

# Modelación hidrológica - hidráulica de la cuenca Sarandí - Santo Domingo ante un evento de precipitación extrema.

*Emilio A. Lecertua, Leandro D. Kazimierski, Mariano Re, Nicolás D. Badano y Ángel N. Menéndez*

Laboratorio de Modelación Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Programa de Hidráulica Computacional, Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua

E-mail: ealecer@yahoo.com.ar

## RESUMEN

La cuenca de los arroyos Sarandí y Santo Domingo atraviesa una zona urbana muy densamente poblada de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Abarca los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón, con un área de cuenca de 23.900 ha y población aproximada de 1.200.000 habitantes. El objetivo del presente trabajo es identificar las zonas más vulnerables ante un evento extremo de precipitación utilizando un modelo hidrológico – hidráulico.

Para el estudio de las inundaciones se utilizó el modelo SWMM, que es un modelo dinámico de simulación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía. Dado el tamaño y la complejidad de la zona de estudio, se desarrolló una metodología mayormente automática para el armado del modelo. A ese efecto se desarrolló el software ConuPy, consistente en una colección de rutinas que permiten captar información geográfica desarrollada en ArcGIS y armar la red de subcuencas, nodos y conexiones del modelo SWMM.

Se simuló un evento de características similares al sucedido en el partido de La Plata el 2 de abril de 2013. A partir de la modelación se obtuvieron las alturas máximas de inundación y se elaboraron los correspondientes mapas de inundación. Conjuntamente, se obtuvieron las velocidades máximas en las calles y se elaboraron mapas de inundabilidad dinámica, que representan una medida de la peligrosidad del escurrimiento en la red de drenaje urbana.

## INTRODUCCIÓN

El evento de precipitación excepcional sucedido en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada los días 2 y 3 de abril de 2013 ocasionó la muerte de más de 50 personas, innumerables daños materiales y graves secuelas psicológicas en las personas afectadas que aún hoy perduran ante cualquier amenaza de tormenta (SMN, 2013; UNLP, 2013).

Ante éste evento extraordinario, la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) solicitó al Instituto Nacional del Agua (INA) estudiar eventos de precipitación similares en distintas cuencas del Conurbano Bonaerense. El INA, a través de los Programas de Hidráulica Computacional, Hidráulica Fluvial e Hidráulica de Obras pertenecientes al Laboratorio de Hidráulica, focalizó los estudios en cuencas de alto grado de urbanización con graves problemáticas de inundación y donde la autoridad de cuenca es inexistente (INA, 2014). En este trabajo se presenta la modelación hidrológica - hidráulica de la cuenca Sarandí – Santo Domingo con el fin de identificar las regiones más afectadas frente a un evento de tales características.

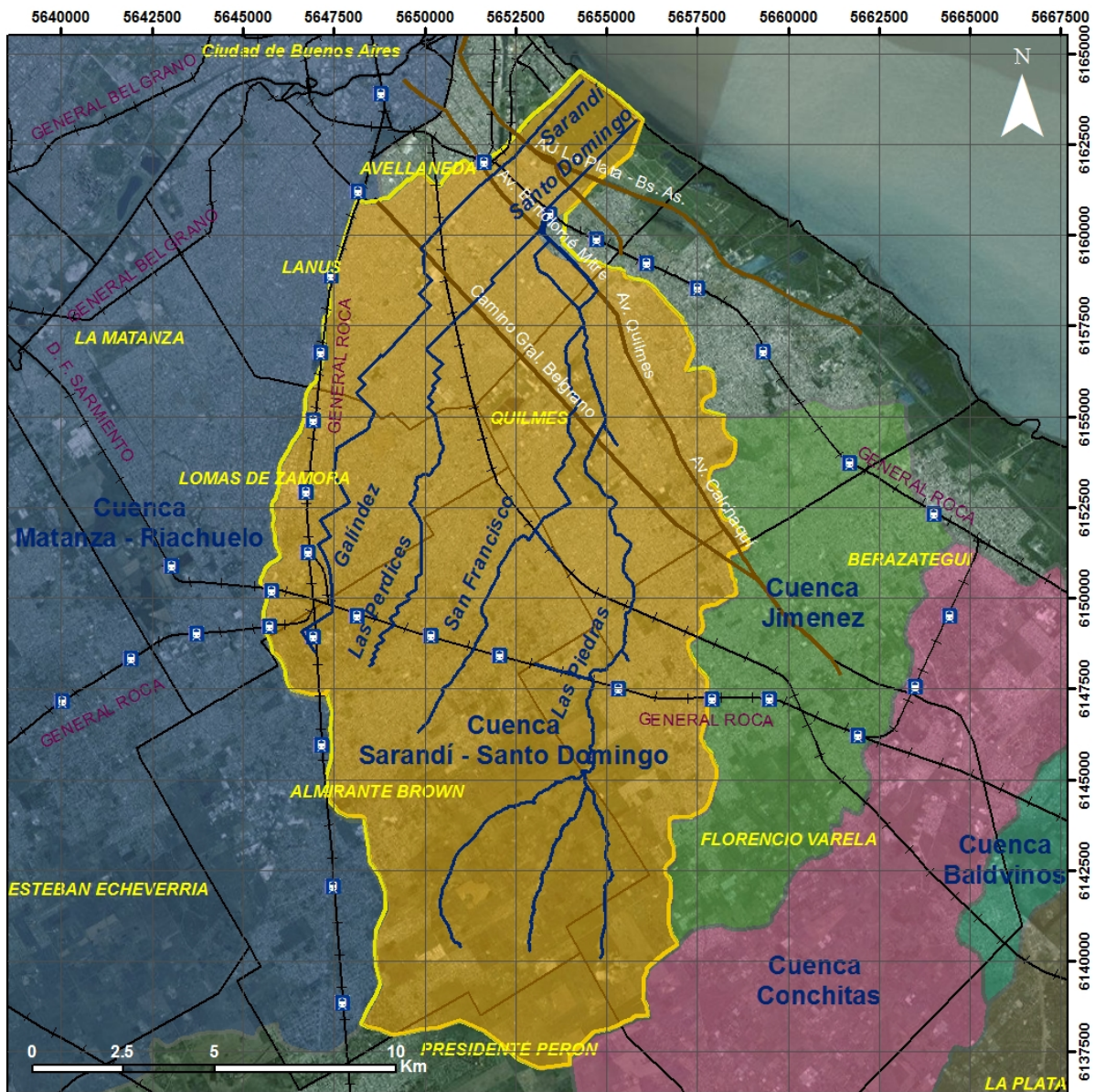
La cuenca de análisis abarca un área aproximada de 240 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón. Estos partidos forman parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), que concentra el 37% de la población total del país en un espacio menor al 1% del territorio nacional (Fernández, 2011). La RMBA posee una organización espacial compleja ya que cada sector de la aglomeración presenta determinadas características socio - económicas y físicas, lo que le genera a la sociedad un modo específico de interacción con el recurso hídrico.

A partir de la información de población del censo, discriminada por localidades, realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2010) en el año 2010, se estimó que la población total que habita en la cuenca alcanza aproximadamente los 1.200.000 habitantes. En la Tabla 1 se indican la cantidad de habitantes de la cuenca calculada por partido a partir del censo correspondiente.

**Tabla 1.- Población de la Cuenca**

<b>Partido</b>	<b>Población (Fuente: INDEC 2010)</b>	<b>Población Cuenca (Estimada)</b>
Almirante Brown	552.902	373.321
Avellaneda	342.677	154.197
Florencio Varela	426.005	172.090
Lanús	459.263	190.733
Lomas de Zamora	616.279	170.932
Presidente Perón	81.141	1.000
Quilmes	582.943	328.249
<b>Total</b>	<b>3.061.210</b>	<b>1.199.789</b>

La cuenca se orienta en sentido sur - norte y es vertiente al Río de la Plata. Es colindante a la cuenca del río Matanza – Riachuelo hacia el oeste y las cuencas de los arroyos Jiménez y Conchitas al este. Tiene una superficie aproximada de 240 km<sup>2</sup> (Figura 1).



**Figura 1.-** Cuenca Sarandí – Santo Domingo

Frente a la ocurrencia de tormentas de gran magnitud en la cuenca, se generan graves problemas de inundaciones por desborde de arroyos e insuficiencia en la red de drenaje. Esta situación se ha visto agravada en los últimos años, ya que la presencia de tierra vacante de propiedad pública sobre zonas inundables ha sido progresivamente ocupada por sectores que carecen de tierra y vivienda. Estas zonas de las cuencas se convierten en áreas críticas, siendo de alta vulnerabilidad frente a inundaciones.



## DESCRIPCIÓN DE LAS SUBCUENCAS

La cuenca está dividida en dos subcuencas principales: la subcuenca Sarandí, que incluye al arroyo Galíndez; y la subcuenca Santo Domingo que incluye a los arroyos Las Perdices, San Francisco y Las Piedras. En la Figura 2a se muestra la división de las subcuencas y los arroyos principales (discriminando si corresponde a canal a cielo abierto o entubado), mientras que en la Figura 2b se muestran las divisiones administrativas por localidad. A continuación se describe brevemente las características de las subcuencas.

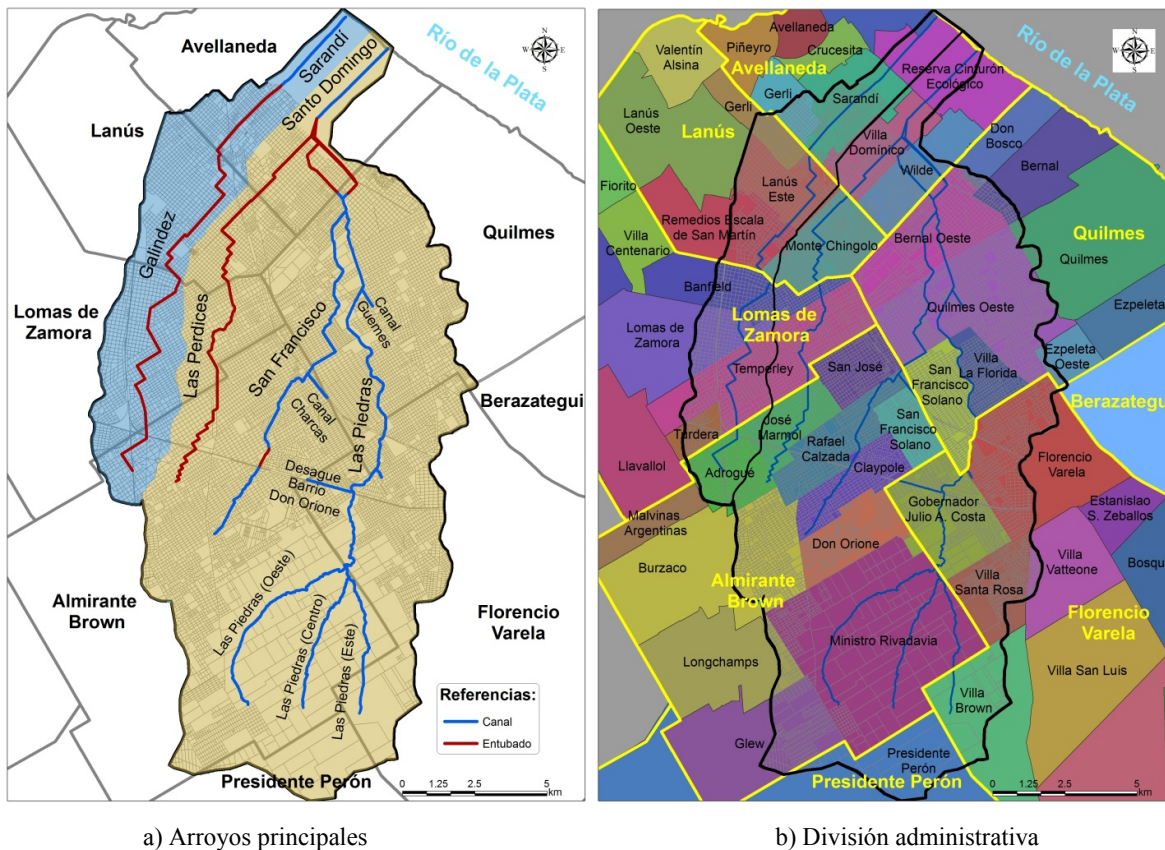


Figura 2.- Subcuencas del Sarandí – Santo Domingo

### *Subcuenca Sarandí*

La subcuenca del arroyo Sarandí comprende una superficie aproximada de 40 km<sup>2</sup> y se extiende sobre los partidos de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Almirante Brown. La longitud de su cauce principal es de aproximadamente 21 km. La superficie está completamente urbanizada, a excepción de la zona aguas abajo de la Autopista Buenos Aires – La Plata. Limita al oeste por el FFCC Roca (Ramal Plaza Constitución – Alejandro Korn) y vierte sus aguas en el Río de La Plata. Esta subcuenca ha sido modificada de forma artificial. Originariamente se extendía hasta las proximidades de la localidad de Longchamps, en el partido de Almirante Brown, donde nació el curso con el nombre de arroyo Las Perdices. Después de recibir como afluente al arroyo Galíndez, a la altura de Lanús, se convertía en el arroyo Sarandí hasta su desembocadura en el Río de la Plata. Mediante la obra denominada “Saneamiento de la Cuenca del Arroyo Sarandí y Santo

Domingo, 2° Etapa – Desviación y Entubamiento del Arroyo Las Perdices” (CFI, 2013) el arroyo Las Perdices fue entubado y conectado con el arroyo Santo Domingo, modificando el sistema de cuencas. Todo el sistema se encuentra entubado desde sus nacientes hasta el cruce con el Ferrocarril Roca (Ramal Pza. Constitución – La Plata). Luego se encuentra rectificado y a cielo abierto (Canal Sarandí) hasta su desembocadura al Río de la Plata.

### *Subcuenca Santo Domingo*

La subcuenca del arroyo Santo Domingo comprende una superficie de aproximadamente 200 km<sup>2</sup>, con una extensión del cauce principal de aproximadamente 23 km. Abarca parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón. El tramo principal es el arroyo Las Piedras, sus nacientes son 3 arroyos a cielo abierto de escasas dimensiones en la zona de cultivos de la localidad de Ministro Rivadavia, partido de Almirante Brown. El cauce toma importancia en el ingreso de la localidad de Gobernador Julio A. Costa, partido de Florencio Varela, donde recibe las aguas del desagüe del barrio Don Orión, paralelo a las vías del FFCC Roca. Continúa hacia aguas abajo atravesando las localidades de San Francisco Solano, Villa La Florida, Quilmes Oeste y Bernal Oeste. Luego de recibir como único afluente de importancia al arroyo San Francisco, penetra en una antigua zona de bañados (cañada de Gaete), se bifurca en un curso natural y otro artificial, entra nuevamente en una zona de bañados (cerca de Villa Gonnet), continuando luego hasta verter sus aguas en el Santo Domingo, que se encuentra canalizado. A lo largo de toda su traza permanece a cielo abierto, parcialmente rectificado en algunos tramos y de dimensiones variables. El arroyo Las Perdices, originariamente de la subcuenca del arroyo Sarandí, se encuentra interconectado al canal Santo Domingo mediante un sistema de conductos rectangulares (CFI, 2013).

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA - HIDRÁULICA

La modelación hidrológica – hidráulica se realizó a través del Modelo EPA-SWMM (Environmental Protection Agency, EEUU - Storm Water Management Model). Dada el tamaño y la complejidad de la zona de estudio se optó por desarrollar una metodología mayormente automática para el armado del modelo SWMM a partir de información básica. A ese efecto se desarrolló especialmente el software ConuPy, consistente en una colección de rutinas que permiten captar información geográfica desarrollada ArcGIS y armar la red de subcuencas, nodos y conexiones del modelo SWMM.

### *Modelo SWMM*

Es un modelo dinámico de simulación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía, utilizado para realizar simulaciones de eventos o continuas, calculando la cantidad y la calidad de escorrentía,

principalmente en cuencas urbanas (Rossman, 2009). El código es ampliamente usado para el planeamiento, análisis y diseño de sistemas de drenaje urbanos.

El código del EPA-SWMM está estructurado en tres módulos que interactúan entre sí para representar el comportamiento del sistema hídrico. Estos módulos y sus correspondientes funciones son:

- El Módulo de Escorrentía (RUNOFF) funciona con una serie de pequeñas subcuencas uniformes en las cuales ocurre la precipitación y se genera la escorrentía.
- El Módulo de Transporte (EXTRAN) analiza el recorrido del agua a través de un sistema compuesto por tuberías, canales a cielo abierto, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.
- El Módulo de Calidad del Agua permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal durante una simulación.

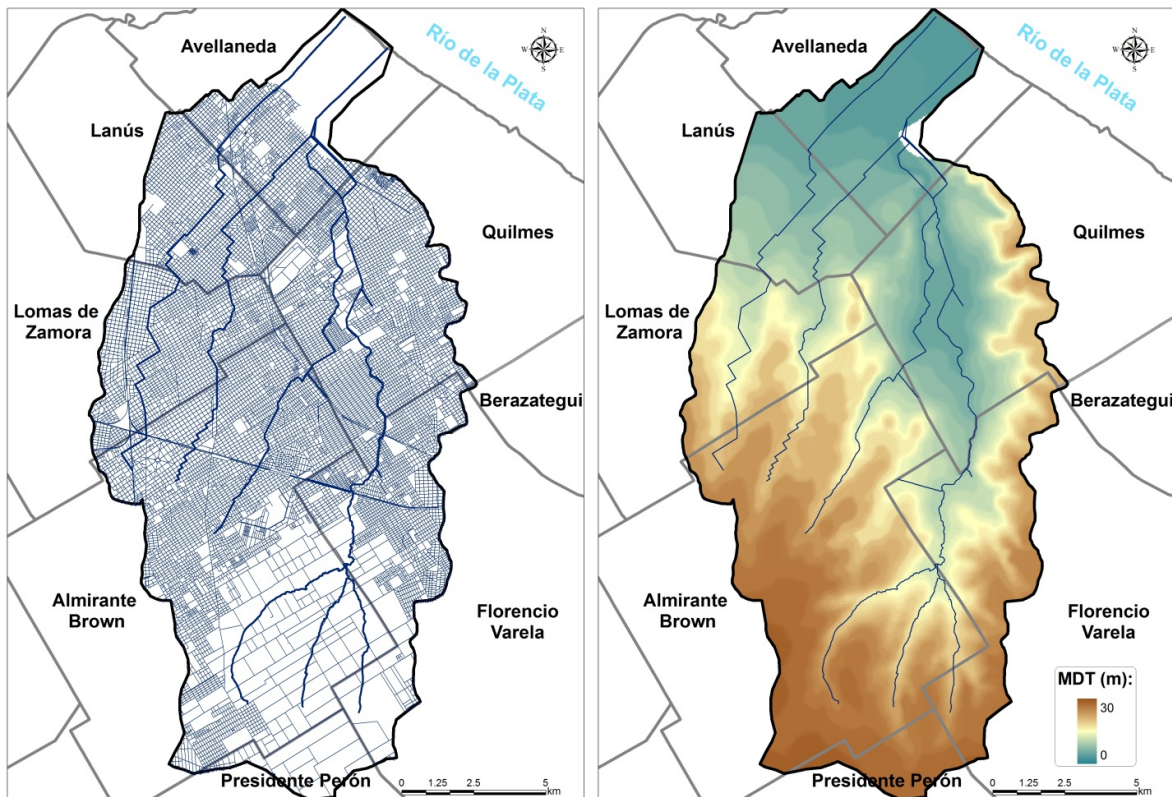
El modelo SWMM puede resolver las ecuaciones de transporte de una manera completamente dinámica. Este tratamiento permite resolver fenómenos como la acumulación del fluido en puntos bajos, la aparición de remansos, el trasvase entre cuencas vecinas, el flujo a presión, etc. El modelo está constituido por una serie de elementos interconectados, que representan individualmente partes del sistema hidrológicos. Estos elementos corresponden a pluviómetros, subcuencas, nodos, conducciones, orificios y vertederos.

### *Software ConuPy*

El software ConuPy es una colección de rutinas que permiten captar información geográfica, está escrito en Python 2.5 y utiliza la interfaz de ArcObjects para automatizar algunos procesamientos en ArcMap. De esta manera ConuPy permite al modelador de abstraerse del formato de ingreso de datos del SWMM, y armar los elementos a representar dentro de la relativa comodidad de ArcGIS. Esto permitió, entre otras cosas, representar la red de calles completa de las cuencas, sin necesidad de imponer simplificaciones a priori. La información básica utilizada por el software, se detalla a continuación:

- Red de arroyos a cielo abierto y entubados (formato: shape de líneas): incluye todos los tramos a modelar, cada uno de los cuales con propiedades asociadas, que indican si son superficiales o entubados, así como su ancho y alto. (Figura 3a).
- Red de calles (formato: shape de líneas): cada filamento representa una calle entre dos esquinas, con su correspondiente ancho. Los datos catastrales de la región corresponden a la Cartografía digital que fue utilizada en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 en la provincia de Buenos Aires (<http://www.ec.gba.gov.ar>) (Figura 3a).

- Modelo digital del terreno (MDT) (formato: raster): indica la elevación del terreno en cada punto. Para la elaboración del MDT se utilizaron los planos y cartas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en escalas 1:50.000 de los diferentes partidos involucrados (Figura 3b).



a) Red de arroyos y calles

b) Modelo Digital del Terreno

**Figura 3.-** Información básica

- Cuenca de análisis (formato: shape de polígonos): se utiliza para limitar la extensión de las subcuencas.
- Mapa de precipitaciones (formato: raster): indica la relación entre la precipitación en un punto y la máxima en la cuenca. Se consideró un evento de características similares al de La Plata, centrado en la cuenca.
- Mapa de impermeabilidad (formato: raster): indica el porcentaje del terreno que es permeable. Se estimó a partir de la interpretación de imágenes satelitales.
- Mapa de pendientes (formato: raster): indica las pendientes medias del escurrimiento. Se obtuvo a partir del MDT.
- Puntos de salida (formato: shape de puntos): se definen los puntos por los que se permite la salida de agua del modelo, típicamente en el borde de aguas abajo de la cuenca.

Las principales etapas del algoritmo de generación del ConuPy se esbozan a continuación:

- 1) Generación de los nodos y tramos de arroyos y conductos. El software lee el shape de arroyos y conductos. Se crean nodos a lo largo de los cursos y se unen con tramos cuya sección depende del alto y ancho especificado para el tramo y de si está o no entubado. Los extremos de cada arroyo se conectan a nodos intermedios de otros arroyos si están próximos. Los nodos a los que solo llegan tramos entubados se consideran subterráneos.
- 2) Generación de los nodos esquina y de los tramos calles. Se lee cada cuadra del archivo shape. Cada cuadra se conecta a nodos esquina ubicados en sus extremos. Si una calle atraviesa un tramo arroyo, la calle se divide en dos semi-tramos que se conectan al nodo arroyo.
- 3) Generación de los sumideros. Los nodos esquina ubicados a menos de 80 m de un nodo subterráneo se conectan a éste mediante un orificio, con dimensiones representativas de un sumidero
- 4) Generación de las subcuencas. Todos los nodos superficiales, ya sea que pertenezcan a arroyos o a esquinas se consideran puntos de descarga de subcuencas. Dada la gran cantidad de subcuencas en la zona de estudio, la forma de las subcuencas se definió con un criterio de proximidad, construyéndolas como polígonos de Thiessen centrados en los nodos superficiales. Estos polígonos se recortan al contorno de la cuenca de estudio y se les calcula el área.
- 5) Muestreo de las propiedades de los nodos y subcuencas. Los rasters de entrada se muestrean en cada nodo. Las propiedades medias de cada subcuenca se consideran iguales a las muestreadas en su nodo central.
- 6) Generación de las series de precipitación y asignación a cada subcuenca. Se generan 20 series de precipitación escalando la serie máxima de la cuenca con coeficientes de entre 0 y 100%, a intervalos de 5%. Luego, en función del mapa de precipitaciones, muestreado en cada centro de subcuenca, se asigna a cada una la serie correspondiente.
- 7) Generación de nodos de salida. Se leen los puntos de salida, y allí se crean nodos outfalls de salida para el SWMM. Todos los nodos cercanos se conectan a estos nodos outfalls para establecer condiciones de borde de salida.
- 8) Generación del archivo de entrada para el SWMM. Se genera finalmente el archivo de entrada para el SWMM, que contiene toda la información generada en un formato apropiado para su lectura.

#### *Descripción de la modelación:*

El módulo hidrológico funciona con una serie de superficies, tratadas como depósitos no lineales, las cuales al ser sometidas a un evento de precipitación generan excedentes superficiales. Para la determinación de los excedentes superficiales se adoptó el método de infiltración de Horton, con tasas máximas y mínimas de 50



mm y 2 mm, respectivamente y una tasa de decaimiento de 2 mm/hr. Estos valores fueron los mismos con los que se calibró el modelo de La Plata (UNLP, 2013). La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de los sectores permeables, pero no a través de los impermeables. El flujo de escorrentía desde un sector de la cuenca puede fluir hacia otro sector, o ambos pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

Para el módulo hidráulico, ante la faltante de datos de las conducciones y teniendo en cuenta que se trata de un gran área de estudio, se consideraron los conductos enterrados con sección rectangular equivalente a lo informado por distintas entidades. La tapada mínima adoptada fue de 0,30 m y se realizó un perfilado manual de las conducciones evitando generar pendientes negativas. El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado fue de 0,04. Las conducciones secundarias (menores a 1 m de diámetro) no se modelaron, tomando como hipótesis que ante un evento extraordinario no tienen un gran efecto de sensibilidad en los resultados. Los arroyos fueron representados con secciones trapeciales, a partir del análisis de imágenes satelitales y fotografías del lugar, adoptando distintos coeficientes de rugosidad de Manning (canales con vegetación o revestidos en hormigón). Las calles, por su parte, tienen adoptada una sección transversal con la forma de la calzada (altura del cordón de 0,20 m, ancho de vereda de 2 m, y mayor altura en el centro de la calle). Los sumideros adoptados tienen una altura de 0,15 m, ancho de 2 m y un coeficiente de gasto de 0,60.

El evento de precipitación corresponde al sucedido en la Ciudad de La Plata y alrededores. Se tomó como hietograma de precipitación máximo centrado en la cuenca el documentado en la estación Observatorio de La Plata con un acumulado total de 395 mm en 24 horas y una tasa máxima horaria de 116 mm/hr (Figura 4).

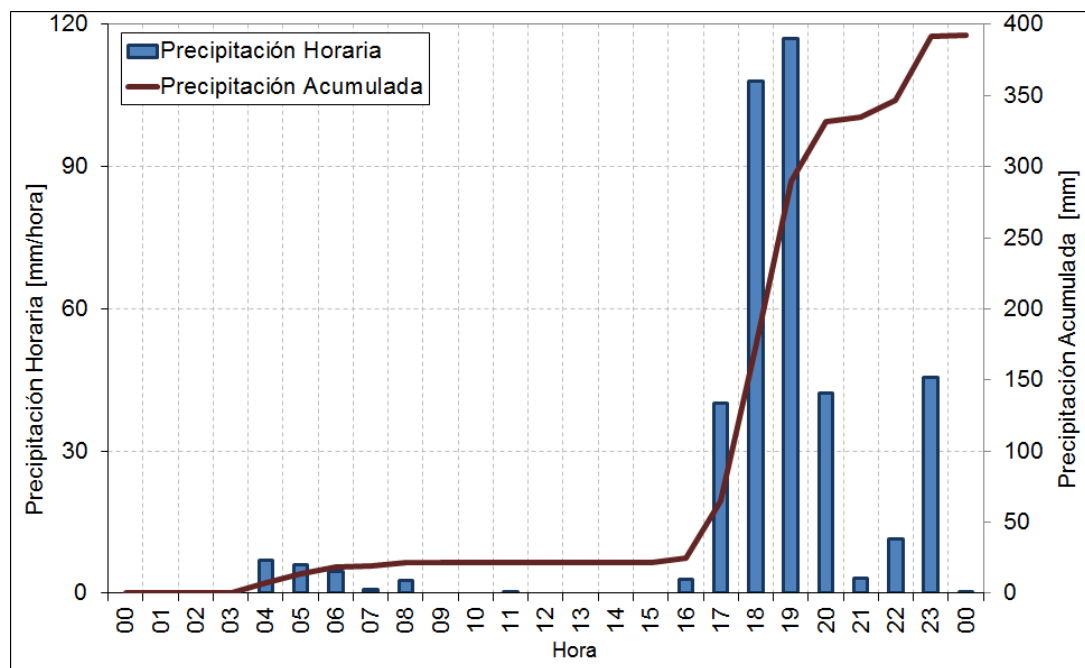


Figura 4.- Hietograma del Observatorio de La Plata.

El período total de simulación fue de 3 días, el inicio de la misma comienza el día 2 de abril de 2013 a las 00 hs, permitiendo el escurrimiento de una gran parte de las aguas, y con los niveles y velocidades máximas ya

superadas en todos los nodos. La modelación se realizó con un paso de tiempo de 10 segundos acorde con la condición de Courant. Se fijó como condición inicial que, tanto en las cuencas como en el sistema de desagües, red mayor (calles y arroyos) y red menor (red de conductos), los niveles y caudales fueran nulos. Como condición de borde de descarga se impuso el nivel medio del Río de La Plata estimado en 0.30 mIGN.

Para la modelación del sistema se utilizaron la cantidad de elementos descriptos en la Tabla 2, donde se resalta la gran cantidad de conducciones (calles en su mayoría) teniendo en cuenta que no forman parte del modelo las conducciones secundarias de la red pluvial.

**Tabla 2.-** Cantidad de elementos modelados.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Subcuencas	18183
Nodos	18651
Conducciones	30798
Orificios	553
Vertederos	481

Vale aclarar que el modelo fue concebido para analizar crecidas extraordinarias, no para eventos de alta probabilidad de ocurrencia, por ende es muy complejo realizar una calibración del mismo. Se espera poder realizar una calibración y validación en etapas posteriores con lluvias de gran magnitud que provocaron inundaciones significativas en la zona.

## RESULTADOS

A partir de la modelación hidrológica - hidráulica se elaboraron distintos mapas, perfiles transversales y longitudinales de niveles de agua en zonas de interés. Los caudales máximos erogados por los arroyos alcanzan 140 m<sup>3</sup>/s en el arroyo Sarandí y 175 m<sup>3</sup>/s en el Santo Domingo, aproximadamente 16 horas después del pico del hietograma.

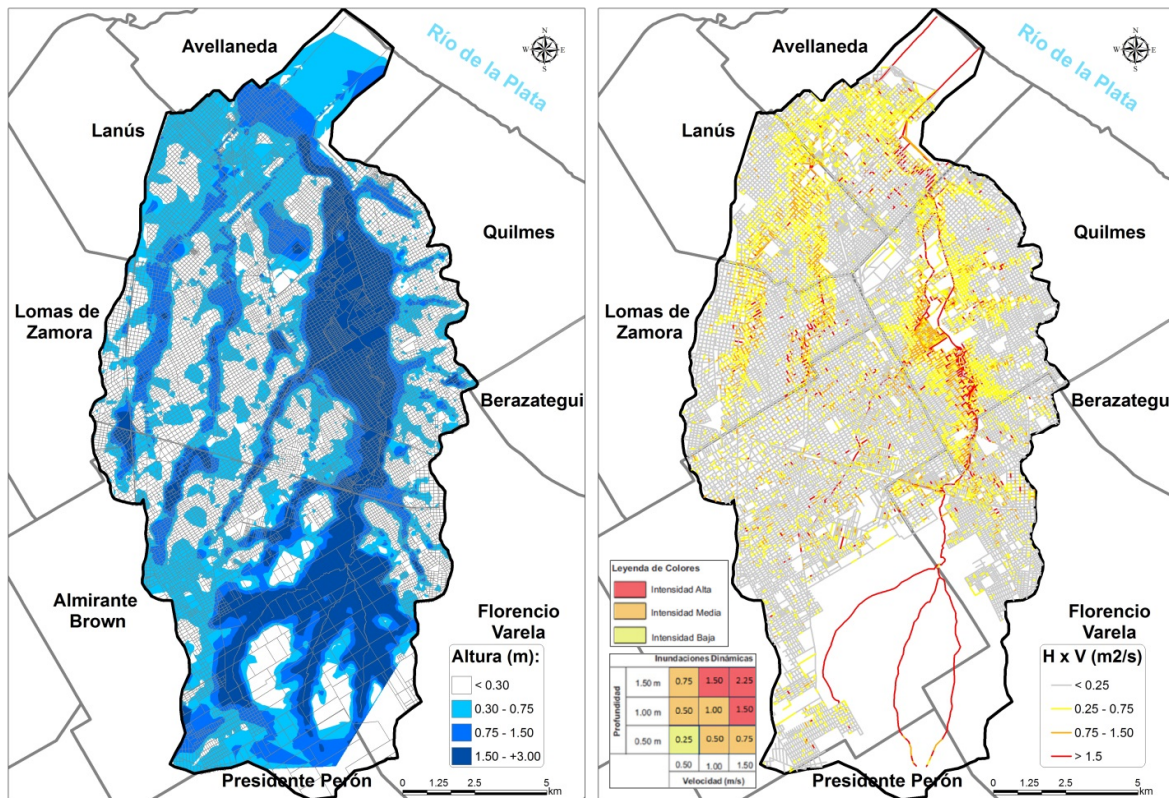
En primer lugar se presenta un plano con los alcances máximos superficiales para toda la cuenca (Figura 5a). La zona con mayor altura de agua, superando los 3 m, sucede aguas arriba de la confluencia de los arroyos Las piedras y San Francisco abarcando un área de aproximadamente 900 hectáreas. Esta zona era mayoritariamente industrial con grandes espacios verdes que han sido ocupados por asentamientos y villas en los últimos años, lo que hace que sea una zona muy vulnerable frente a las inundaciones. El modelo no incluye los conductos secundarios, por lo que algunas zonas naturalmente bajas, pero con red pluvial debidamente construida y mantenida, tendrían en la realidad un nivel inferior ya que tienen un escurrimiento efectivo.

También se calculó el coeficiente de inundabilidad dinámica. Este se define como el producto del tirante y la velocidad del agua en un punto determinado, y es una medida de la peligrosidad del escurrimiento en la red de drenaje urbana. En la Tabla 3 se indica la escala de valores de inundación dinámica. Un nivel alto genera daños importantes para la economía y pérdida de vidas humanas; un nivel medio genera menores daños que en el caso anterior, pero no son despreciables. Por último, un nivel bajo genera daños generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

**Tabla 3.-** Escala de valores de Inundación Dinámica.

Niveles de Intensidad	Profundidad x Velocidad del flujo (m <sup>2</sup> /s)
Alto	$H \cdot V \geq 1.5$
Medio	$0.5 \leq H \cdot V < 1.5$
Bajo	$H \cdot V < 0.5$ y $H \geq 0.25m$

A partir del cálculo del coeficiente en cada una de las calles que componen la red de drenaje superficial de la cuenca urbana se obtuvieron los mapas con los valores máximos de este parámetro (Figura 5b). Cabe aclarar que el máximo valor de inundabilidad dinámica en un punto, no es necesariamente igual al producto de los valores máximos de tirante y de velocidad, ya que estos últimos pueden no suceder de forma simultánea.

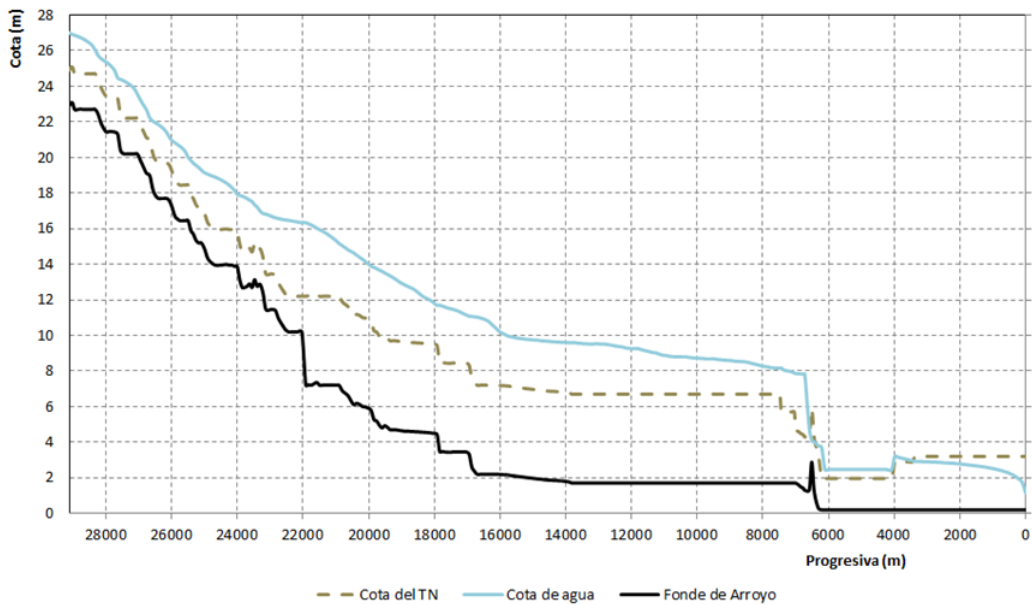


a) Alcance Máximo Superficial

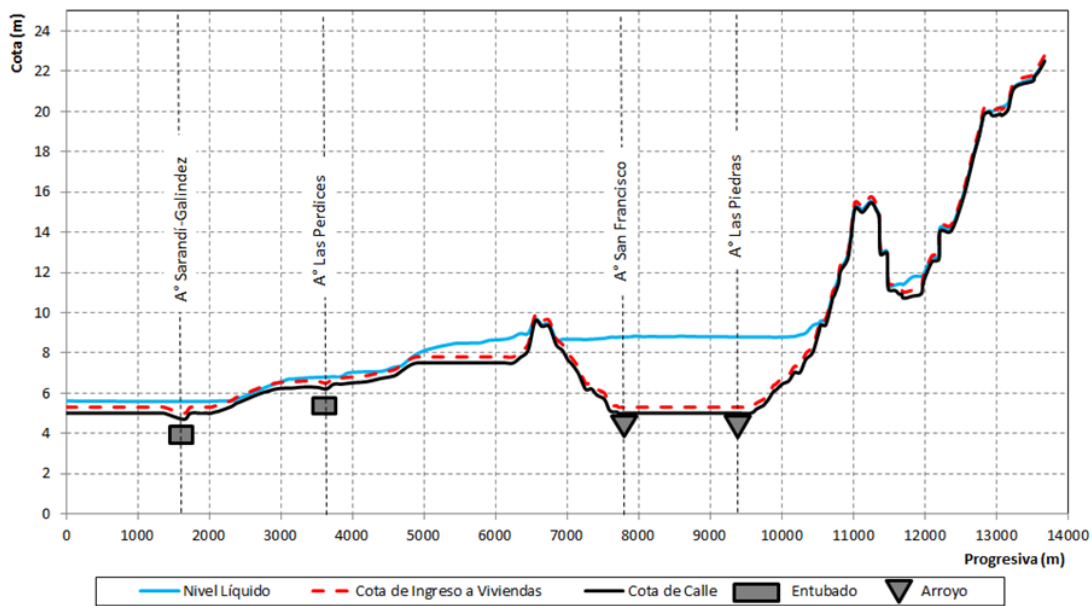
b) Inundabilidad Dinámica

**Figura 5.-** Mapa de inundación

Se elaboraron los perfiles longitudinales y transversales de nivel máximo alcanzado sobre la traza de los arroyos: Sarandí – Galíndez, Las Perdices, San Francisco y Las Piedras. Los arroyos Sarandí - Galíndez y Las Perdices permanecen mayormente entubados, mientras que Las Piedras y San Francisco se encuentran a superficie libre desembocando en los canales rectificados hasta su descarga en el Río de la Plata. En la Figura 6a se muestra el perfil longitudinal del arroyo Las Piedras, mientras que en la Figura 6b se muestra un perfil transversal del nivel del terreno, nivel de ingreso a viviendas y nivel máximo de agua sobre el Camino Gral. Belgrano que cruza toda la cuenca en dirección noroeste - sudeste.



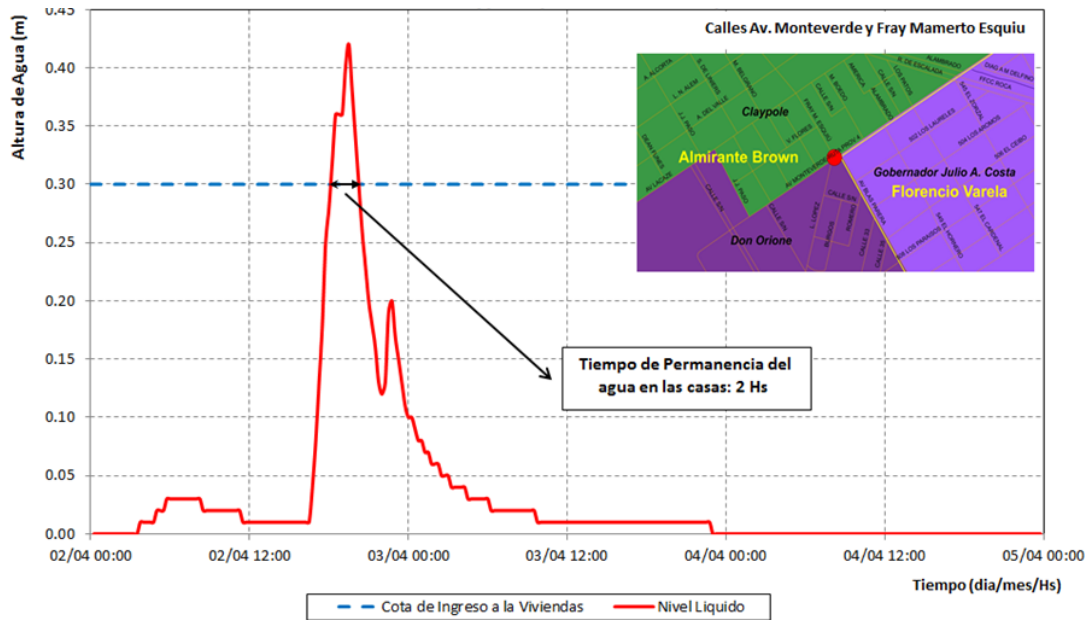
a) Perfil longitudinal del Arroyo Las Piedras



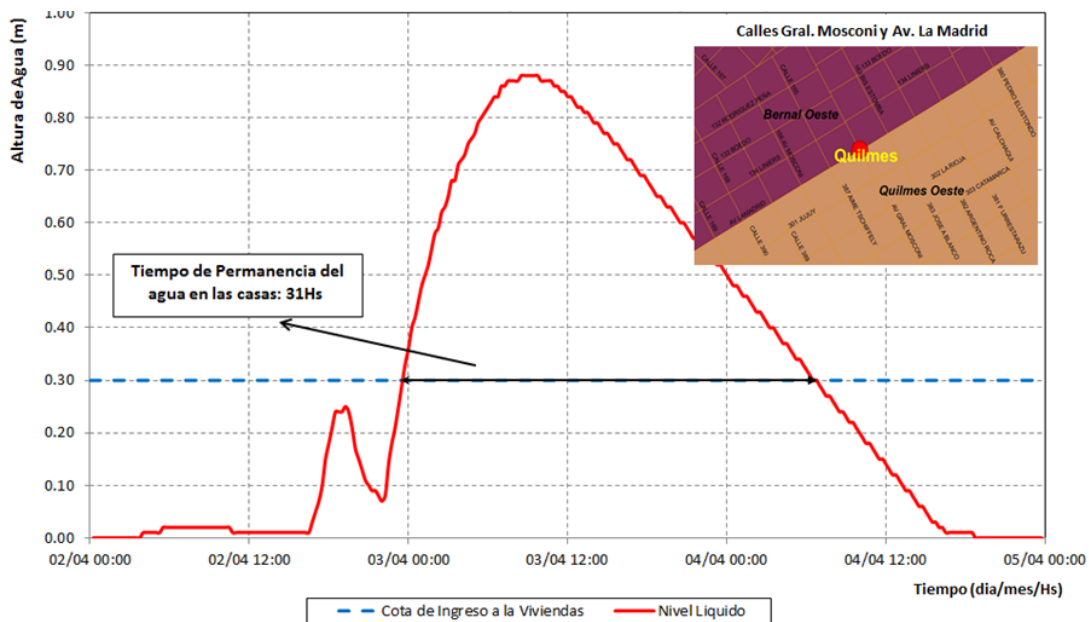
b) Perfil transversal sobre el Camino Gral. Belgrano

**Figura 6.-** Perfil longitudinal y transversal

En algunos puntos de interés (dos o tres por partido), como intersecciones de avenidas o estaciones de tren, se presentan alturas de agua en función del tiempo de inundación. En la Figura 7 se puede observar dos ejemplos, donde se muestran zonas con niveles de agua que superan el límite de los 30 cm (límite establecido de ingreso a las viviendas). Los tiempos de inundación van desde 2 horas en Estación de Claypole (Almirante Brown) llegando hasta más de 30 horas en el límite de Bernal Oeste y Quilmes Oeste, Avenida Mosconi (Quilmes) el cual se encuentra muy cerca del arroyo Las Piedras.



a) Estación de Claypole



b) Límite Bernal Oeste y Quilmes Oeste

Figura 7.- Tiempo máximo de permanencia



## CONCLUSIONES

Ante el evento de precipitación que se produjo el 2 de abril de 2013 en la ciudad de la Plata, desde la SSRH se intentó evaluar lo que sucedería frente a un evento de precipitación de similares características en distintas regiones del Conurbano. Ante este requerimiento específico se desarrolló el software ConuPy, que permite el armado automático del modelo SWMM, a partir de información básica de la cuenca (red de calles, arroyos, MDT, etc). La implementación y utilización de este software permitió dar una respuesta en tiempo razonable para la cuenca Sarandí – Santo Domingo. Este mismo procedimiento puede ser replicado con relativa facilidad en cualquier área urbana sometido a inundaciones por eventos extremos de precipitación.

Con la modelación hidrológica - hidráulica se identificaron los niveles máximos de inundación, inundabilidad dinámica, tiempos máximos de permanencia y áreas afectadas.

Del análisis de los resultados, se desprende que el área de Quilmes Oeste representa la región más afectada, especialmente los antiguos bañados hoy precariamente urbanizados. Las calles que descargan sus aguas en el arroyo Las Piedras en las localidades de San Francisco Solano y Villa La Florida son los que presentan mayor peligrosidad por inundabilidad dinámica.

Los tiempos de permanencia de agua con alturas mayores a los 0,30 m por un largo período de tiempo y valores de inundabilidad dinámica superiores a 1,50, generan daños muy importantes que implican la necesidad de tener planes de contingencia en la cuenca para intervenir en las zonas más comprometidas.

## REFERENCIAS

- Consejo Federal de Inversiones (CFI), 2013. *Sistematización Hídrica y Control de Inundaciones en la Cuenca del Arroyo Las Perdices*. Exp. CFI N° 12334 00 01.
- Fernández, L., 2011. *Censo 2010. Somos 14.819.137 habitantes en la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Instituto del Conurbano. Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Instituto Nacional del Agua (INA), 2014. *Estudio de Inundabilidad del Conurbano Bonaerense. Informe de Diagnóstico. Cuencas Arroyos Luján, Sarandí, Santo Domingo, Jiménez y Las Conchitas*. Laboratorio de Hidráulica.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*.
- Rossman, L.A., 2009. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2013. *Características meteorológicas del evento de precipitaciones intensas ocurridas el 2 de Abril de 2013*. Informe del 25 de Abril de 2013.
- Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 2013. *Estudio sobre la Inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Ensenada y Berisso*. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica.