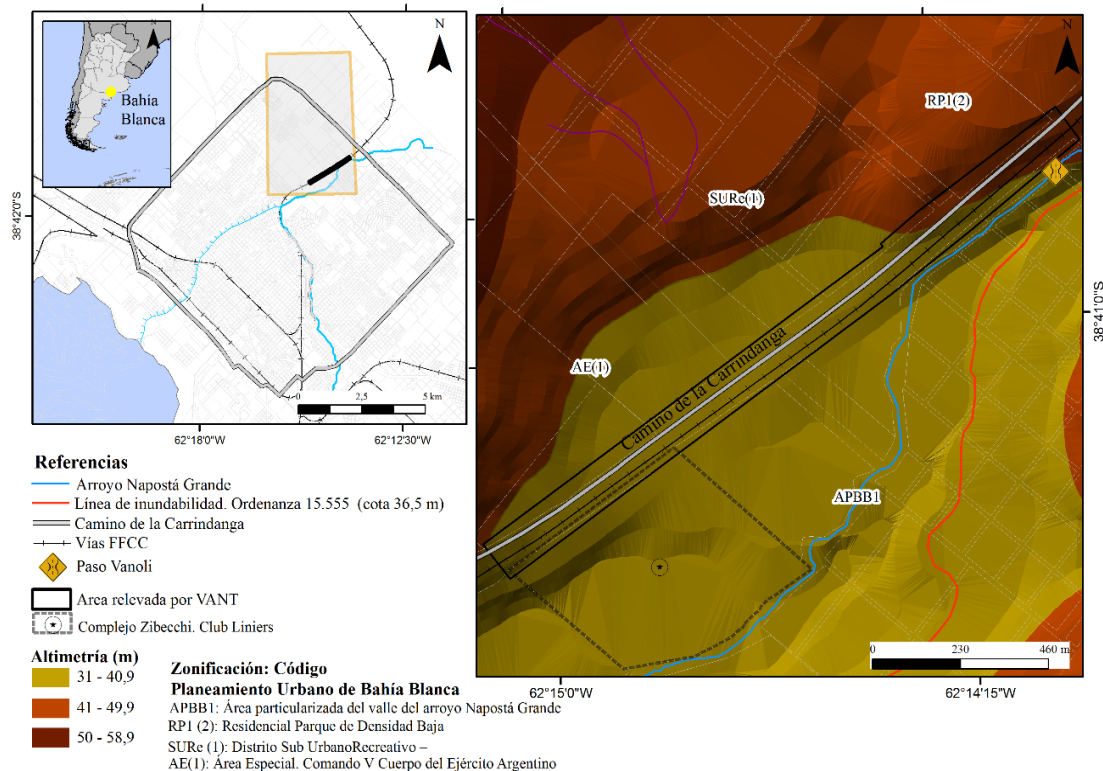
identificar cambios en la red de drenaje y su relación con la generación de sectores de anegamiento. Para ello se generaron MDTs a distintas escalas, a partir de diferentes datos fuentes, para mejorar la resolución de los modelos, y con ello la confiabilidad del modelo de drenaje y su posterior análisis.

2. Área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca conforma el aglomerado urbano-portuario de mayor relevancia económica de la región suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Es cabecera del partido homónimo y, junto con la localidad de General Daniel Cerri conforma el Gran Bahía Blanca, albergando una población cercana a los 302.000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010). Gran parte del ejido urbano de Bahía Blanca se extiende sobre la llanura aluvial del arroyo Napostá Grande, curso de agua que nace en el sistema serrano de Ventania.

El área de estudio está comprendida en el sector conocido como Camino de La Carrindanga (actualmente, calle Juan Domingo Perón), desde el vado sobre el arroyo Napostá Grande (paso Vanoli) hasta las inmediaciones del Complejo Zibecchi del Club Liniers (Figura 1). Como se mencionó anteriormente esta vía de circulación es paralela a las vías de ferrocarril (FFCC) que se encuentran en el valle de inundación del mencionado curso de agua. De esta manera, el sector recibe el escurrimiento superficial que se organiza a través de una de las subcuencas delimitadas por las áreas de mayor altura para finalizar en el canal del arroyo.

Figura 1. Ubicación del área de estudio y Camino de La Carrindanga dentro de la ciudad de Bahía Blanca.



Fuente: elaboración propia.

La formación de la subcuenca considerada en el trabajo se da en el sector de mayor altitud de la ciudad con valores del terreno que superan los 80 m. Desde el punto de vista geomorfológico, a partir de la curva de nivel de 60 m el área constituye una peniplanicie que se corresponde con el “nivel de planación general” (González et al., 1988). Está conformada por sedimentos de tipo loessoides, con presencia de carbonato de calcio que forma depósitos de calcreta llamados localmente tosca. La parte terminal de esta planicie se continúa con una zona de escarpa entre las cotas de 20 y 60 m, constituida por conos aluviales coalescentes y conos coluviales producto del movimiento en masa de materiales sobre pendientes de 6 a 8% (Caló et al., 1999). La remoción y posterior deposición de los sedimentos mencionados dan muestra del escurrimiento que se encauza levemente de forma transversal al valle del arroyo Napostá, cuyo canal principal discurre según la pendiente regional cuyo sentido es noreste-suroeste.

La cuenca del arroyo Napostá Grande forma parte del derrame de la vertiente suroccidental del Sistema de Ventania de la provincia de Buenos Aires (Carrica, 1998). Su cuenca baja se extiende desde el paraje Puente Canesa hasta su desembocadura en el estuario de Bahía Blanca, tramo en el que actúa como conductor de caudales alóctonos, siendo que no recibe adiciones significativas (Fernández et al., 2017). En este sector inferior, el valle aumenta su amplitud con rupturas de pendiente dadas por la erosión del curso sobre los sedimentos modernos que rellenan el valle (Carrica, 1998). La influencia de intervenciones antrópicas (forestación, canalización, etc.) sobre el cauce se manifiesta a través de cambios morfológicos y la rectificación en algunos tramos de su trazado de tipo meandriforme (Pirchi, 2019). A su vez, en el área de estudio el arroyo ha perdido su carácter encajonado formando llanuras aluviales más amplias, frecuentemente afectadas por inundaciones derivadas de las crecidas. Se destaca el evento de octubre de 2002 cuando la precipitación de 120 mm en dos días provocó que la lámina de agua cubriera los sectores de la llanura de inundación ocupados por establecimientos deportivos como el caso del Complejo Zibecchi del Club Liniers (32,84 m) (Ni el Zibecchi se salvó, 2002, La Nueva Provincia). Asimismo, las crecidas luego de copiosas lluvias en la zona serrana cubren el vado que permite el paso vehicular por el conocido “Paso Vanoli” (35,75 m) y el puente peatonal contiguo (36,86 m).

Existen antecedentes para el área en los que la delimitación de las zonas expuestas al peligro de inundación y anegamiento se restringe al valle del arroyo. De esta manera, Varela & Cerana (2008) según criterios hidrológicos definieron la línea de riesgo hídrico-sanitario para lluvias ordinarias (entre 50 a 100 mm). Esta delimitación en ciertos tramos se corresponde con el terraplén de la línea ferroviaria que actúa como una barrera de contención del agua dentro de la llanura de inundación. Por otra parte, Gentili et al. (2013) siguieron criterios morfodinámicos para relacionar los sectores inundados y anegados con los elementos constitutivos del cauce del arroyo Napostá Grande, reconocieron además el drenaje transversal levemente encauzado. Precisamente, durante las precipitaciones intensas, es a través de estas líneas de escurrimiento que llega el agua desde la zona de mayor altitud y provoca anegamientos del sector estudiado.

2.1. Planificación y usos

El uso del sector del valle comprendido en el área de estudio está reglamentado por la Ordenanza Municipal 15.505 “Área particularizada del valle del arroyo Napostá” (APBB1) del año 2009 (Figura 1). El objetivo principal de esta normativa es la preservación del área a través del fomento de usos recreativos y áreas verdes, y la limitación de la urbanización según el riesgo hídrico en cotas menores a 36,5 m. Actualmente, sobre el dominio privado del sector del valle se desarrollan principalmente actividades deportivas y en menor medida comerciales y de producción hortícola. Sobre el espacio público comprendido entre el arroyo y el Camino de La Carrindanga se llevan a cabo actividades recreativas derivadas del equipamiento con juegos infantiles, bicisenda y pista de salud.

Por otra parte, la zonificación para el sector contiguo al valle y definido a partir de la vía de circulación estudiada es RP1 (Residencial Parque de Densidad Baja) y SURe (Zona suburbana recreativa), con 60% y 30% de FOS (Factor de Ocupación del Suelo) respectivamente, y un sector de Área Especial (AE) perteneciente al Ejército Argentino (Figura 1). Si bien se trata de una de las áreas con mejor aptitud ambiental para sustentar procesos de expansión urbana (Zinger et al., 1990), recién en los últimos 15 años comenzaron a realizarse loteos para el establecimiento de barrios residenciales como resultado de la mejora en la accesibilidad y la comunicación entre la periferia y el área central (Urriza, 2018).

2.2. Reseña histórica del Camino de La Carrindanga

Históricamente el Camino de La Carrindanga (conocido originariamente como camino de Salvá) sirvió de entrada a la ciudad. En 1884, el Ferrocarril del Sud, construyó la línea Bahía Blanca-Buenos Aires del Ferrocarril Roca paralelo al camino en ese entonces de tierra. En 1956 eran insuficientes los trabajos de nivelación que desde la década del 30 se venían practicando. Ante el reclamo de chacareros y hacendados de la zona, por el extenso y profundo pantano, con el apoyo del Plan de Fomento Agrícola de Vialidad Nacional se inició su pavimentación, desde el km 0, en el Parque de Mayo, hasta el km 44,5 en el paraje San Carlos (La Carrindanga, 2013, La Nueva). El camino requirió constantes obras de repavimentación y reconstrucción, que incluyeron en 2010 la colocación de una alcantarilla de hormigón y ensanche de otra, una sub-base de tosca de 0,20 m y base de tosca de 0,15 m de espesor. Actualmente el sector estudiado se encuentra bajo potestad municipal y es un acceso rápido al sector norte de la ciudad, donde a partir del año 2005 se ha producido un importante auge inmobiliario con desarrollo de proyectos de vivienda y barrios cerrados. En este sentido, el tendido y los trabajos de repavimentación del Camino de La Carrindanga han

contribuido con la conectividad de la zona norte de la ciudad y las principales vías de circulación vial.

3. Materiales y métodos

La base altimétrica para el modelado del flujo superficial del agua se estableció en función de la escala y la precisión esperada del MDT. Por lo que para determinar las características topográficas previas a la consolidación del Camino de La Carrindanga se utilizó la carta planialtimétrica de la ciudad de Bahía Blanca del Departamento de Catastro del gobierno local, a escala 1:10.000 y con una equidistancia de 1 m. Por otra parte, el MDT que refleja las condiciones topográficas actuales se elaboró a partir del relevamiento con VANT y GNSS. A través del primero y con técnicas fotogramétricas, se obtuvieron las imágenes de la superficie topográfica. Se utilizó un equipo multirrotor, modelo Parrot Anafi. La aeronave posee una cámara de 21 megapíxeles, cámara 4k HDR con sensor Sony y lente ASPH f/2,4 gran angular, y un sistema de posicionamiento satelital que capta las constelaciones GPS (*Global Positioning System*) y GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Se realizó un vuelo autónomo, planificado mediante la aplicación Pix4D capture considerando los siguientes parámetros: altura de vuelo de 60 m, velocidad crucero de 8 m/s, traslape longitudinal y lateral del 80%. Como resultado se obtuvieron 355 imágenes (formato JPG) con 2,04 cm/pix de resolución espacial. Se tomaron nueve puntos de apoyo, distribuidos de manera uniforme sobre el bloque, los cuales se midieron con un receptor GPS/GNSS South Galaxy G1 Plus de 220 canales, doble frecuencia (L1/L2), con el método RTK (Real Time Kinematic) en su variante NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), en la que las correcciones se realizan a través de Internet y redes IP móviles. La toma de datos se realizó punto a punto, configurando el receptor para relevar con un error máximo de 30 mm. A través del software *Agisoft PhotoScan* se corrigió la orientación de las fotografías y se confeccionó la nube de puntos para luego generar el MDT con una resolución de 4,09 cm/pix.

Por otra parte, para determinar las principales líneas de escurrimiento sobre las cuales se organiza el flujo del agua se trabajó desde el entorno del software QGIS 3.10.4 con la herramienta para la definición de redes y cuencas de drenaje que ofrece el software SAGA dentro de los procesos destinados al análisis del terreno. Este algoritmo fue aplicado sobre el MDT de 1 m de equidistancia y con una resolución de 67 m/pix. De esta manera se obtuvo la red de drenaje para la totalidad del área urbana, que se comparó a su vez con la obtenida del MDT derivado del ortomosaico relevado por el VANT sobre el área de estudio. La determinación de las líneas de escurrimiento fue complementada con la ejecución de perfiles longitudinales y transversales cuyo trazado busca mostrar la altura del fondo de las alcantarillas, las vías férreas y el camino estudiado. Para ello, se realizaron relevamientos en el sector aledaño a las vías de comunicación con equipos GNSS (equipo Trimble R4 doble frecuencia) a través del método RTK-NTRIP. Los datos relevados se incorporaron a un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) y al programa SURFER13.

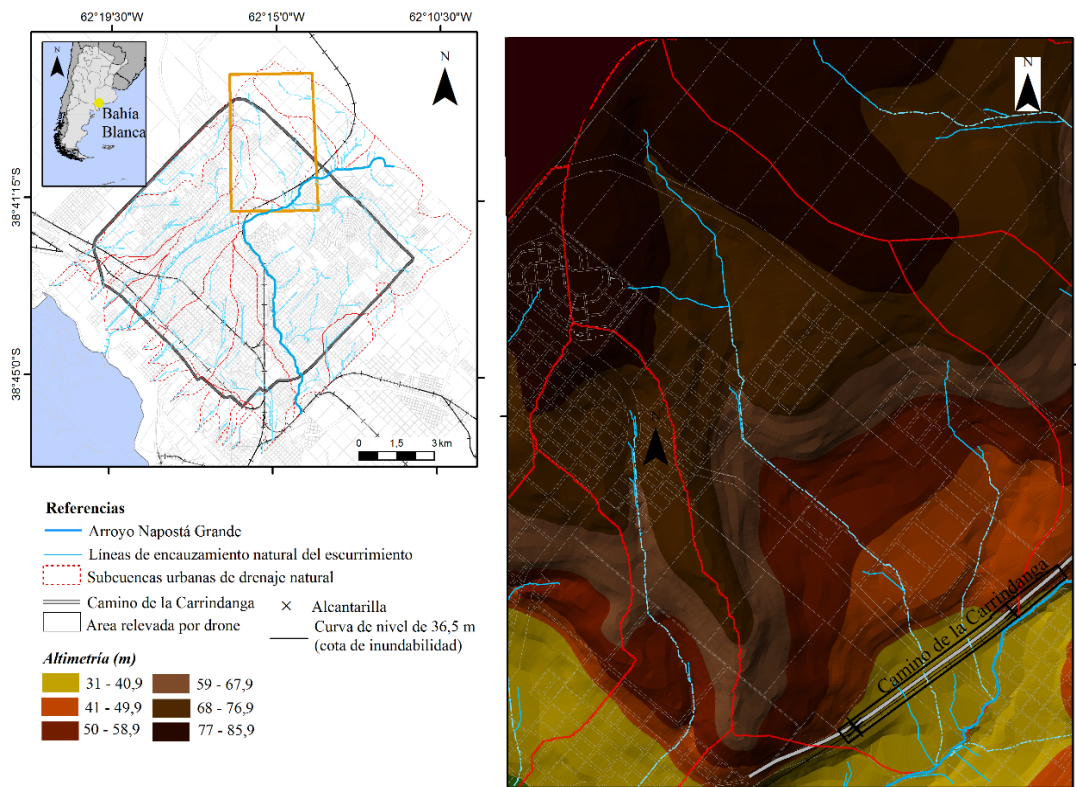
Cabe aclarar que los relevamientos por técnicas GNSS se hicieron relativos al punto VBCA de la red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) ([Piñón, et al., 2018](#)), por lo que las coordenadas finales están referidas al Marco de Referencia Nacional Posiciones Geodésicas Argentinas 2007 (POSGAR 07). Además, se utilizó el modelo geoidal del Instituto Geográfico Nacional (IGN), GeoidAr-16 para reducir al nivel medio del mar las alturas elipsoidales ([Instituto geográfico Nacional \[IGN\], 2009](#)).

4. Resultados

4.1. Condiciones naturales de drenaje

Determinar las condiciones que la topografía natural impone al escurrimiento superficial del agua es fundamental para conocer la influencia de la urbanización sobre el escurrimiento del agua ([Mikkan, 2007](#)). El análisis de las curvas de nivel relevadas de forma previa a la subdivisión y parcelamiento de los terrenos (Cartas topográficas del año 1967) sin considerar la existencia del FFCC, permitió identificar dos cursos de escurrimiento que se encauzan hacia el valle de inundación del arroyo ([Figura 2](#)). En la imagen, donde se ha superpuesto la capa de amanzanamiento actual para tener referencia de su ubicación relativa, se observa una línea principal de escurrimiento que se corresponde en su tramo medio con la calle Eduardo Bambill. Mientras que la segunda línea de escurrimiento, de menor extensión, atraviesa el parcelamiento en forma diagonal, sin encontrarse alineación con alguna calle en particular.

Figura 2. Delimitación de la subcuenca que incluye al tramo de estudio.



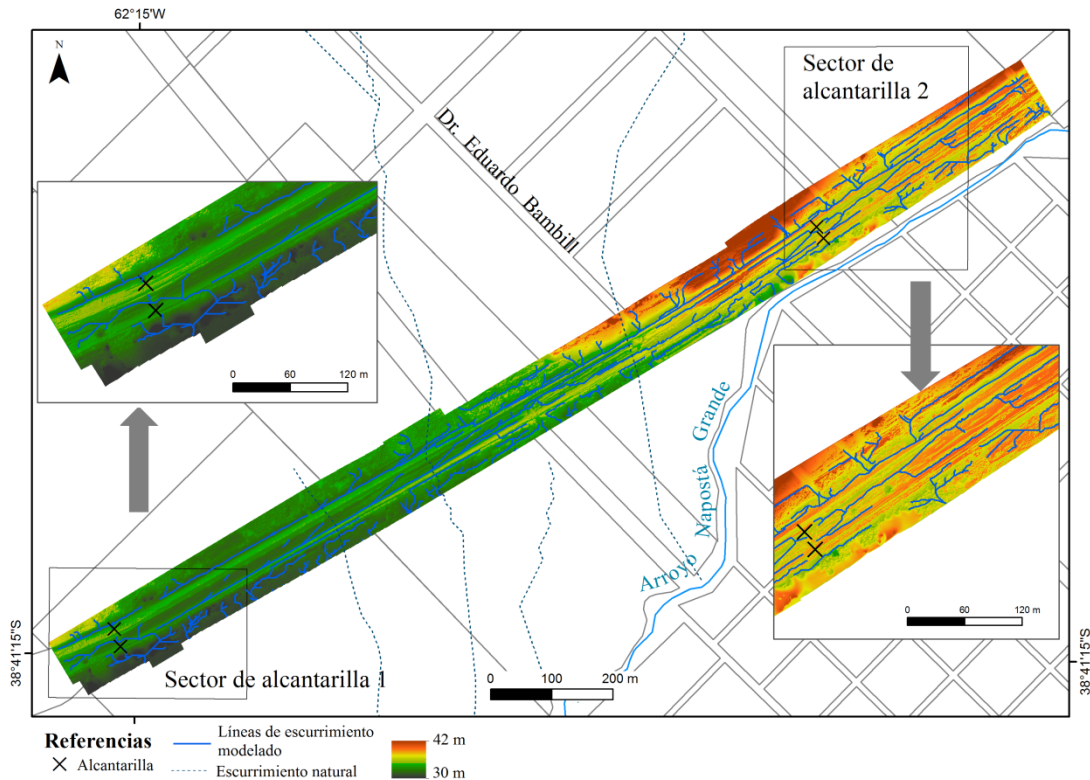
Fuente: elaboración propia

La subcuenca abarca un área de 9 km², la diferencia entre la cota máxima de la subcuenca se da entre los 83 m, donde comienzan las líneas de escurrimiento, y los 30 m, en la zona del canal del arroyo. Sin embargo, el gradiente de la subcuenca se interrumpe con las vías del FFCC, que elevan hasta 1 m la cota original del terreno. Esta interferencia se subsana a través de la construcción de dos alcantarillas en sectores de concentración del drenaje, cuya localización no se corresponde con las dos líneas de escurrimiento que se identificaron previamente en la [Figura 2](#). En las sucesivas obras de pavimentación y mejoramiento del Camino de La Carrindanga y su entorno (bicisenda y senda peatonal), se respetó la localización de las alcantarillas, no así el tamaño de la sección siendo éste inferior al utilizado bajo las vías del FFCC. Además, los microrrelieves de las vías principales de comunicación, sumado al tendido vial secundario de la zona alta, imponen un cambio en la trayectoria del escurrimiento que suele provocar anegamientos temporales en el sector de estudio. Por ello, con el objetivo de caracterizar esta interferencia topográfica se realizó un modelado del terreno de alta resolución espacial.

4.2. Identificación de alteraciones en la red de drenaje

Del ortomosaico generado a partir del relevamiento con VANT circunscrito al sector indicado en la [Figura 2](#), aledaño a las vías de comunicación principales (Camino de La Carrindanga y FFCC), surgió el MDT que se muestra en la [Figura 3](#). Sobre él, se demarcó la red de drenaje actual para reconocer cambios en función de las líneas de escurrimiento identificadas para la topografía natural del terreno.

Figura 3. Líneas de escurrimiento modeladas sobre el MDT obtenido del relevamiento con VANT (sector del Camino de La Carrindanga).



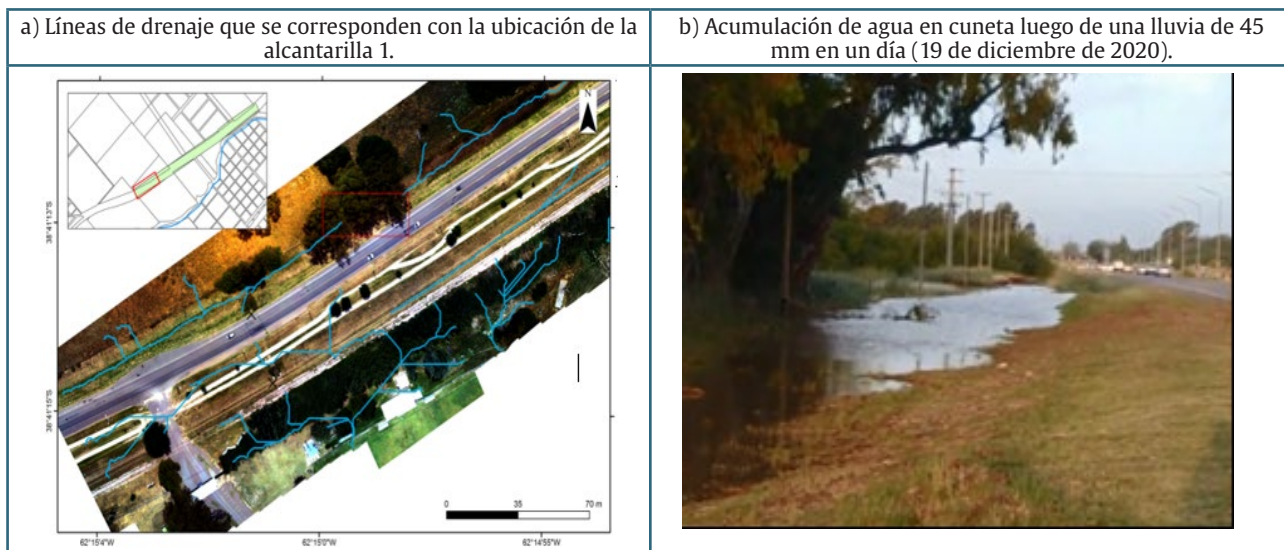
Fuente: elaboración propia.

Es notable la influencia del Camino de La Carrindanga por sobre la red de drenaje. En el MDT se observa el bloqueo e interrupción del cauce natural hacia el arroyo Napostá Grande, generando una línea de flujo paralela a su traza que drena hacia el arroyo por dos alcantarillas, identificadas como alcantarillas 1 y 2, correspondientes al sector del Complejo Zibecchi y al sector alto, respectivamente. Este patrón paralelo se intensifica por las cunetas que además reciben el flujo laminar que escurre por la pendiente. Por otra parte, es importante señalar que el tendido ferroviario actúa como una divisoria de agua pues se evidencia la generación de pequeñas redes de escurrimiento desde las vías del ferrocarril hacia el arroyo. Asimismo, se observa en el sector medio del MDT la continuidad de las líneas de escurrimiento sobre los caminos transversales, lo que indica que en ese sector la calle presenta cota similar a la cuneta de escasa profundidad, favoreciendo la presencia de agua sobre estas calles en su intersección con el Camino de La Carrindanga.

La escala colorimétrica del MDT permite identificar en el sector inferior de la Figura 3 los menores valores de cotas del terreno (30 m aproximadamente) en contraste con el sector superior donde pueden alcanzar los 42 m. Analizando el modelo se infiere que, tal como se señala en esta figura, existen dos sectores deprimidos en relación a su entorno y por lo cual son áreas propensas a la generación de anegamientos. Es en estos sectores donde se disponen las alcantarillas que debieran permitir la circulación del agua de escurrimiento hacia el cauce principal del arroyo. Sin embargo, son comunes los anegamientos cuya duración depende, a su vez, de la intensidad de las precipitaciones.

En la Figura 4.a focalizada sobre el sector de la alcantarilla 1, se observan líneas de drenaje que guardan correspondencia con la ubicación de las alcantarillas a ambos lados del camino estudiado. Esto muestra que las condiciones de la topografía permiten el paso del agua hacia una zona que actúa a su vez como colectora del drenaje. En la Figura 4.b se ejemplifica con una fotografía la acumulación de agua en el sector de cuneta.

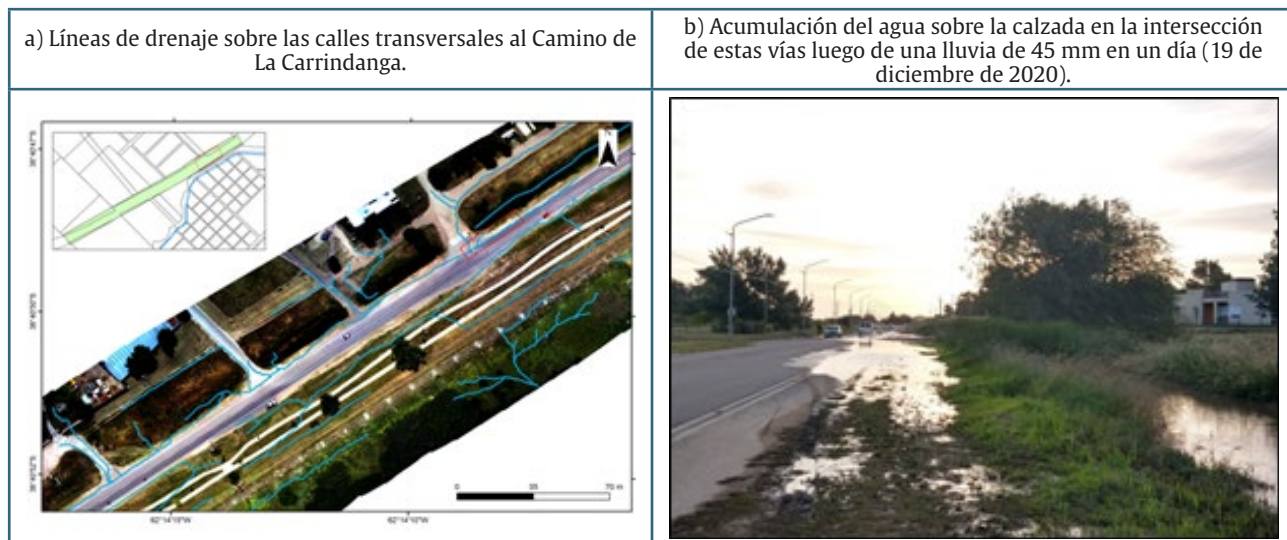
Figura 4. Alcantarilla 1.



Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en el sector de la segunda alcantarilla, a diferencia del caso anterior no se distinguen líneas del escurrimiento perpendiculares al camino pavimentado (Figura 5.a). Sino que se destaca el ingreso del agua de escorrentía proveniente del sector alto, que llega a través de las calles transversales al Camino de La Carrindanga, depositándose sobre la cinta asfáltica (Figura 5.b). En este lugar, las cunetas presentan doble funcionalidad, recibir parte del agua de escorrentía y actuar como contención del agua de surgente de aguas profundas que existe en el sector, garantizando no superar una cota máxima, debido a la presencia de la alcantarilla 2.

Figura 5. Alcantarilla 2

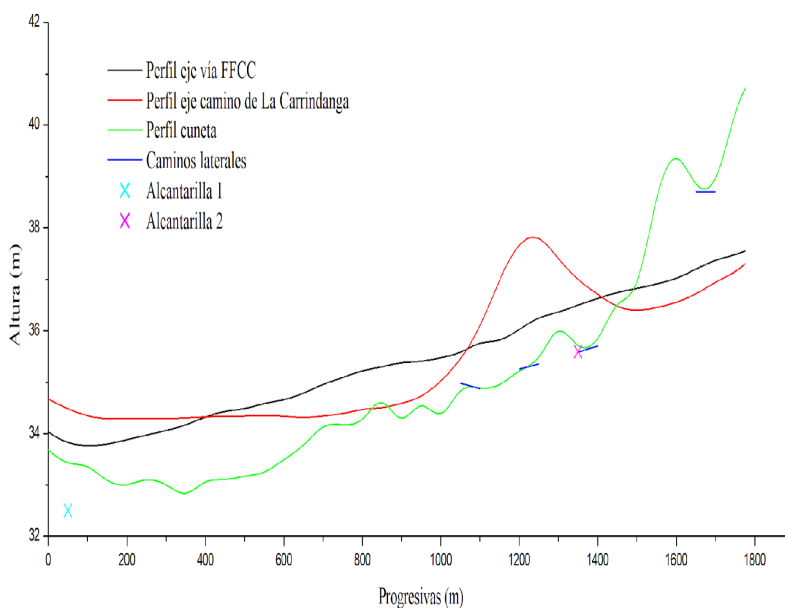


Fuente: elaboración propia

4.3. Análisis altitudinal de los sectores deprimidos

Con el objetivo de profundizar el análisis de las líneas de escurrimiento modeladas con la información topográfica se realizaron perfiles transversales al camino, alineados con las alcantarillas identificadas. En el perfil longitudinal (Figura 6) trazado a partir del MDT obtenido con VANT se muestra la altura relativa entre las vías de FFCC, la cuneta y el Camino de La Carrindanga, con la indicación de la ubicación de las alcantarillas y los caminos laterales, que desagotan y aportan agua al sistema, respectivamente. Tanto la alcantarilla 1 (progresiva 50 m) como la alcantarilla 2 (progresiva 1.375 m) atraviesan el camino pavimentado y las vías del ferrocarril y se corresponden con cotas inferiores e iguales respectivamente, al nivel de cuneta.

Figura 6. Perfiles longitudinales generales de cuneta, camino pavimentado y vía de ferrocarril.



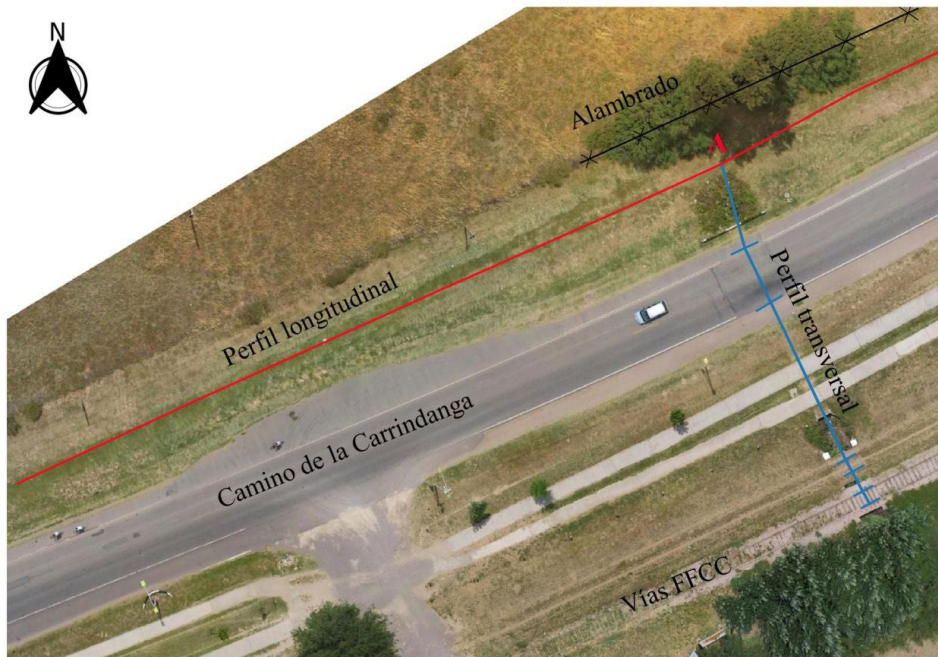
Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Sector de alcantarilla 1

La alcantarilla 1 (sección aproximada de 1,3 m² bajo pavimento) actúa como único desagüe del agua de escorrentía de la mayor parte de la subcuenca, presenta una cota de fondo de 32,5 m (como se observa en la Figura 6). Previo a esto, el agua se encauza paralelamente al camino pavimentado, pero la presencia de microrelieves y alcantarillas (de sección circular ≈60 cm y con escaso mantenimiento) sobre accesos a propiedades, definen sectores deprimidos que claramente se identifican en el perfil longitudinal general. El sector al que se hace referencia es el ubicado entre progresiva 100 m y 400 m, y progresiva 850 m y 1.050 m correspondiente a la primera calle lateral.

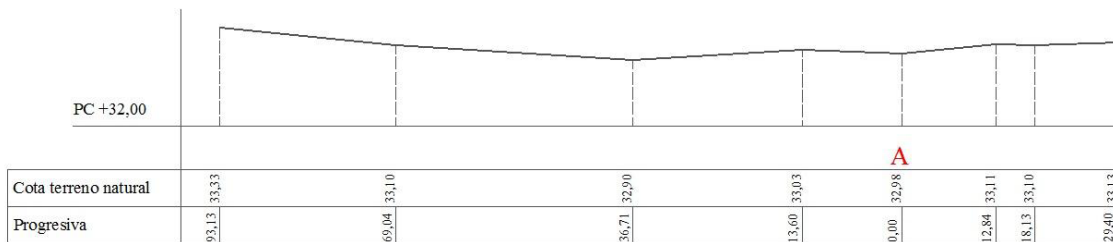
En la Figura 7, sobre el ortomosaico que abarca la alcantarilla 1 se indica la posición planimétrica de los puntos relevados con equipos GNSS, lo cual permitió obtener el perfil longitudinal según cotas mínimas de cuneta (Figura 8) y el perfil transversal (Figura 9) a partir del punto A (progresiva 0 m), que se halla alineado con las alcantarillas y separado 6,89 m de la alcantarilla 1. En este sector se identifica un solo tramo donde el fondo de desagüe es un canal a cielo abierto, este se encuentra entre la senda peatonal y las vías. Cabe destacar que la sección de la alcantarilla bajo vías es de 4 m², notándose una importante reducción en el ancho de la utilizada bajo pavimento.

Figura 7. Posición planimétrica de los perfiles relevados con GNSS en sector de alcantarilla 1.



Fuente: elaboración propia.

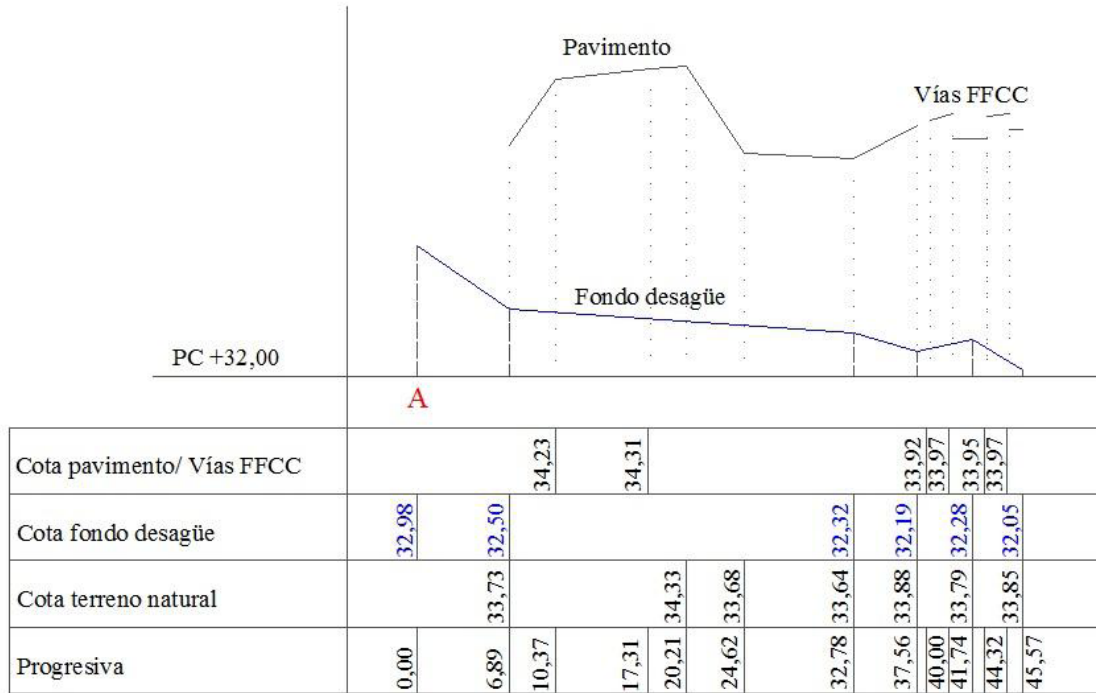
Figura 8. Perfil longitudinal a partir de relevamiento con GNSS (cotas en m).



Fuente: elaboración propia.

En la [Figura 8](#) se observan tramos del perfil con elevaciones mínimas que rompen la pendiente del terreno hacia el punto A, provocando acumulación temporaria de agua. En la [Figura 9](#), que muestra los perfiles transversales correspondientes al terreno natural incluidas las vías de comunicación y el fondo de desagüe, se aprecia que la pendiente en el fondo del desagüe es la esperada para dirigir el escurrimiento hacia el arroyo, que se encuentra a una distancia de 380 m y presenta una cota de 1 m por debajo de la observada en el sector vías. Sin embargo, se identifica un sector (Progresiva 37,56 m) con una ligera depresión que genera estancamiento de agua, aunque de menor importancia.

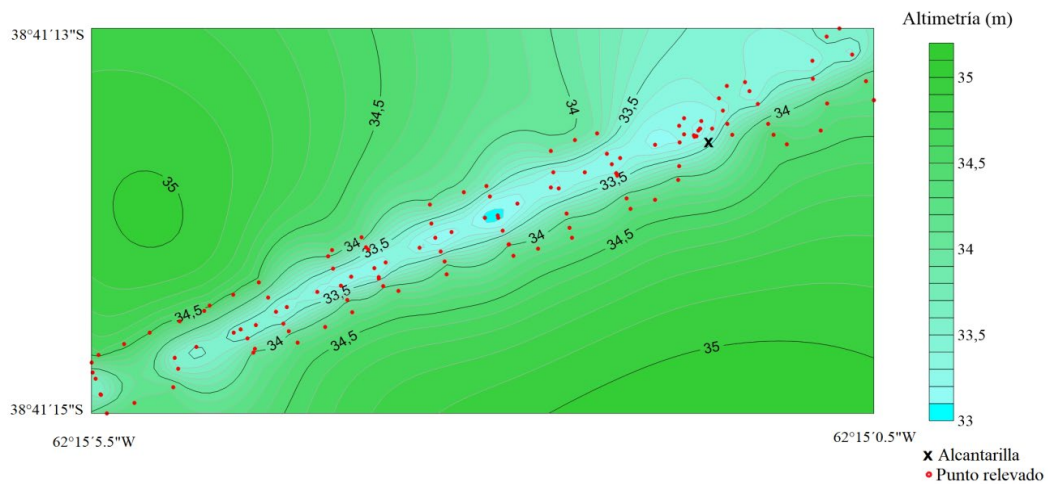
Figura 9. Perfil transversal sobre alcantarilla 1, a partir de relevamiento con GNSS (cotas en m).



Fuente: elaboración propia.

La cota mínima de la alcantarilla 1 (fondo de desagüe) en el sector de cuneta del perfil estudiado es de 32,50 m (Progresiva 6,89 m), por lo tanto, se encuentra a una cota inferior del entorno cercano según los valores extraídos de la Figura 8. Sin embargo, en épocas de lluvia, se registra en el sector anegamientos, tal como se observó en la Figura 4.b. Es por ello que se generó a partir de un relevamiento areal con equipos GNSS del sector cuneta, un MDT con muy buena precisión y detalle de la superficie topográfica (Figura 10).

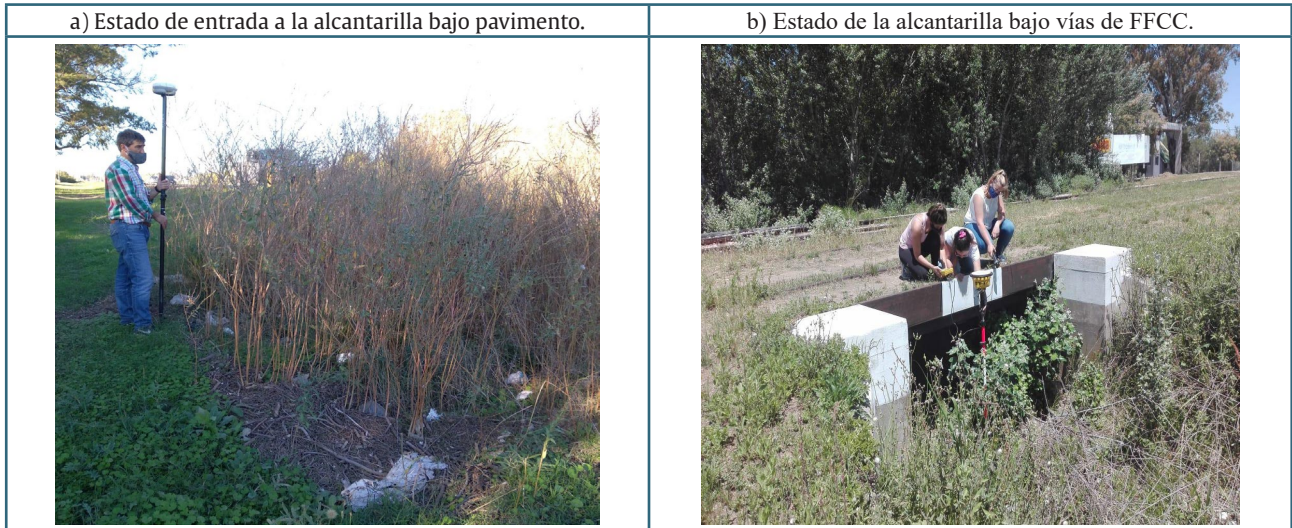
Figura 10. MDT a partir de relevamiento GNSS de sector de alcantarilla 1.



Fuente: elaboración propia

Analizando el MDT de la Figura 10, salvo algunas depresiones localizadas, no se encuentra impedimento físico para que el agua fluya hacia el arroyo. Sin embargo, la falta de mantenimiento sería la causa principal de los anegamientos temporarios del sector de cuneta, puesto que la vegetación en la entrada de la alcantarilla funciona como filtro del material de arrastre (residuos y material orgánico), generando un “tapón” natural (Figura 11.a). Lo que se evidencia ante eventos de lluvias abundantes, donde el agua supera la cota de 34,23 m alcanzando el nivel de calzada y generando complicaciones en la circulación vehicular. En la alcantarilla bajo vías (Figura 11.b), si bien se observa vegetación y residuos, no se produce anegamiento porque el efecto tapón en la alcantarilla bajo pavimento reduce el nivel de agua en circulación.

Figura 11. Relevamiento de perfil de alcantarilla 1.



Fuente: elaboración propia

4.3.2. Sector de alcantarilla 2

En este sector, el más elevado del MDT obtenido con VANT, se trazó a partir del punto B (alcantarilla 2) un perfil transversal, cuya ubicación planimétrica se indica en la imagen del ortomosaico (Figura 12), el mismo se relevó con técnicas GNSS.

Figura 12. Posición planimétrica del perfil relevado con GNSS sobre alcantarilla 2.



Fuente: elaboración propia.

Este perfil a diferencia del anterior, presenta dos tramos de zanja abierta, entre el pavimento y la senda peatonal y entre ésta y las vías. Bajo la senda peatonal, la sección de las alcantarillas se ve reducida a un diámetro de aproximadamente 60 cm, mientras que bajo pavimento la sección es de 0,5 m² y bajo vías, 4 m². Al momento del relevamiento, la alcantarilla 2 presentaba agua en la cuneta a nivel de su cota

Figura 14. Relevamiento de perfil de alcantarilla 2.



Fuente: elaboración propia

5. Discusión

En el área estudiada se identificaron elementos construidos para compensar los efectos sobre el funcionamiento natural del escurrimiento del agua, como las alcantarillas y los sectores de cuneta conformados por canales a cielo abierto. Precisamente, el área relevada constituye el primer sector urbano al que ingresa el arroyo en dirección a su desembocadura. En este trayecto, el curso de agua atraviesa la ciudad de Bahía Blanca y a través del entubamiento de un tramo de 4 km recibe el aporte de los conductos de desagüe pluvial. Es así que el sistema de drenaje urbano se estructura en función del arroyo Napostá Grande y su canal derivador (Canal Maldonado) como vías de transporte y evacuación del agua de lluvia hacia el estuario de Bahía Blanca.

En este contexto, el análisis de las líneas de drenaje en función de la infraestructura vial permitió reconocer la dinámica del escurrimiento que a su vez fue verificada con mediciones de campo. Con los perfiles transversales se pudo identificar que los fondos de desagüe en la entrada y salida del tramo estudiado se corresponden a desniveles adecuados para el escurrimiento. Sin embargo, los terraplenes, los canales a cielo abierto y las condiciones de las alcantarillas dificultan el flujo continuo del agua. Este efecto se distingue en mayor medida en la segunda alcantarilla cuya cota de fondo es variable debido a la acumulación de sedimentos, residuos y vegetación. A su vez, la pendiente es casi nula y drena hacia allí el agua que brota de un surgente natural ubicado aguas arriba. Otro aspecto a destacar es la sección transversal que tienen ambos desagües. Dado que la sección que presentan bajo el Camino de La Carrindanga se reduce considerablemente en relación al conducto bajo las vías del FFCC.

Contar con este tipo de conocimiento contribuye con el estudio y prevención de las inundaciones urbanas. Tal como lo expresan [Salvan et al. \(2016\)](#) para el estudio de inundaciones en áreas urbanas es fundamental conocer las interacciones entre la escorrentía superficial y el flujo de los desagües. A esto se suman las especificidades de la topografía urbana que deben considerarse junto con la infraestructura vial. Es sobre este punto se ha tratado de avanzar a través de la integración de Tecnologías de la Información Geográfica. La presencia de pozos, barreras, canales, etc. complejizan la reconstrucción del terreno y por ende el modelado hidrológico en el ámbito urbano. Las fuentes de datos topográficos de alta resolución proporcionan un recurso de alto valor para el modelado hidrológico ([Willuweit et al., 2016](#)). De esta manera, la difusión de los avances en la obtención de información altimétrica ha mejorado la resolución espacial de los estudios del drenaje urbano aplicado al peligro de inundación. Es por ello, que recién en los últimos años se han identificado mejoras en el análisis hidrológico e hidráulico sobre cuencas urbanas. Tal es el caso de [Re et al. \(2017\)](#) que modelaron la dinámica hídrica de una cuenca de 20 km² del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) a través de información topográfica de alta resolución espacial. A la vez que validaron con las observaciones y testimonios de los habitantes del sector estudiado. En una línea similar de trabajo, [Lesparre Almada \(2020\)](#) contrastó la calidad planialtimétrica de MDTs obtenidos de vuelos fotogramétricos oficiales y de vuelos con VANT para la delimitación de subcuencas de drenaje en barrios

de San José (Uruguay). Encontró que estos últimos otorgan precisión si bien es fundamental eliminar las interferencias que generan las construcciones y la vegetación. A su vez, comprobó la importancia de la ejecución de perfiles topográficos para corroborar el direccionamiento del drenaje.

El conocimiento de las características topográficas naturales es fundamental para la gestión del drenaje urbano pues contribuye a determinar las posibles trayectorias de escurrimiento (Jefferson *et al.*, 2017; de Almeida *et al.*, 2018). En el presente trabajo se comprueba que el Camino de La Carrindanga es una barrera que interrumpe el flujo del agua hacia el arroyo Napostá Grande. Como se mencionó anteriormente esto fue compensado con las alcantarillas alineadas a las ya existentes debajo de las vías del FFCC que se extienden de forma paralela. Resulta interesante destacar que, en la construcción de las alcantarillas de las vías férreas, no se consideró la línea de encauzamiento natural identificada en el análisis de la topografía del sector. Sin embargo, el análisis altimétrico en función de la “cota de inundabilidad” permitió reconocer que de haber sido así, la alcantarilla hubiera quedado incluida en una zona inundable. Lo que incrementaría el volumen de agua en ese sector y el tiempo de anegamiento del camino.

El análisis del patrón de drenaje generado en función del Camino de La Carrindanga permitió identificar líneas de drenaje paralelas a éste, que resultan del encauzamiento del agua en los sectores de cuneta a través de canales a cielo abierto que se conectan con alcantarillas de diámetro reducido bajo los caminos de acceso a las propiedades. La acumulación de residuos y el crecimiento de la vegetación junto con la escasa pendiente dificultan el escurrimiento, lo que se manifiesta en anegamientos con precipitaciones que no necesariamente tienen que ser extremas. El paradigma actual de sistemas sostenibles de drenaje en áreas urbanas promueve la ralentización de los caudales y la acumulación del agua en superficies absorbentes o espejos de agua (Perales Momparler & Andrés-Doménech, 2008; Hernández-Hernández *et al.*, 2020). Para el caso estudiado, la presencia permanente de agua y las condiciones edáficas permiten el crecimiento de especies de vegetación de ribera nativa como las cortaderas (Cortaderia selloana) y totoras (*Typha subulata*) (Sanhueza *et al.*, 2016; Pirchi, 2019). Es sabido que la vegetación riparia contribuye con la protección de los cauces y cumple funciones hidrológicas relacionadas con la estabilidad del canal, el transporte y deposición de sedimentos, la calidad del agua, entre otros (Knighton, 2014). Sin embargo, en este caso la presencia excesiva de gramíneas y que se trate de canales artificiales ideados para facilitar el escurrimiento hacia los desagües imponen la necesidad de un manejo equilibrado entre el mantenimiento de las funciones ecosistémicas y de drenaje del agua.

6. Conclusiones

La delimitación del patrón de drenaje sobre la base de un MDT de alta resolución permitió estudiar la influencia de la infraestructura vial sobre el escurrimiento del agua en un sector incluido en el valle de inundación del arroyo Napostá Grande. Se pudo advertir el bloqueo del agua por parte del Camino de La Carrindanga y la construcción de alcantarillas para remediar este efecto. Por otra parte, con el análisis de perfiles transversales se conocieron las cotas de desagüe de estas obras de arte y se relacionaron con las cotas de la subcuenca que integran. Se verificó que las alturas relativas contribuyen con el flujo del agua. Sin embargo, factores identificados en los perfiles transversales, como por ejemplo pequeñas elevaciones o depresiones que rompen la pendiente, impiden una funcionalidad adecuada.

Por otra parte, se identificaron dos zonas de inundabilidad, a partir de lluvias normales para el área, que se relacionan con las microdepresiones en el terreno. El análisis de los perfiles permitió determinar un nuevo perfilado de la cuneta que se modifica con la acumulación de vegetación y basura. Por lo que el mantenimiento y limpieza del sector reducirían en el corto plazo la generación de anegamientos, pues acelerarían la escorrentía por las vías de desagües existentes. Sin embargo, en la zona baja, la diferencia de nivel de menos de 1 m entre el fondo de desagüe bajo las vías del FFCC y el curso del arroyo, sumado a las construcciones y relleno del terreno provocan el redireccionamiento del drenaje hacia aguas arriba, perdiendo conexión directa con el cauce principal. Esta situación genera que durante lluvias intensas el predio Zibecchi, que corresponde al sector sur del área de estudio, quede cubierto por agua durante varios días.

La gestión territorial urbano-ambiental en sectores donde el estudio del drenaje urbano es vinculante, requiere tal certeza que el desafío principal es contar con una base cartográfica de elevada resolución espacial y altimétrica. Esto impone la necesidad de integración de distintas técnicas de relevamiento altimétrico que surgen de la aplicación de TIG como también de métodos tradicionales. A su vez, llevar el análisis a distintas escalas permite reconocer la dinámica del escurrimiento en términos de áreas de generación y finalización. Por otra parte, el análisis in situ, con recolección de datos a nivel superficie, otorgó precisión a los análisis sobre MDT generados con VANT sobre sectores urbanos o arbolados.

Agradecimientos

El archivo vectorial de la ciudad de Bahía Blanca (en formato .dxf) fue provisto por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca.

Al estudio Span Agrimensura y Topografía, por brindar el VANT y el equipo GNSS y al Estudio de Agrimensura B+N por brindar los equipos GNSS.

Trabajo realizado en el marco del PGI “Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) aplicadas al estudio del Ordenamiento del Suelo 24/ZJ41”.

Referencias Bibliográficas

- Bertoni, J., Ambrosino, S. Barbeito O., Daniele, A., Maza, J., Paoli, C. y Serra, J. (2004). *Inundaciones urbanas en Argentina*. Universidad Nacional de Córdoba. I. <https://infoinundaciones.com/recursos/item/inundaciones-urbanas-en-argentina/>
- Caló J., Fernández E., Marcos A. y Aldacour H. (1999). Construcción de mapas geológicos ingenieriles a partir de conocimientos previos compilados en un Sistema de Información Geográfico. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 13, 1-10.
- Carrica, J. (1998). *Hidrogeología de la cuenca del Arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires*. [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad Nacional del Sur.
- Chocat, B. (1997). Aménagement urbain et hydrologie. *La Houille Blanche*, 83 (7), 12- 19. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1051/lhb/1997057>
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia.
- Coveney, S. y K. Roberts. (2017). Lightweight UAV Digital Elevation Models and Orthoimagery for Environmental Applications: Data Accuracy Evaluation and Potential for River Flood Risk Modelling. *Urban Water Journal*. 9 *International Journal of Remote Sensing*, 3 (8-10), 3159-3180. <https://doi:10.1080/01431161.2017.1292074>
- de Almeida, G. A. M., Bates, P., y Ozdemir, H. (2018). Modelling urban floods at submetre resolution: challenges or opportunities for flood risk management? *Journal of Flood Risk Management*, 11, S855-S865. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12276>
- Gentili, J., Aldalur, B., Gil, V. y Campo, A. (Octubre 2013). Áreas expuestas al peligro de crecidas en un tramo del arroyo Napostá Grande. Bahía Blanca, Argentina. [presentación en congreso]. *II Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica y II Jornadas de Sistemas de Información Geográfica*. Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento. Los Polvorines, Buenos, Argentina. <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH59eb.dir/doc.pdf>
- Gómez, M; Gaspari, F., Perdomo, R.; Simontacchi, L., Montealegre Medina, F., Rodríguez Vagaría, A, Tavarone, M. y Senisterra, G. (2017). Modelos digitales de elevación: correcciones altimétricas para uso hidrológico en áreas de llanura. *Acta geológica lilloana*, 29(1), 39-51. <http://www.lillo.org.ar/journals/index.php/acta-geologica-lilloana/article/view/v29n1a03>
- González, F.; Fernández, E. y Blanco, M. (Mayo 1988). Micromodelos geomorfológicos en la cuenca inferior del Napostá Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina [presentación en congreso]. *Actas II Jornadas Geológicas Bonaerenses* (pp. 213-220). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Fernández, S., Reguera, F., López, N., y Schefer, J. (Septiembre 2017). Revisión y Análisis de Estudios Realizados en la Cuenca del Arroyo Napostá Grande. [presentación en congreso]. *VI Congreso Bianual PROIMCA y IV Congreso Bianual PRODECA*. Universidad Tecnológica Nacional, Bahía Blanca. Argentina. <https://www.frbb.utn.edu.ar/prodeca-proimca/>
- Hashemi-Beni, L., Jones, J., Thompson, G. Johnson, C. y Gebrehiwot. A. (2018). Challenges and Opportunities for UAV-Based Digital Elevation Model Generation for Flood-Risk Management: A Case of Princeville, North Carolina. *Sensors (Switzerland)* 18 (11), 3843. <https://doi:10.3390/s18113843>
- Hernández Hernández, M.; Sauri Pujol, D. y Morote Seguido, Á. F. (2020). La gestión de las aguas pluviales en áreas urbanas: de riesgo a recurso en López Ortiz, M^a Inmaculada; Melgarejo Moreno, Joaquín (Eds.). *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 531-547). Universitat d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/109017>

- Instituto Geográfico Nacional (2009). *Disposición marco POSGAR07 No.20/2009*. http://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Disposicion_Marco_POSGAR_07.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Índice de Cuadra, Resultados definitivos. Buenos Aires, Argentina. <https://sig.indec.gov.ar/censo2010/>
- Jefferson, A. J., Bhaskar, A. S., Hopkins, K. G., Fanelli, R., Avellaneda, P. M., y McMillan, S. K. (2017). Stormwater management network effectiveness and implications for urban watershed function: A critical review. *Hydrological Processes*, 31(23), 4056–4080. <https://doi.org/10.1002/hyp.11347>
- Knighton, D. (2014). *Fluvial Forms and Processes: a new perspective*. Taylor and Francis.
- La Carrindanga. (26 de junio de 2013). *La Nueva*. <https://www.lanueva.com/nota/2013-6-20-9-0-0-la-carrindanga>
- Leitão, J.P., Boonya-Aroonnet, S., Prodanović, D. y Maksimović, Č. (2008). Influence of DEM resolution on surface flow network for pluvial urban flooding and simulations of integrated system. [conferencia]. *11th International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland, UK. http://tiwrm.hii.or.th/web/attachments/301_Influence%20of%20DEM%20resolution%20on%20surface%20flow%20network%20for%20pluvial.pdf
- Lesparre Almada, K. (2020). *Control de exactitud planialtimétrica de MDT y comparación de modelos topográficos en una centralidad de Ciudad del Plata: Apoyo al estudio de escurrimiento superficial*. [Tesis de Grado. Universidad de la República. Uruguay] <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/23852>
- Liu, J.; Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C., Shneider, S. y Taylor, W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513-1516. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1144004>
- Liu, Y., Bates, P. D., Neal, J. C., y Yamazaki, D. (2021). Bare-Earth DEM generation in urban areas for flood inundation simulation using global digital elevation models. *Water Resources Research*, 57, (4), 1-25. <https://doi.org/10.1029/2020WR028516>
- Mastrandrea, A. y Pérez, M. I. (2020). Representaciones sociales del riesgo hídrico en el sector inferior de la cuenca del arroyo Napostá Grande: un abordaje histórico-ambiental (1828-2018). *Investigaciones Geográficas*, (74), 197-222. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MP>
- McDonald, W. (2019). Drones in urban stormwater management: a review and future perspectives. *Urban Water Journal*, 16(7), 505- 518. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1687745>
- Mikkan, R. (2007). *Aguas Salvajes. El problema aluvional de la Ciudad de Mendoza*. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNCuyo.
- Ni el Zibecchi se salvó (13 de noviembre de 2002). *La Nueva Provincia*. Sección La Ciudad.
- Ordenanza 15.505 de 2009 [Municipalidad de Bahía Blanca]. Por la cual se crea el área particularizada del valle del arroyo Napostá. 19 de noviembre de 2009.
- Perales Momparler, S. y Andrés-Doménech, I. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, (124), 92-104. https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-12-18_10-16-07138437.pdf
- Pirchi, V. (2019). *Análisis hidrogeomorfológico en el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca*. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur.]. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5563>
- Piñón, D., Gómez, D., Smalley, R., Cimbaro, S., Lauría, E. y Bevis, M. (2018). The History, State, and Future of the Argentine Continuous Satellite Monitoring Network and Its Contributions to Geodesy in Latin America. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 475–482. <https://doi.org/10.1785/0220170162>
- Presutti, M. (Abril 2009). Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel con el DEMSRTM para estimar la altura de plantaciones forestales. [presentación en congreso]. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil. <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.19.08/doc/2943-2950.pdf>
- Salvan, L., Abily, M., Gourbesville, P., y Schoorens, J. (2016). Drainage System and Detailed Urban Topography: Towards Operational 1D-2D Modelling for Stormwater Management. *Procedia Engineering*, (154), 890–897. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.469>

- Re, M., Kazimierski, L. D., y Badano, N. D. (2019). High-resolution urban flood model for risk mitigation validated with records collected by the affected community. *Journal of Flood Risk Management*, 12. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12524>
- Rosatto, H, Rodríguez Plaza, L., Presutti, M., Atencio, A., Bott, G., Caso, C., Laureda, D., Gamboa, P., Villalba, G. y Meyer, M. (2009). Modelos digitales de elevación generados por captura directa e indirecta de datos fuente: evaluación de su calidad. *FCA UNCuyo*, 41(2), 73-84. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3181/t41-2-06-rosatto.pdf
- Sanhueza, C., Germain, P., Zapperi, G., Cuevas, Y., Damiani, M., Piovan, M., Tizón, R. y Loydi, A. (2016). *Plantas nativas de Bahía Blanca y sus alrededores. Descubriendo su historia, belleza y magia*. (2da ed.). Autoedición. <https://tellusorg.files.wordpress.com/2019/09/plantas-nativas-de-bb-y-la-regic3b3n-2016.pdf>
- Urriza, G. (Junio 2018). Expansión urbana en ciudades intermedias de crecimiento demográfico bajo: el caso de Bahía Blanca, Argentina. *Actas Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo. X Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. Barcelona, España. <http://dx.doi.org/10.5821/siiu.9151>
- Varela, H. y Cerana, J. L. (2008). *Valle del Arroyo Napostá. Análisis y conclusiones*. Informe final en el marco del Convenio de Colaboración entre la Dirección de Planeamiento Urbano, Municipalidad de Bahía Blanca y la Universidad Tecnológica Nacional.
- Willuweit, L., O'Sullivan, J. y Shahumyan, H. (2016). Simulating the effects of climate change, economic and urban planning scenarios on urban runoff patterns of a metropolitan region. *Urban Water Journal*, 13(8), 803–818. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036086>
- Zapperi, P. (2014). Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(1-2), 125-150. <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239105004.pdf>
- Zinger, S., Del Pozo, O. y De Gaetano, R. (1990). Bahía Blanca: análisis de la aptitud del medio natural para la expansión urbana. *Revista Universitaria de Geografía*, 4(1), 79-97.