

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329275773>

# Hidrometría para la calibración y validación del modelo hidráulico de la cuenca Sarandí-Santo Domingo

Conference Paper · November 2018

CITATIONS

0

READS

99

4 authors:



**Nicolás Ortiz**

Instituto Nacional del Agua

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Mariano Re**

Instituto Nacional del Agua

66 PUBLICATIONS 242 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Leandro David Kazimierski**

Instituto Nacional del Agua

28 PUBLICATIONS 29 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Pablo Ezequiel Garcia**

Instituto Nacional del Agua

38 PUBLICATIONS 37 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Inundaciones en cuencas urbanas: Comprender la dinámica del agua para contribuir a la implementación de medidas no estructurales. [View project](#)



Anticipando la crecida [View project](#)

# Hidrometría para la calibración y validación del modelo hidráulico de la cuenca Sarandí – Santo Domingo.

*Nicolás E. Ortiz<sup>1</sup>, Mariano Re<sup>1,2</sup>, Leandro D. Kazimierski<sup>1,2</sup> y Pablo E. García<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina.

E-mail: nicolas.eortiz@gmail.com

**RESUMEN:** Para el estudio de inundaciones en cuencas urbanas es preciso contar con modelos numéricos que representen de manera eficiente la dinámica hídrica sobre el territorio. Una etapa importante del proceso es la calibración y validación del modelo, el cual le otorga confiabilidad a los resultados derivados de su explotación y permite avanzar sobre el desarrollo de múltiples estrategias de control de inundaciones. En el presente trabajo se aborda el proceso de calibración y validación de un modelo hidrológico – hidráulico en una cuenca urbana haciendo uso de registros hidrométricos con soporte de instrumental instalado por el Programa de Hidráulica Computacional del Instituto Nacional del Agua. Los resultados obtenidos muestran un buen acuerdo entre las series de nivel observada y simulada para distintos eventos.

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia frecuente de inundaciones en cuencas urbanas densamente pobladas obliga a pensar una gestión integral de este tipo de eventos. Esto significa abordar a la inundación en sus distintas etapas de desarrollo: antes, durante y después. Considerando a la planificación de las acciones a desarrollar en alguna de estas etapas como una medida no estructural importante en la mitigación del impacto, es necesario disponer de una herramienta de evaluación de las inundaciones urbanas que permita comprender mejor su desarrollo, para ello la modelación numérica representa un recurso valioso.

Gran parte de las cuencas urbanas de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) no se encuentran instrumentadas y en menor grado se cuenta con modelos hidráulicos que representen la dinámica hídrica de los cursos de agua presentes.

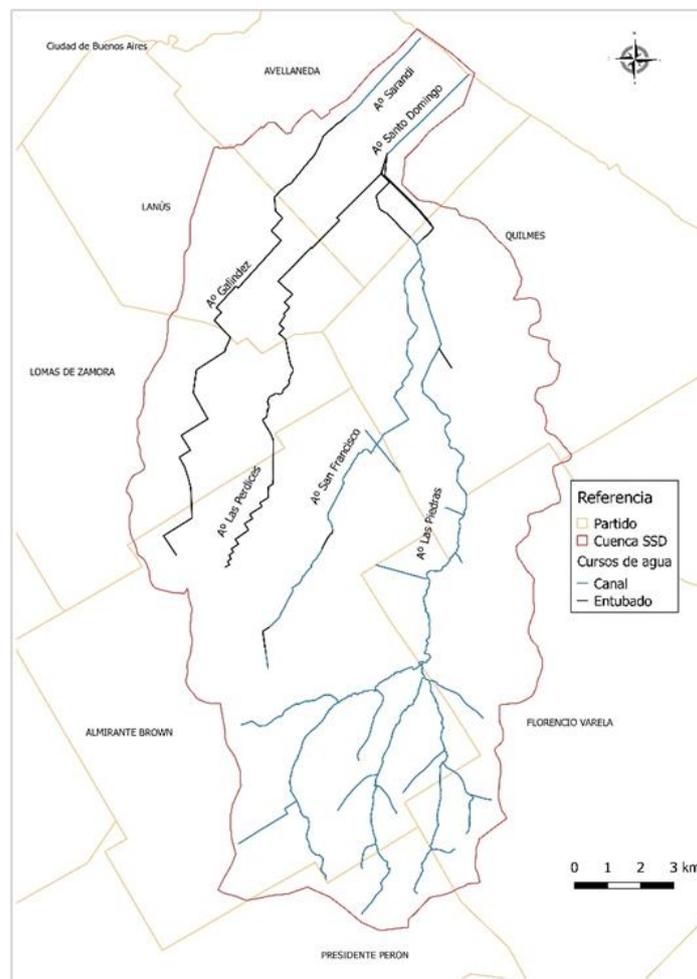
En este trabajo se presenta el proceso de calibración de un modelo hidrológico – hidráulico de la cuenca Sarandí – Santo Domingo (SASD) con un evento de lluvia de magnitud moderada y la validación con cuatro eventos de lluvia de diferentes magnitudes y distribución espacial y temporal ocurridas en el área de estudio.

Para el desarrollo del proceso se procedió a la instalación de un pluviógrafo en el partido de Florencio Varela y dos sensores de nivel; uno ubicado sobre el arroyo Las Piedras y otro sobre el arroyo San Francisco (ambos en el partido de Quilmes).

Los productos obtenidos de la modelación fueron series de nivel en las estaciones de bombeo donde se encuentran instalados los sensores de nivel sobre el arroyo Las Piedra y San Francisco, permitiendo comparar series observadas y simuladas.

## CUENCA SARANDÍ – SANTO DOMINGO

La cuenca SASD se orienta en sentido sur - norte y es vertiente al Río de la Plata. Abarca los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón de la RMBA con una superficie de 240 km<sup>2</sup> y una población aproximada de 1.400.000 habitantes según el Censo 2010. Los principales arroyos de este sistema son el Galindez (Sarandí), y Las Perdices, San Francisco y Las Piedras (Santo Domingo). Es colindante a la cuenca del río Matanza– Riachuelo hacia el oeste y las cuencas de los arroyos Jiménez y Conchitas al este (Figura 1).



**Figura 1.-** Cuenca de estudio y red hidrográfica.

## HIDROMETRÍA

La falta de registros de nivel en los arroyos de la cuenca para realizar una correcta calibración de los modelos desarrollados y poder comprender la dinámica de la cuenca generó la necesidad de la instalación de dos sensores de nivel: uno sobre el arroyo Las Piedras en el barrio La Sarita de Quilmes y otro sobre el arroyo San Francisco en el barrio Santa María de Quilmes (Figura 4a).

Los sensores de nivel están compuestos por un transmisor de nivel y un datalogger, teniendo la capacidad de transmitir a través de red celular 2G y 3G. El sensor de marca “fdx-Ingeniería” funciona por medio de ultrasonido. La necesidad de elegir un sitio de emplazamiento con energía eléctrica y resguardado para evitar el vandalismo motivó la instalación en las Estaciones de Bombeo n°4 y n°10 de Quilmes (Figura 2).



**Figura 2.-** Instalación de sensor de nivel en la estación de bombeo n°4, Quilmes, sobre el Arroyo Las Piedras.

A su vez, se instaló un pluviómetro en el Centro de Salud Padre Carlos Mujica del Municipio de Florencio Varela (Gobernador Costa) (Figura 4a) obteniendo así datos en un lugar central de la cuenca. El pluviómetro instalado es de la marca DAVIS con sistema de cangilones de 0.2 mm de precisión y transmisión de la información por red de celular (Figura 3).



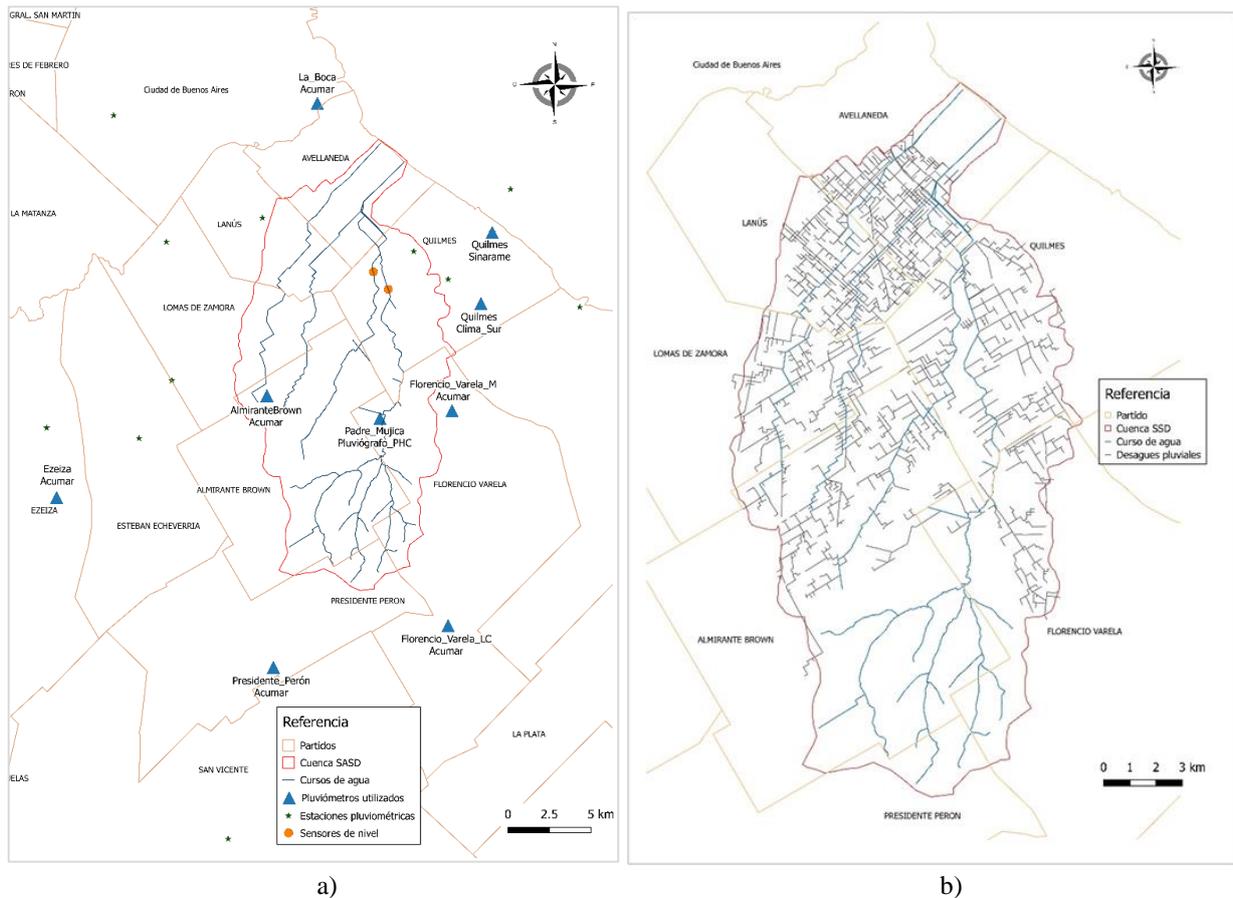
**Figura 3.-** Instalación de pluviómetro (izquierda) y visualización de los registros de precipitaciones (derecha).

## MODELACIÓN NUMÉRICA

Se utilizó una versión personalizada del modelo de código abierto EPA – SWMM v5.12 (Storm Water Management Model; US Environmental Protection Agency), ya que modela todos los procesos requeridos para este problema. Para hacer frente a la naturaleza de alta resolución del enfoque de modelación seleccionado, se desarrolló una metodología automática para la implementación del modelo EPA – SWMM. Una herramienta de preprocesamiento y posprocesamiento de código abierto, llamada Conupy (disponible en <http://gitlab.com/nicolas-d-badano/conupy>), que consiste en una colección de funciones de Python que transforma datos georreferenciados desde un entorno GIS y automáticamente construye el esquema discreto para la modelación en EPA – SWMM (referencia paper Dupuy).

Los niveles en el arroyo Las Piedras se obtuvieron de la simulación de eventos de precipitación ocurridos sobre el territorio con el modelo hidrológico - hidráulico de la cuenca SASD (Lecertua et al, 2015), al cual se le actualizó el modelo digital del terreno, la red de drenaje superficial y las condiciones de impermeabilidad.

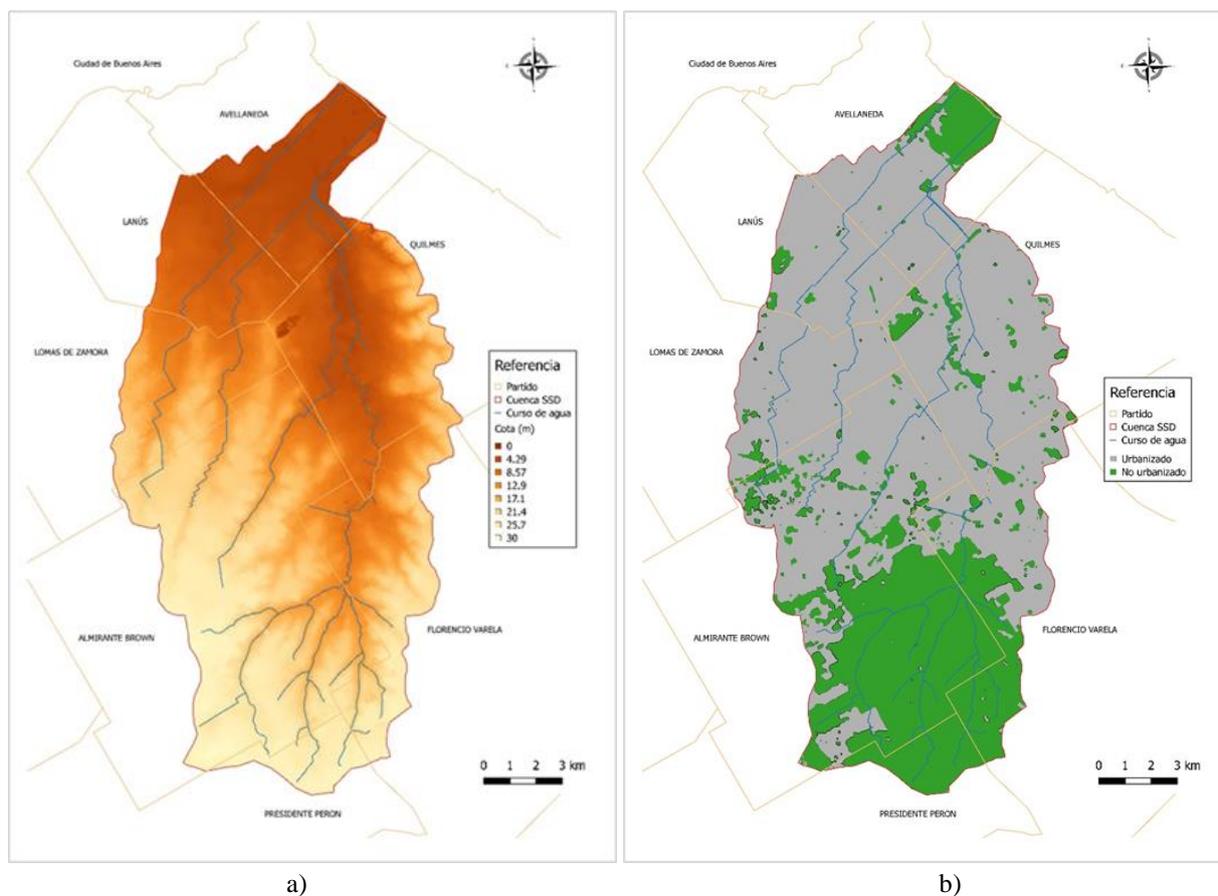
La red de drenaje superficial se desarrolló con más detalle a partir del uso de una orto - fotografía disponible en el IGN y la incorporación de los desagües pluviales de todos los partidos presentes en el área de estudio (Figura 4b). El shape de desagües pluviales se generó por medio de la gestión de los municipios presentes en la cuenca SASD, quienes brindaron la información en formatos shape, CAD, etc. A partir de ello se digitalizaron los tramos y se le asignaron propiedades hidráulicas necesarias para el ingreso al modelo hidráulico.



**Figura 4.-** Red hidrométrica (a) y de drenaje superficial de la cuenca Sarandí – Santo Domingo (b).

Como herramienta de base para la generación del modelo digital de terreno se partió de un modelo digital de elevación obtenido de un vuelo fotogramétrico del IGN correspondiente al Plan Nacional de Relevamiento Aerofotogramétrico durante el año 2011 a partir del cual se extrajeron curvas de nivel cada 1,25 m a través del procesamiento con SIG. Posteriormente se interpolaron las curvas con un tamaño de celda de 10 m obteniéndose el modelo digital del terreno de la cuenca Sarandí – Santo Domingo (Figura 5a).

Se trabajó con la técnica de clasificación supervisada de imágenes satelitales para la caracterización de áreas impermeables a lo largo del tiempo (figura 6). Para ello se utilizó una metodología semiautomática a través del uso del algoritmo Semi - Automatic Classification Plugin (Congedo et al., 2013), el cual es un complemento de código abierto y gratuito para QGIS. Se realiza un cubrimiento homogéneo con áreas de entrenamiento de la imagen satelital con las clases seleccionadas y se procede a elegir un algoritmo de clasificación, en este caso se seleccionó Spectral Angle Mapper ya que se verificó que diferenciaba las áreas con mayor discretización de manera fidedigna y dada la reflectancia disímil entre las dos clases estudiadas.



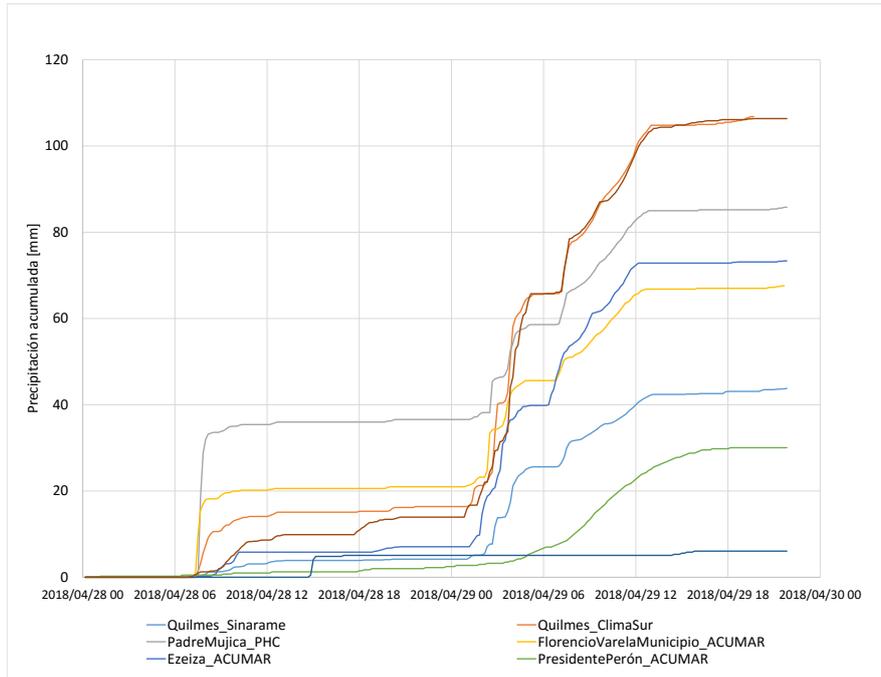
**Figura 5.-** Modelo Digital de Elevación (a) y coberturas permeables e impermeables de suelo (b).

Los elementos constitutivos del modelo hidrológico – hidráulico resultante incluyen 128 pluviómetros, 54,430 subcuencas, 11,004 nodos de unión, 52,368 nodos de almacenamiento, 75,869 conductos, 11,134 orificios, 873 vertederos y 2 nodos de salida.

## RESULTADOS

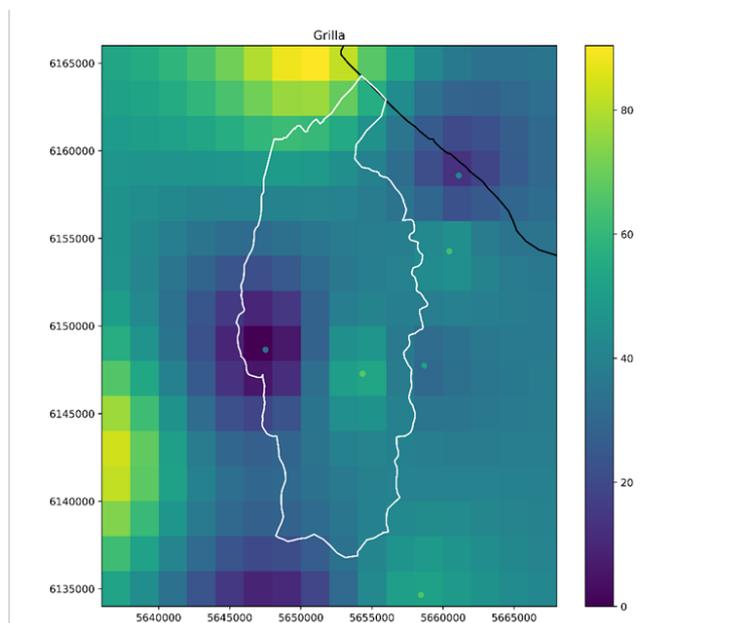
### *Calibración*

El evento de precipitación que se seleccionó para la calibración del modelo fue el ocurrido durante los días 8, 9 y 10 de septiembre de 2017, el cual representó el mayor volumen acumulado registrado al momento de iniciarse el proceso de calibración con registros que alcanzaron los 105 mm acumulados en la estación de Ezeiza (Figura 6).



**Figura 6.-** Precipitación acumulada. Evento del 8, 9 y 10 de septiembre de 2017.

Para la representación espacial y temporal del evento se trabajó con 9 pluviómetros distribuidos en la región (Figura 4a). La serie de datos se unificó temporalmente a intervalos de 10 minutos y se interpolaron espacialmente a través del método inversa de la distancia (IDW). En la Figura 7 se presentan los resultados de la interpolación para un instante dado donde se puede apreciar la variabilidad espacial de la precipitación.



**Figura 7.-** Interpolación de precipitación por el método IDW.

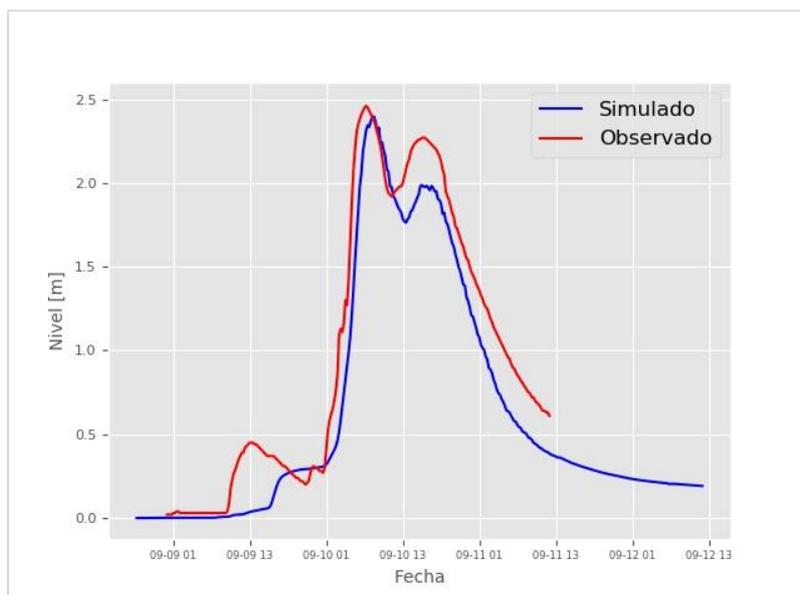
Para la calibración del modelo se procedió a una optimización manual. Los parámetros que se modificaron para el ajuste de niveles en la sección de control fueron los valores de manning para conductos y arroyos, coeficiente de manning de subcuencas permeables e impermeables, almacenamiento superficial en áreas permeables e impermeables, porcentaje de áreas impermeables que no presentan almacenamiento, porcentaje de impermeabilidad de las áreas permeables e impermeables, ruteo entre áreas permeables e impermeables y parámetros de infiltración del modelo de Horton. Los valores adoptados se muestran en la Tabla 1.

Los parámetros que resultaron más sensibles a la variación de niveles en el proceso de calibración y tradicionalmente no suelen tenerse en cuenta fueron: el ruteo, el cual hace referencia hacia donde drena una fracción del flujo superficial de la subcuenca; y el porcentaje ruteado el cual representa la fracción de agua que es transportada entre áreas permeables e impermeables en una subcuenca. Éste último parámetro hace referencia a las áreas no directamente conectadas a la red de drenaje (NDCIA) (Chen *et al.* 2008).

**Tabla 1.-** Parámetros del modelo SWMM.

Parámetros	Valores
Coeficiente manning conductos (n)	0.015
Coeficiente manning canales (n)	0.030
n manning áreas permeables (nper)	0.1
manning áreas impermeables (nimp)	0.015
Tasa máxima de infiltración (fo)	100 [mm/h]
Tasa mínima de infiltración (fc)	10 [mm/h]
Decaimiento (k)	2 [1/seg]
Tiempo de secado	5 [días]
Almacenamiento en depresión áreas permeables (dstore per)	10 [mm]
Almacenamiento en depresión áreas impermeables (dstore imp)	2.5 [mm]
Áreas impermeables sin almacenamiento (zeroimp)	50 [%]
Áreas impermeables	5 – 72 [%]
Routed	Permeable
Porcentaje ruteado	21 [%]

A partir de los resultados obtenidos se logró una aceptable calibración de los niveles del arroyo Las Piedras en la zona donde se encuentra instalado el sensor de nivel, lográndose reproducir el nivel pico, el tiempo al pico, la forma del limnigrama y la recesión de la curva (Figura 8). Los indicadores Root Mean Square Error (RMSE), Nash – Sutcliffe Eficiencia (NSE) y Directional Symmetry (DS) obtenidos fueron 0,25, 0,90 y 0,79 respectivamente y una diferencia de nivel máximo observado y simulado de 0,06m.



**Figura 8.-** Calibración del evento del 8, 9 y 10 de septiembre de 2017.

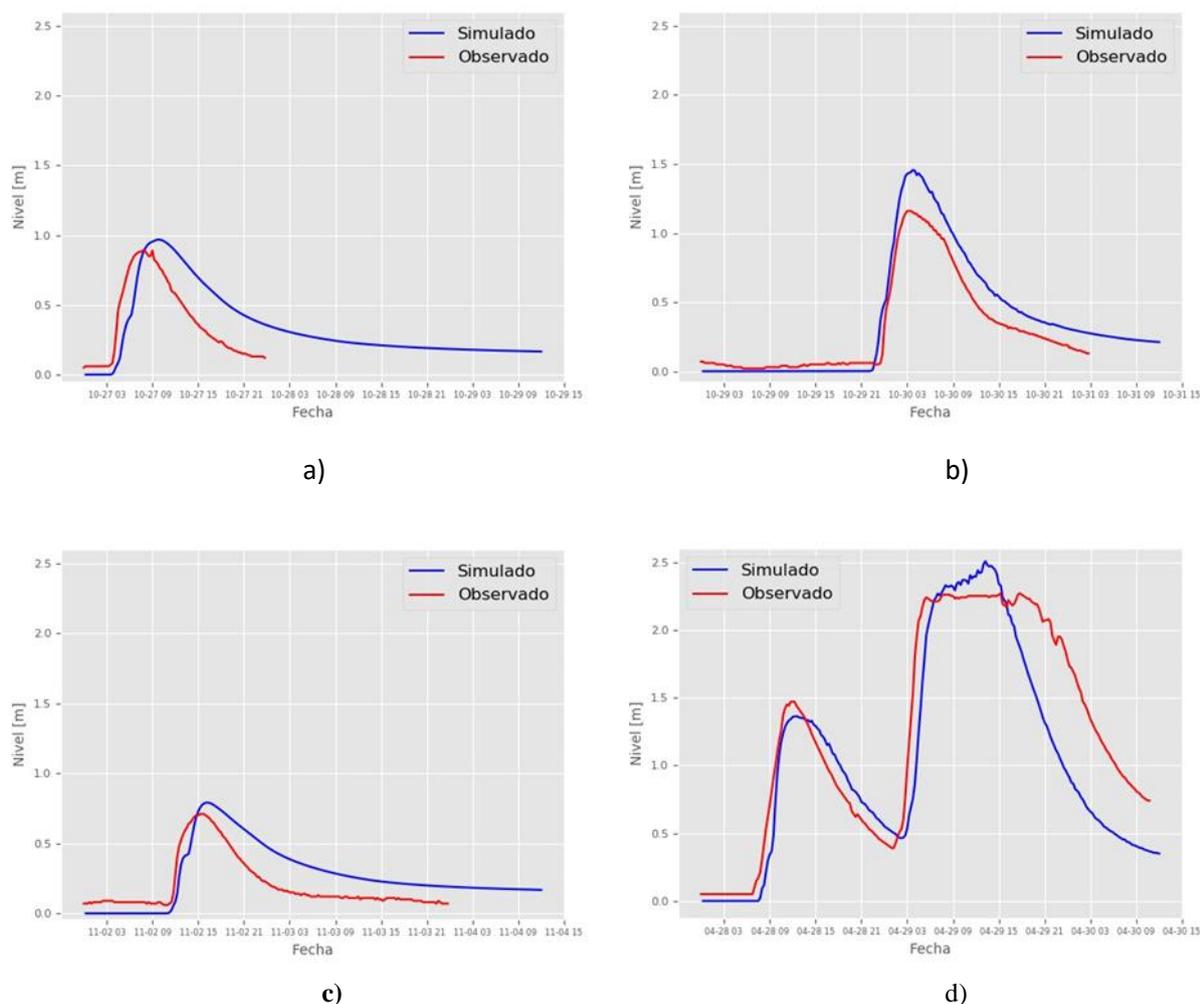
### Validación

Para el proceso de validación se seleccionaron una serie de eventos de precipitación registrados en la zona, que produjeron una variación del nivel del arroyo Las Piedras en el punto de control mayor a 0,5 m con diferente distribución temporal y espacial de la precipitación, intensidades y volúmenes, durante octubre de 2017 y abril de 2018 (ver Tabla 2).

**Tabla 2.-** Eventos de precipitación seleccionados.

Fecha	Variación de nivel ( $\Delta h$ )
27 de octubre de 2017	0,85m
29 y 30 de octubre de 2017	1,10m
02 de noviembre de 2017	0,70m
28 y 29 de abril de 2018	2,50m

En la validación, para la verificación de los resultados obtenidos se optó por una evaluación cualitativa comparando los limnigramas observados y simulados y un análisis cuantitativo contemplando los niveles máximos (Figura 9).

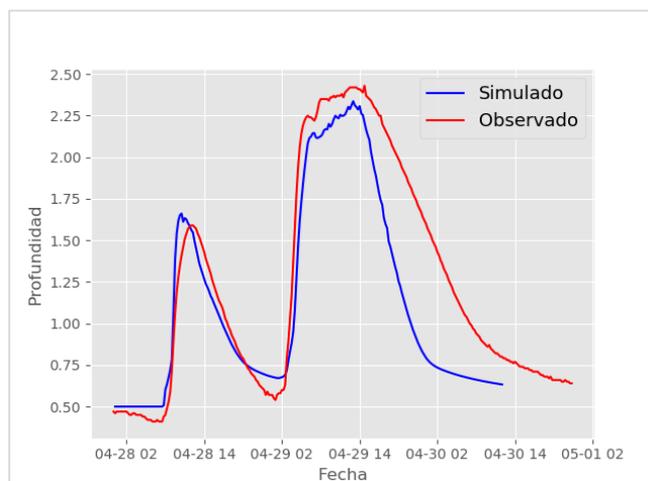


**Figura 9.-** Validación arroyo Las Piedras con eventos ocurridos en la cuenca Sarandí – Santo Domingo.

**Tabla 1.-** Indicadores de performance durante la validación.

Modelo	RMSE	NSE	DS	$h_{\max \text{ sim}} - h_{\max \text{ obs}} \text{ (m)}$
27 de octubre de 2017	0.29	0.15	0.94	0.08
29 y 30 de octubre de 2017	0.15	0.84	0.95	0.30
02 de noviembre de 2017	0.16	0.30	0.94	0.08
28 y 29 de abril de 2018	0.40	0.74	0.88	0.25

El sensor de nivel instalado sobre el arroyo San Francisco registró el evento del 28 y 29 de abril de 2018 obteniéndose una aceptable validación con valores de RMSE, NSE y DS de 0.36, 0.73 y 0.91 respectivamente.



**Figura 10.-** Validación arroyo San Francisco. Evento del 28 y 29 de abril de 2018.

## CONCLUSIONES

Ésta herramienta de modelación permite una detallada caracterización de las amenazas por inundaciones urbanas, permitiendo cuantificar variables hidráulicas de importancia y estudiar su comportamiento espacial y temporal. Por lo cual sirve como insumo para la generación de escenarios de riesgo, necesario para la adopción de estrategias orientadas al desarrollo de herramientas de gestión de inundaciones (planes de emergencia, sistemas de alerta temprana, planes de ordenamiento territorial, entre otros).

*Agradecimientos.* Este trabajo fue realizado en el marco de los proyectos de investigación 'Inundaciones en cuencas urbanas: comprender la dinámica del agua para contribuir a la implementación de medidas no estructurales' (PIDDEF 41 2014-2017, Ministerios de Defensa) y 'Modelación numérica para la gestión de riesgo por precipitaciones extremas en cuencas urbanas' (UBACyT 2016-2019, Universidad de Buenos Aires).

## REFERENCIAS

- Chen, M., Shyamprasad, S., Heineman, M., & Carter, C. S. (2008). *Representation of Non-Directly Connected Impervious Area in SWMM Runoff Modeling*. Journal of Water Management Modeling. Vol. 10.
- Congedo L., Munafo' M., Macchi S. (2013). "Investigating the Relationship between Land Cover and Vulnerability to Climate Change in Dar es Salaam". Working Paper, Rome: Sapienza University. Disponible en: [http://www.planning4adaptation.eu/Docs/papers/08\\_NWPDofM\\_for\\_LCC\\_in\\_Dar\\_using\\_Landsat\\_Imagery.pdf](http://www.planning4adaptation.eu/Docs/papers/08_NWPDofM_for_LCC_in_Dar_using_Landsat_Imagery.pdf).
- Lecertua, E.A., Kazimierski, L.D, Re, M., Badano, N.D, Storto L.G. y A. Menéndez. (2015). "Estudio de Inundaciones Urbanas por Precipitaciones Extremas en la Cuenca Sarandí – Santo Domingo". XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Argentina.