

## **CARACTERIZACIÓN DE POBLACIÓN AFECTADA POR DIFERENTES TIPOS DE INUNDACIONES EN UNA CUENCA URBANA**

**Nicolás 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>**

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina.  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina.  
nicolas.eortiz@gmail.com

### **RESUMEN**

Las precipitaciones extraordinarias producen consecuencias de significancia sobre centros poblados. En la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) y alrededores se produjeron dos eventos hidrometeorológicos de suma importancia en las últimas décadas, el evento del año 1985 sobre la ciudad de Buenos Aires (BA1985) y el evento del año 2013 sobre la ciudad de La Plata (LP2013). Generalmente se procede a la evaluación de la amenaza ante eventos de inundación, dejando postergado el análisis en relación a los elementos expuestos como son las personas y los bienes, lo cual limita las posibilidades posteriores de gestión del riesgo de inundaciones de los organismos competentes. En éste trabajo se buscó realizar una aproximación al estudio de variables involucradas en la caracterización de la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos sobre la Cuenca Sarandí - Santo Domingo, zona de alta densidad poblacional y con problemas recurrentes de inundaciones urbanas de la RMBA, a través de la implementación de un modelo hidrológico-hidráulico y el uso de indicadores obtenidos a partir de información del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

### **ABSTRACT**

Extraordinary rainfall produces significant consequences on populated centers. In the Metropolitan Region of Buenos Aires and the surroundings there were two hydrometeorological events of great importance in the last decades, the event of 1985 on the city of Buenos Aires (BA1985) and the event of the year 2013 on the city of La Plata (LP2013). Generally, the assessment of the threat to flood events has been carried out, postponing the analysis in relation to the exposed elements such as people and property, which limits the subsequent possibilities of flood risk management of the competent government agencies. In this work, an attempt was made to study the variables involved in the characterization of the hazard and vulnerability of the exposed elements on the Sarandi - Santo Domingo basin, a high population density zone and with recurrent problems of urban floods in the Buenos Aires metropolitan region, through the implementation of a hydrological-hydraulic model and the use of indicators obtained from the 2010 National Population, Household and Housing Census information.

### **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, resulta insumo necesario la elaboración de información sobre la cantidad y las características socioeconómicas de la población posiblemente afectada en cada

cuenca ante cada tipo de evento.

Generalmente se procede a la evaluación parcial de las componentes constitutivas del riesgo: amenaza (Carner, 2017) o vulnerabilidad (Cipponeri, 2014) (Perez y Plot, 2014), dejando postergado el análisis en relación a la sinergia de las variables, lo cual limita las posibilidades posteriores de gestión del riesgo de inundaciones de los organismos competentes.

En este trabajo se presentan las relaciones entre la altura y duración de inundación para eventos extraordinarios y las características socioeconómicas y cantidad de población posiblemente afectada, de acuerdo a la dinámica del agua en la cuenca de los arroyos Sarandí y Santo Domingo en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

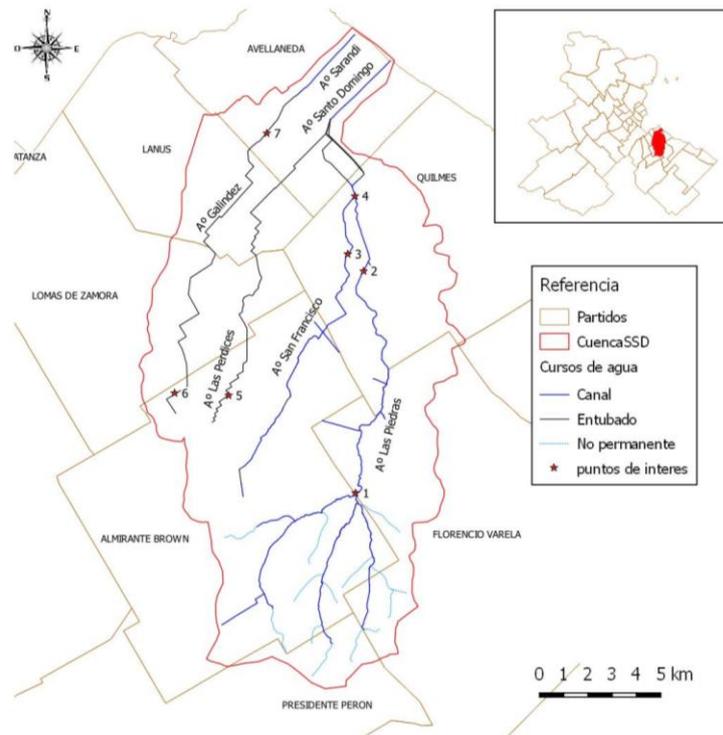
Las variables de la inundación fueron obtenidas de resultados de un modelo hidrológico-hidráulico aplicado a la cuenca (Lecertua et al, 2015). La información sobre población, basada en los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (INDEC, 2010), trabajada a escala de radio censal, incluyó indicadores como hogares con NBI, población mayor a 65 años, calidad de la vivienda, entre otros.

Los productos de este análisis consisten en mapas en donde se relacionan las manchas de altura y duración de inundación con distintos indicadores poblacionales relevantes, y funciones que relacionan la cantidad de población afectada según la altura y duración de inundación.

Se observa que las zonas críticas respecto a eventos de inundación, en la cuenca de los arroyos Sarandí y Santo Domingo, presentan características socioeconómicas diferenciales y por lo tanto pueden sufrir impactos de distinta índole.

### **CUENCA SARANDÍ-SANTO DOMINGO**

La cuenca se orienta en sentido sur - norte y es vertiente al Río de la Plata. Ubicada en los partidos de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), tiene una superficie aproximada de 240 km<sup>2</sup>. Es colindante a la cuenca del río Matanza- Riachuelo hacia el oeste y las cuencas de los arroyos Jiménez y Conchitas al este. En la Figura 1 se observan los tramos de los arroyos a cielo abierto y entubado, teniendo en cuenta a su vez tramos que no conducen agua de forma permanente.



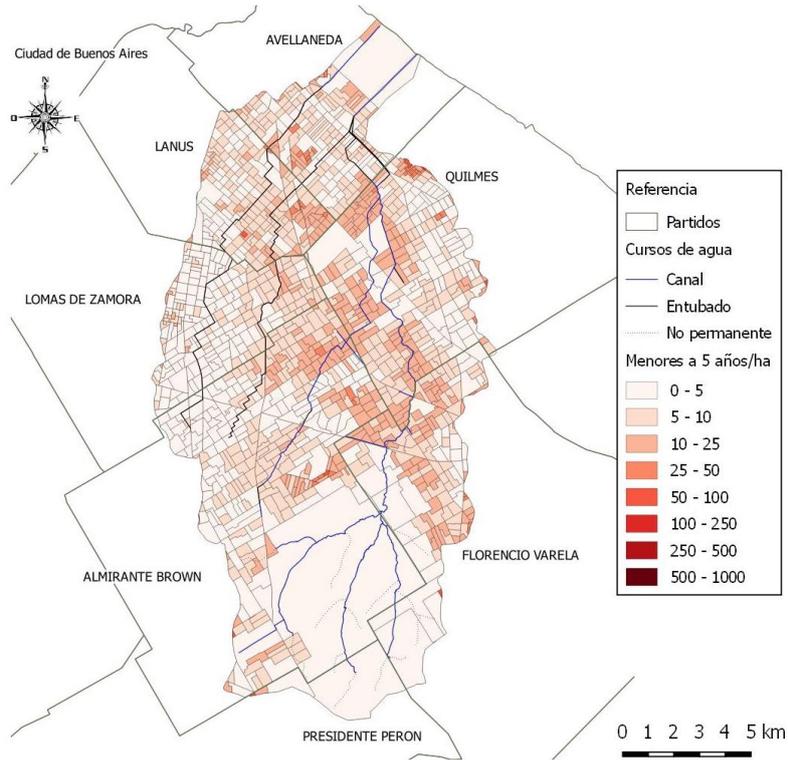
**Figura 1.-** Cuenca Sarandí-Santo Domingo.

## INDICADORES DE POBLACIÓN AFECTADA

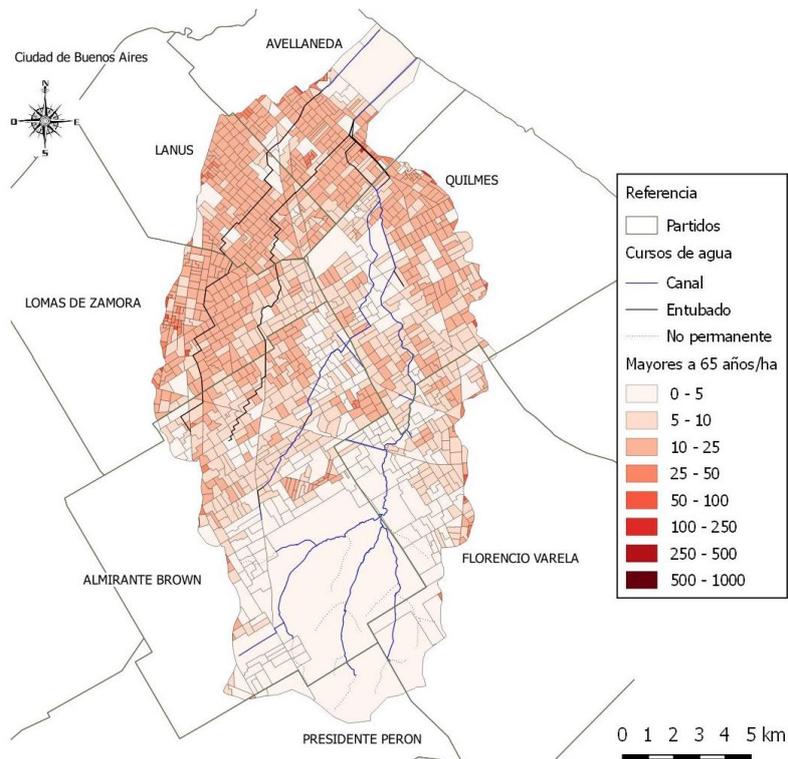
La caracterización socioeconómica de la población se realizó a través del uso de información a nivel de radio censal, el cual constituye la menor unidad espacial disponible de análisis. La información contenida en el censo se georreferenció incorporando las variables en un archivo vectorial de radios censales. Los indicadores que se eligieron fueron: población total, población menor a 5 años y mayor a 65 años y calidad constructiva de las viviendas.

La población total según altura de inundación permite dimensionar el posible impacto de la ocurrencia de un evento de inundación extremo. La determinación de la cantidad de población en función de la altura de inundación, a primera aproximación, se realizó calculando la altura media máxima de agua por radio censal, y se la vinculó con la cantidad de población del mismo.

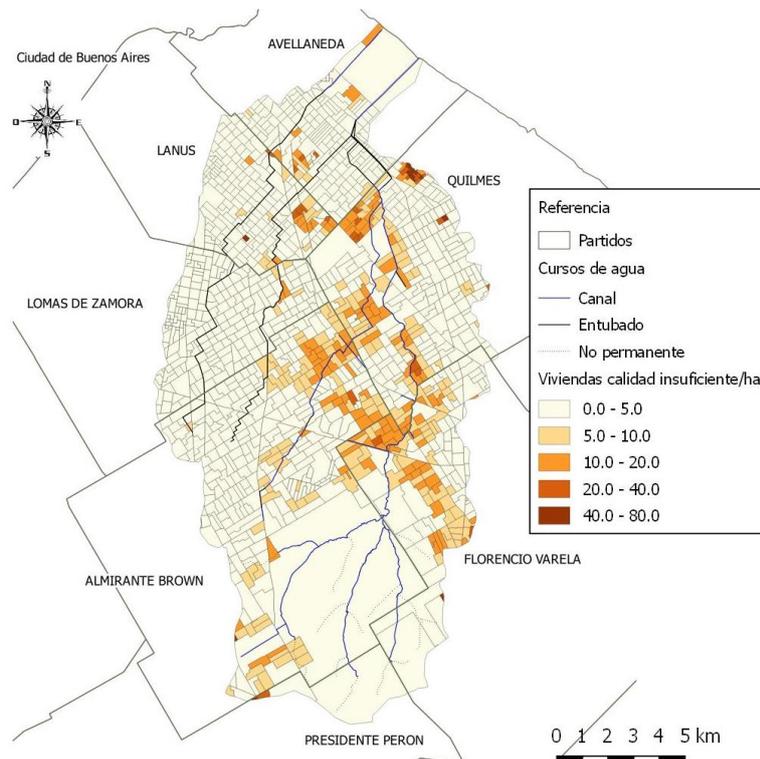
Los indicadores que caracterizan rangos etarios de la población (menores de 5 años y mayores a 65 años) fueron elegidos como representativos de la porción de población que ante la ocurrencia de la inundación presenta problemas de movilidad y de estabilidad. (Figuras 2 y 3). Por último, el indicador de calidad constructiva de las viviendas (Figura 4) resultó tenido en cuenta dado que brinda información acerca de la resistencia y resiliencia de la comunidad (capacidad para hacer frente a la magnitud del evento de acuerdo a la infraestructura física de las viviendas y la capacidad de recuperarse al evento extremo). A su vez es un indicador importante para cuantificar post evento los daños materiales.



**Figura 2.-** Indicador rango etario de la población. Menores a 5 años.



**Figura 3.-** Indicador rango etario de la población. Mayores a 65 años.



**Figura 4.-** Indicador calidad constructiva de la vivienda. Condición Insuficiente.

## MODELACIÓN NUMÉRICA

Las alturas y duraciones de inundación se obtuvieron de la simulación de la ocurrencia de eventos de precipitación extraordinarios con el modelo hidrológico-hidráulico de la cuenca Sarandí - Santo Domingo (Lecertua *et al*, 2015), al cual se le actualizó el modelo digital del terreno, la red de drenaje superficial y las condiciones de impermeabilidad. El modelo digital del terreno se obtuvo a partir de un modelo digital de elevación, cuya resolución espacial es de  $5 \times 5 \text{ m}$  proveniente de un vuelo fotogramétrico del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La red de drenaje superficial se desarrolló con más detalle a partir del uso de una orto-fotografía disponible en el IGN. Las condiciones de impermeabilidad se obtuvieron a partir de una clasificación supervisada de una imagen satelital Landsat-8 del año 2016 discretizando áreas permeables e impermeables (Congedo *et al* 2013).

Las simulaciones realizadas corresponden a los principales eventos de precipitación extrema en la RMBA: Buenos Aires del 31 de mayo de 1985 -BA1985- con una precipitación acumulada de  $307 \text{ mm}$  en 20 horas y La Plata del 02 abril de 2013, con una precipitación acumulada de  $392 \text{ mm}$  en 20 horas -LP2013- (SMN,2013; UNLP,2013). Debido a la magnitud de los eventos a simular, la red de drenaje se adoptó de manera simplificada, excluyendo a la red de desagües pluviales que cada municipio posee.

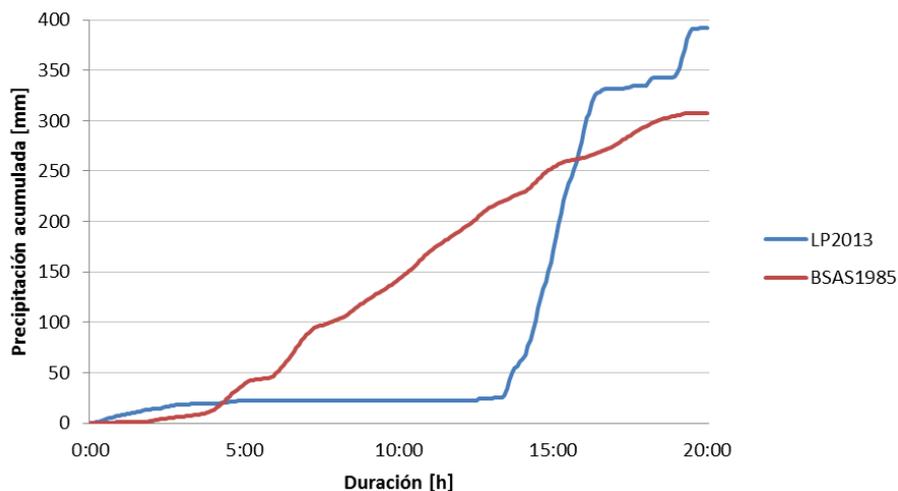


Figura 5.- Precipitación acumulada en mm. Eventos extremos en Buenos Aires y La Plata.

**RESULTADOS**

A partir de las simulaciones numéricas se obtuvieron mapas de altura de inundación máxima para los eventos extremos mencionados, los cuales no corresponden a un instante determinado. En general, se observa que la zona con mayores niveles de agua es la asociada a la confluencia de los arroyos Las Piedras y San Francisco, durante los dos eventos extremos, alcanzándose niveles de más de 3 m (Figura 6).

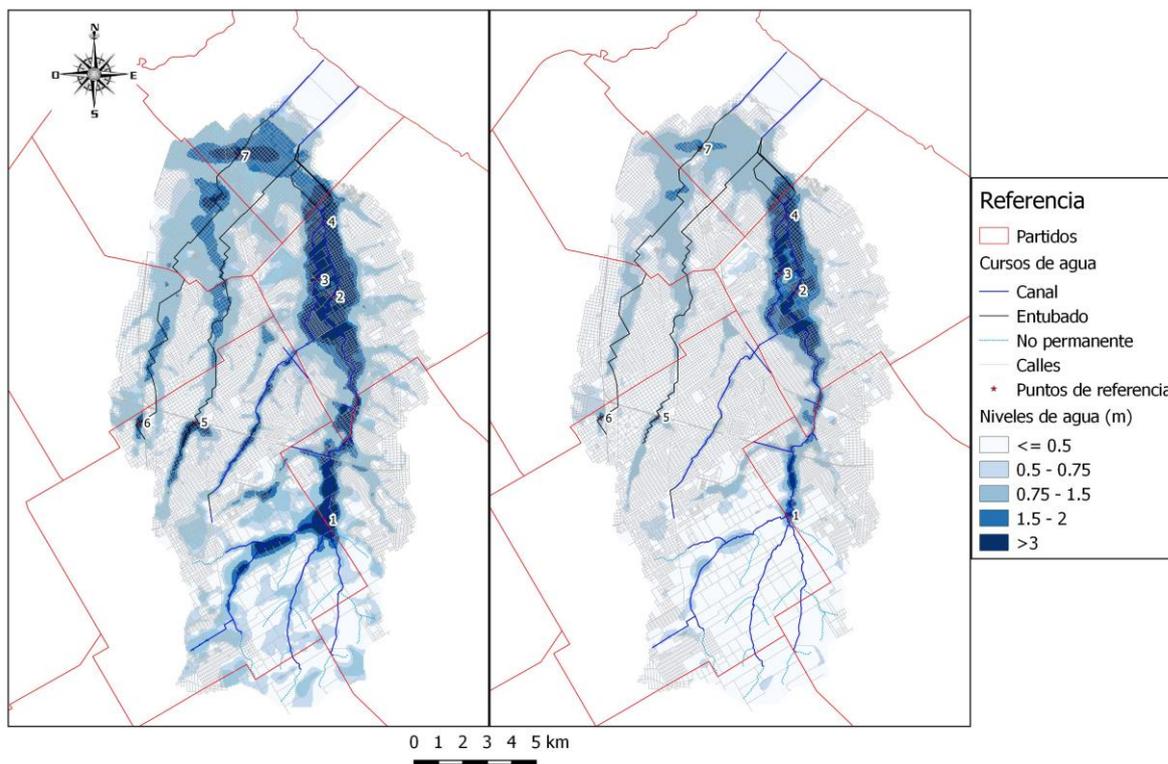
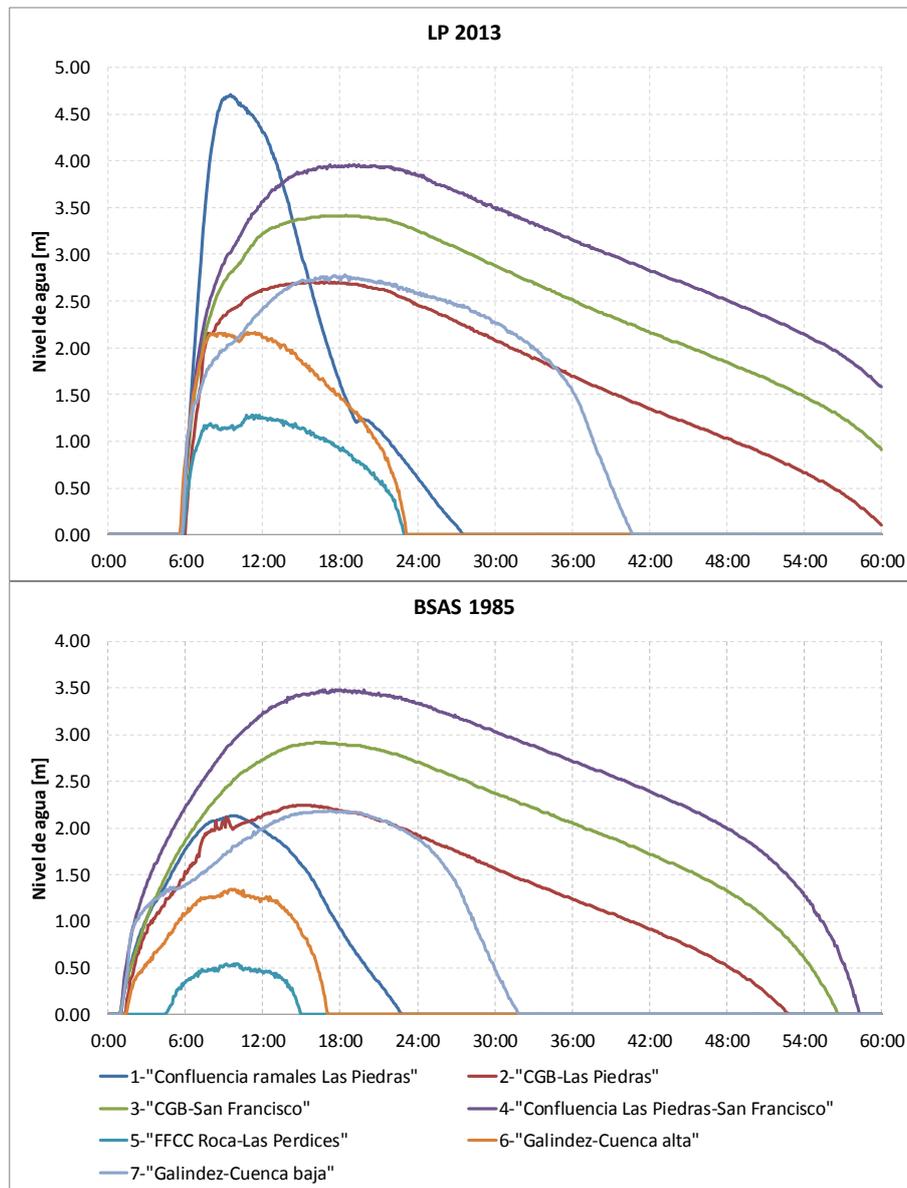


Figura 6.- Niveles máximos de agua en superficie. Izquierda: Precipitación La Plata (abril de 2013). Derecha: Buenos Aires (mayo de 1985).

El evento LP2013 presenta valores de precipitación acumulados e intensidades mayores, lo que se refleja en los mayores niveles alcanzados y duraciones obtenidas. En el evento LP2013 la duración en determinadas zonas llega a sobrepasar las 60 horas, mientras que en BSAS1985 las duraciones son menores a éste tiempo. Se observa que los puntos de referencia correspondientes a LP2013 presentan un tiempo de respuesta menor determinado por la mayor intensidad de la precipitación. Los puntos de relevancia elegidos se seleccionaron de acuerdo a las áreas con mayores niveles de agua de acuerdo a los resultados de la simulación. (Figura 1).



**Figura 7.-** Variación temporal de niveles de agua en puntos de interés. Precipitación La Plata (abril de 2013) y Buenos Aires (mayo de 1985) respectivamente.

El análisis de los indicadores permitió observar que las zonas críticas respecto a eventos de inundación, presentan características socioeconómicas diferenciales y por ende pueden sufrir impactos de distinto índole. Por ejemplo, en el caso del análisis del indicador de calidad constructiva de las viviendas se puede observar la presencia de viviendas más precarias sobre las subcuencas de los arroyos Las Piedras y San Francisco, zona de mayor amenaza por altura

máxima de inundación, en tanto la presencia de mejor calidad de viviendas se encuentran sobre las subcuencas de los arroyos Galíndez y Las Perdices (Figura 4).

Para un evento de precipitación de las características de LP2013 se estimó que alrededor de 550000 habitantes se ven afectadas con una altura máxima de agua de hasta 0.5 m, y aproximadamente unos 10000 habitantes pueden sufrir las consecuencias de alturas de inundación máxima de más de 3 m (sin discriminar las permanencias de esos niveles). En la Figura 8 se presenta la curva de población afectada versus la altura de inundación máxima alcanzada.

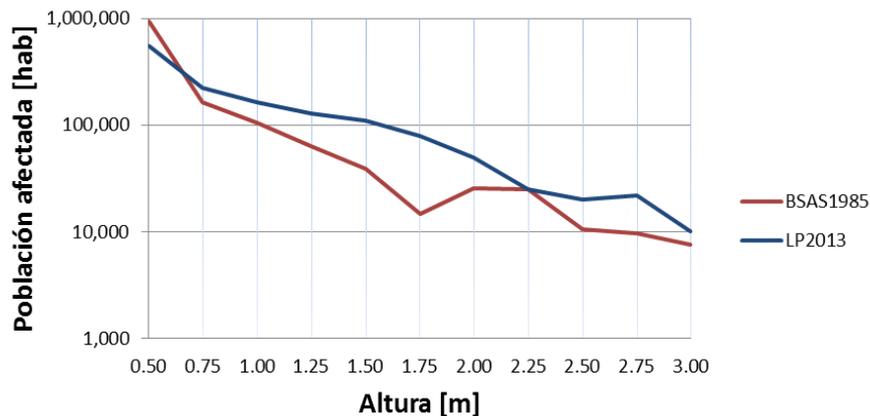


Figura 8.- Población afectada por altura de inundación. Precipitaciones BSAS1985 y LP2013.

Se realizó un análisis por unidad administrativa. Para el evento de precipitación LP2013 se obtuvo que la distribución espacial de altura de inundación máxima por partido es desigual, observándose que del total de población de la cuenca inundada con 2 m o más, el partido de Quilmes representa el 76.1% (Tabla 1) y para el evento BA1985, éste porcentaje llega a representar el 94.4% (Tabla 2).

Tabla 1.- Población inundada por partido (Precipitación LP2013).

Partido	Altura < 1m	Altura 1m-2m	Altura > 2m
Almirante Brown	36.2%	12.1%	2.0%
Avellaneda	5.4%	26.5%	14.7%
Florencio Varela	15.0%	6.0%	6.4%
Lanús	10.2%	24.8%	0.8%
Lomas de Zamora	13.7%	13.0%	0.0%
Presidente Perón	0.2%	0.0%	0.0%
Quilmes	19.3%	17.6%	76.1%

Tabla 2.- Población inundada por partido (Precipitación BA1985).

Partido	Altura < 1m	Altura 1m-2m	Altura > 2m
Almirante Brown	31.7%	0.0%	0.0%
Avellaneda	8.8%	37.3%	5.6%
Florencio Varela	13.2%	6.2%	0.0%
Lanús	13.6%	14.3%	0.0%
Lomas de Zamora	14.4%	0.0%	0.0%
Presidente Perón	0.1%	0.0%	0.0%
Quilmes	18.2%	42.2%	94.4%

Además se estimó la población menor a 5 años, mayor a 65 años y la cantidad de viviendas calidad insuficiente que se verían afectadas por diferentes alturas de inundación máxima, a partir de profundidades en calles, seleccionándose rangos representativos de condiciones de amenaza: 0.30 m, 0.50 m, 0.85 m, 1.20 m, y niveles mayores a 1.20 m. En el caso de valores mayores a 1.20 m, el rango es acumulativo. Se observa en todos los casos (Figuras 9, 10 y 11) que en el rango de altura menor a 0.30 m el nivel de afectación es mayor en BSAS1985, mientras que para valores de rangos mayores a 0.30 m el nivel de afectación es mayor en LP2013, es decir, conlleva consecuencias más graves.

Las inundaciones generadas por los eventos extremos de precipitación afectan a un total de 118000 menores de 5 años de edad. Para el evento BSAS1985 aproximadamente 39500 se verían afectados por alturas mayores a 0.5 m, valor que afectaría gravemente la situación del grupo etario considerado. En el caso de LP2013, la mayor cantidad de individuos se verían afectados por alturas mayores a 1.20 m, siendo 73500 afectadas por alturas mayores a 0.5 m. (Figura 9).

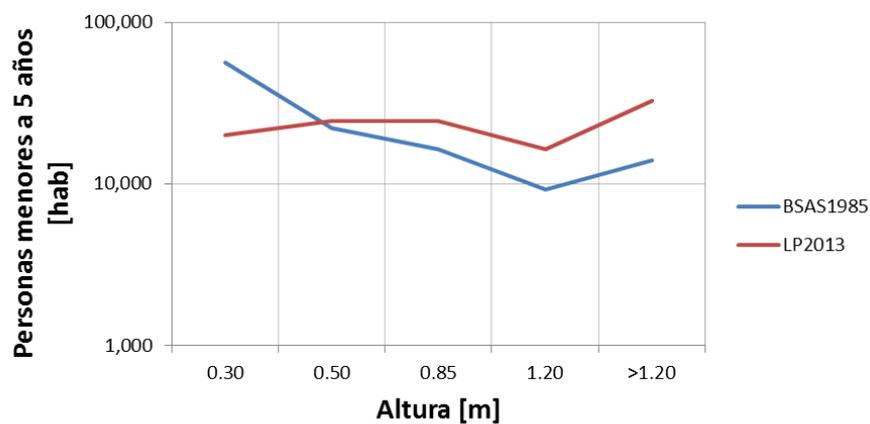


Figura 9.- Población menor a 5 años afectada por altura de inundación. Precipitaciones BSAS1985 y LP2013.

Las diferentes alturas de inundación generadas por los eventos extremos afectan alrededor de 147000 personas mayores a 65 años. Para el evento BSAS1985, se estimó que 49500 personas mayores a 65 años se verían afectadas por alturas mayores a 0.5 m. En el caso del evento LP2013, aproximadamente 89500 personas mayores a 65 años se verían afectadas por alturas mayores a 0.5 m de inundación en calles (Figura 10).

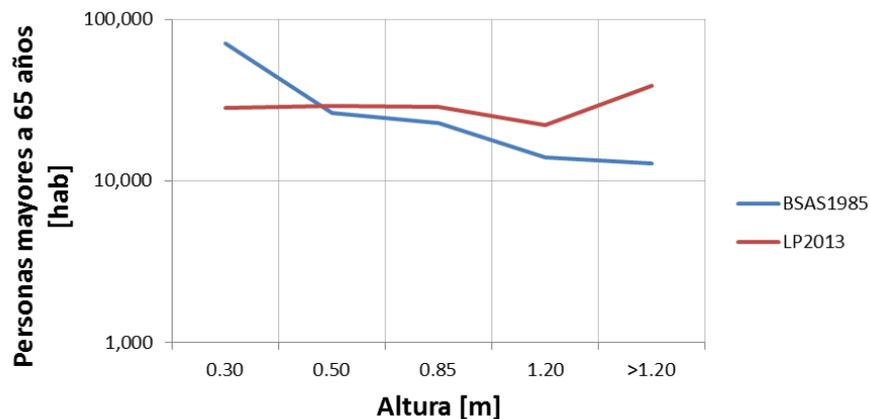


Figura 10.- Población mayor a 65 años afectada por altura de inundación. Precipitaciones BSAS1985 y LP2013.

Por último, se estimó que aproximadamente 60500 viviendas de calidad insuficiente se verían afectadas por diferentes alturas de inundación. Para BSAS1985 se determinó que 9000 viviendas se verían afectadas por alturas mayores a 1,20 m, nivel que generaría graves daños materiales. En el caso del evento LP2013 la cantidad de viviendas afectadas por alturas de inundación mayor a 1,20 m sería de 18000 (Figura 11).

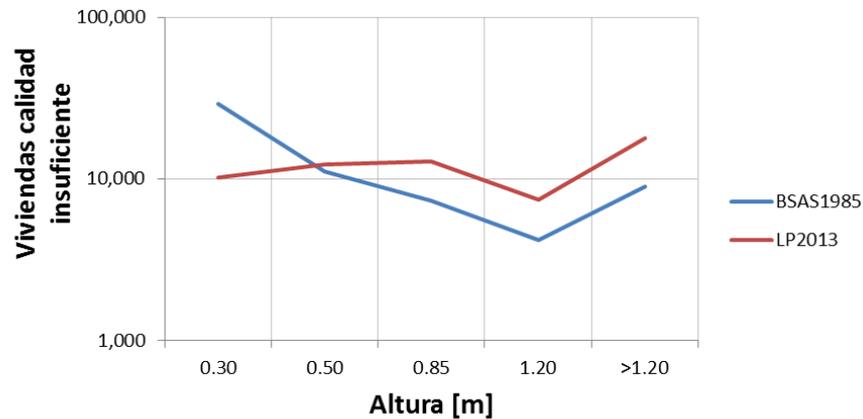


Figura 11.- Viviendas de calidad insuficiente afectadas por altura de inundación. Precipitaciones BSAS1985 y LP2013.

## CONCLUSIONES

Ésta primera caracterización permite una aproximación al conocimiento de las amenazas y la exposición de personas y bienes con diferentes grados de vulnerabilidad en la Cuenca Sarandí-Santo Domingo que 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).

A partir de los resultados obtenidos de la modelación numérica, se observan diferentes respuestas de la Cuenca Sarandí – Santo Domingo a los eventos extremos estudiados. Ésta diferencia viene dada por una mayor magnitud e intensidad de precipitación del evento LP2013, observándose mayores áreas de inundación y niveles de agua.

De acuerdo a los resultados, se verifica que existen áreas con características diferenciales en cuanto a los rangos etarios involucrados y las características constructivas de las viviendas, observándose una densidad mayor de población menor a 5 años sobre las subcuencas de los arroyos Las Piedras y San Francisco, zona de alta amenaza por inundaciones y con alta densidad de viviendas de calidad constructiva insuficiente. En tanto, la población mayor a 65 años se ubica mayoritariamente sobre las subcuencas de los arroyos Galíndez y Las Perdices, que presentan una menor amenaza por inundaciones y una densidad baja de viviendas de calidad constructiva insuficiente.

La cuantificación de población afectada por altura de inundación permite visualizar que en el partido de Quilmes se encuentra la zona de mayor impacto, permitiendo priorizar y focalizar las acciones en un plan de mitigación del riesgo.

**Agradecimiento.** 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 BIBLIOGRÁFICAS

**Carner, J. L., Liscia, S. O., Ortiz, F., Lacava, E., Lacunza, E., Cipponeri, M., & Larrivey, G.** (2017). “Inundación Urbana en la Ciudad de La Plata en Abril de 2013. Riesgo Hídrico por Inundación- Mapas de Peligrosidad”. Capítulo 2 en “Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: análisis de riesgo, estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental”. CONICET – UNLP (2014-2016). Buenos Aires, Argentina.

**Cipponeri, M., Salvioli, M, Larrivey, G., Afranchi, A. y G. Colli** (2014). “Vulnerabilidad de la Población de la Ciudad de La Plata (Argentina) a Precipitaciones Extraordinarias”. *Revista Aqua-Lac*; Vol. 6, No. 2, Septiembre 2014, pp. 11-20.

**Congedo L., Munafó 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\\_NWPD0M\\_for\\_LCC\\_in\\_Dar\\_using\\_Land\\_sat\\_Imagery.pdf](http://www.planning4adaptation.eu/Docs/papers/08_NWPD0M_for_LCC_in_Dar_using_Land_sat_Imagery.pdf)

**INDEC** (2010). Censo de Población, Hogares y Viviendas 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <http://www.indec.mecon.ar/> (01/05/2017)

**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.

**Perez, A. y B. Plot** (2014). “Aportes para el Estudio de Situaciones de Vulnerabilidad Social en Áreas Inundables El Caso del Arroyo Regimiento. Partido de La Plata”. *XVI Jornadas de Investigación del Centro de Investigaciones Geográficas y del Departamento de Geografía*, La Plata, Argentina.

**SMN** (2013). Características meteorológicas del evento de precipitaciones intensas ocurridas el 2 de Abril de 2013. Informe del 25 de Abril de 2013. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires, Argentina.

**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.