



**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
REPÚBLICA ARGENTINA



**INFORME FINAL**

## **Anticipando la Crecida**

### **Inundaciones en La Ribera de Quilmes Mapas de nivel y duración de inundaciones**



**Convocatorias “Exactas con la Sociedad” (FCEyN-UBA) y “Programa de Extensión Universitaria UBANEX 5” (UBANEX 2013 - Malvinas Argentinas - UBA)**



*Proyecto 354  
Informe INA 01-354-15  
Ezeiza, Marzo de 2015*

**Laboratorio de Hidráulica**

**AUTORIDADES DEL INA**

**PRESIDENTE**

Dr. Raúl A. LOPARDO

**GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS**

Ing. Jorge A. MAZA

**DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

Ing. Julio C. DE LÍO

**JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Mag. Mariano RE

**EQUIPO DE TRABAJO**

Ing. Leandro D. KAZIMIERSKI

Lucas STORTO

Ing. Emilio LECERTUA

**INFORME PRODUCIDO POR**

Ing. Mag. Mariano RE

Lucas STORTO

Ing. Emilio LECERTUA

Ing. Leandro D. KAZIMIERSKI

**Anticipando la crecida**  
**Inundaciones en La Ribera de Quilmes**  
**Mapas de nivel y duración de inundaciones**

**Informe Final**

**RESUMEN**

El Barrio La Ribera en Quilmes (Provincia de Buenos Aires) situado en la costa del Río de la Plata, con una población aproximada de 7.000 habitantes, con frecuencia se encuentra sometido a inundaciones. Enmarcado en el Proyecto *Anticipando la Crecida*, cuyo objetivo principal es la mejora de la gestión del riesgo de desastres asociados con eventos de precipitación intensos y Sudestadas en esta zona, se presenta la generación de mapas de nivel y duración de inundaciones asociados a diferentes períodos de retorno. A partir de una estadística de niveles y duraciones de inundación y un modelo digital del terreno (MDT) del barrio se construyeron los respectivos mapas. La estadística vinculada a la situación del Río de la Plata corresponde a datos de la estación hidrométrica de Palermo en Buenos Aires del período 1989-2013. El MDT de la zona de estudio se construyó a partir de puntos relevados en la zona y una metodología de detección de isolíneas obtenidas del análisis de imágenes satelitales LANDSAT.

**Descriptores temáticos:** Inundaciones, Sudestadas, Altura de Inundación, Duración de Inundación.

**Descriptores geográficos:** Barrio La Ribera, Quilmes, Provincia de Buenos Aires, Río de la Plata.

## Índice

<b>1</b>	<b>PROYECTO ANTICIPANDO LA CRECIDA</b>	<b>3</b>
1.1	Introducción .....	3
1.2	Características del proyecto .....	3
1.3	Participación del INA .....	4
<b>2</b>	<b>ÁREA COSTERA DEL PARTIDO DE QUILMES</b>	<b>5</b>
2.1	Características generales .....	5
2.2	Sistema hídrico de La Ribera, Quilmes .....	7
2.3	Visita de campo .....	12
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE EVENTOS</b>	<b>23</b>
3.1	Introducción .....	23
3.2	Serie de niveles en Buenos Aires (Palermo, 1989-2013) .....	24
3.3	Análisis de <i>Sudestadas</i> del período 1989-2013 .....	27
<b>4</b>	<b>MODELO DIGITAL DEL TERRENO</b>	<b>33</b>
4.1	Datos .....	33
<b>5</b>	<b>ESTADÍSTICA DE EXTREMOS</b>	<b>39</b>
5.1	Introducción .....	39
5.2	Distribuciones de valores extremos univariadas .....	39
5.3	Ajuste de distribuciones de valores extremos univariada .....	41
5.3.1	Alturas de inundación .....	41
5.3.2	Duración de inundación .....	47
5.4	Ajuste de distribuciones de valores extremos multivariada .....	55
<b>6</b>	<b>MAPAS DE ALTURA Y DURACIÓN DE INUNDACIÓN</b>	<b>59</b>
6.1	Características de los mapas .....	59
6.2	Mapas de altura de inundación .....	59
6.3	Mapas de duración de inundación .....	62
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>65</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>66</b>

## 1 PROYECTO ANTICIPANDO LA CRECIDA

### 1.1 Introducción

El Proyecto *Anticipando la Crecida: Herramientas para contribuir en la gestión de riesgos ante desastres asociados a inundaciones por sudestadas y lluvias* está financiado por las convocatorias “Exactas con la Sociedad” de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA) (programa que promueve, estimula y fortalece la vinculación de la FCEyN con diferentes sectores de la comunidad, a través de propuestas conducentes a transformar la realidad social, económica, productiva y educativa, que tiendan a mejorar la calidad de vida de la población) y el “Programa de Extensión Universitaria UBANEX 5 (UBANEX 2013 - Malvinas Argentinas) de la UBA.

El objetivo general del proyecto es contribuir a la gestión de riesgos ante desastres asociados a inundaciones por Sudestadas y lluvias intensas en el Barrio La Ribera del Partido de Quilmes, Provincia de Buenos Aires. Para esto, resulta indispensable identificar las necesidades sociales y tecnológicas de pronóstico hidrometeorológico para la construcción anticipada de información. El enfoque interdisciplinario del proyecto permite obtener un diagnóstico que integra el saber de las ciencias exactas sobre el fenómeno, y el de las ciencias sociales sobre el sistema social amenazado y el saber de la propia comunidad y sus instituciones.

El Programa de Hidráulica Computacional del Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (INA) participa del proyecto en calidad de colaborador, aportando su experiencia desde la modelación hidrodinámica y la construcción de mapas de inundación costeros en el Río de la Plata. Esta colaboración se realiza junto con investigadores del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO, FCEyN, UBA), Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA, UBA-CONICET), Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA, FFyL, UBA), del Instituto Geográfico Nacional (IGN), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

### 1.2 Características del proyecto

Según la Organización Meteorológica Mundial (Jacks et al., 2010), un peligro natural es una situación meteorológica determinada con potencial para infligir pérdidas o daños a la comunidad y al ambiente. Un desastre natural es un fenómeno extremo causado por un peligro natural que afecta gravemente el tejido de una comunidad y suele requerir la intervención del gobierno para devolver la comunidad a la normalidad. El impacto general de los desastres naturales puede reducirse significativamente gracias a la prevención y mitigación de desastres. La mitigación de desastres es el proceso de gestionar los riesgos asociados con desastres naturales potenciales de modo que se minimicen.

*Anticipando la Crecida* pretende hacer un aporte a la mejora de la calidad de vida de los habitantes del Barrio La Ribera de Quilmes afectados por las inundaciones producto de Sudestadas y/o precipitaciones intensas. Estos fenómenos hidrometeorológicos son comúnmente estudiados por docentes e investigadores de las instituciones que participan en el proyecto. Por este motivo, el proyecto impulsa la articulación y la comunicación entre éstos (afectados e investigadores), para contribuir en la gestión de riesgos ante fenómenos extremos, explorando las causas sociales y físico-naturales que hacen a la vulnerabilidad de esta zona.

Como objetivos particulares, *Anticipando la Crecida* hace su aporte en cuanto a la adaptación a estos eventos extremos, integrando el conocimiento y las tecnologías disponibles para su predicción. En este contexto, se identifican las necesidades de pronóstico meteorológico para la región y se discute con los tomadores de decisión la adecuación de las políticas de gestión de riesgo debido a las inundaciones.

### **1.3 Participación del INA**

La participación del Programa de Hidráulica Computacional del Laboratorio de Hidráulica del INA se enmarca en la continuidad de experiencias vinculadas al estudio de inundaciones costeras en el Río de la Plata (Re et al., 2004; Re, 2005; Barros et al., 2008; Lecertua, 2010; Lecertua et al., 2012; Lecertua y Menéndez, 2013)

Específicamente como aporte al proyecto se destacan las siguientes actividades:

1. *Colaboración en el armado de un Sistema de Información Geográfica (SIG) del proyecto, llevando a cabo tareas de recopilación y puesta en valor de información georreferenciada.*
2. *Realización de un análisis estadístico de extremos de niveles positivos y su duración de los datos observados en Buenos Aires.*
3. *Generación de mapas de altura y duración de inundación asociados a los criterios estadísticos obtenidos del estudio de los datos observados.*

## 2 ÁREA COSTERA DEL PARTIDO DE QUILMES

### 2.1 Características generales

La costa del partido de Quilmes tiene una extensión aproximada de 10 km. La ribera quilmeña consiste en una franja costera de terreno aluvional de 2 a 3 km de ancho que se ubica entre la Barranca (zona de la Autopista Buenos Aires – La Plata) y el río (Figura 2.1).

La ribera quilmeña puede dividirse en cinco tramos con diversas características, de NO a SO: (i) un sector comprendido entre el límite del partido de Avellaneda y la Calle Espora de Bernal con características de selva marginal y escasa población permanente, (ii) un sector entre Calle Espora y el canal del Club Náutico que incluye la Planta Potabilizadora de Bernal, el área de concesión al Club Náutico Quilmes, el Área Material Quilmes, una zona de selva marginal, población asentada irregularmente y un murallón costero de uso público, (iii) el sector histórico, entre el Club Náutico y la Rambla unidos por el murallón costero de uso público, de alto valor patrimonial, con población estable formal y que concentra las actividades recreativas del partido (Barrio La Ribera), (iv) un sector comprendido entre la Avenida España y la Calle Echeverría con características similares a la anterior (Barrio La Ribera), y (v) el sector comprendido entre la Calle Echeverría y el límite con Berazategui de selva marginal, incluyendo la desembocadura del arroyo Jiménez, tosqueras y el predio del CEAMSE.



**Figura 2.1.** Costa del Partido de Quilmes.

Quilmes en los comienzos del 1900 se convirtió en ciudad balnearia, lugar de recreación y esparcimiento, impulsando una inversión importante en infraestructura (construcción de la rambla, el murallón y la rotonda). Las actividades deportivas más importantes de esta zona son la náutica y la pesca.

Los sitios de referencia del barrio, algunos de ellos vinculados a las actividades de evacuación ante eventos de inundaciones, son aquellos donde se concentra la actividad social de la barriada. Entre ellos se destacan la Sociedad de Fomento Balneario de Quilmes, los clubes Náutico de Quilmes y Pejerrey, la Parroquia Exaltación de la Cruz de los Quilmes, las Capillas Asunción de María y Nuestra Señora de la Medalla Milagrosa, y la Escuela 79 Río de la Plata (Figuras 2.2 y 2.3).



a) Club Náutico de Quilmes



b) Pejerrey Club



c) Parroquia Exaltación de la Cruz



d) Capilla Asunción de María



e) Capilla Medalla Milagrosa



f) Escuela 79 'Río de la Plata'

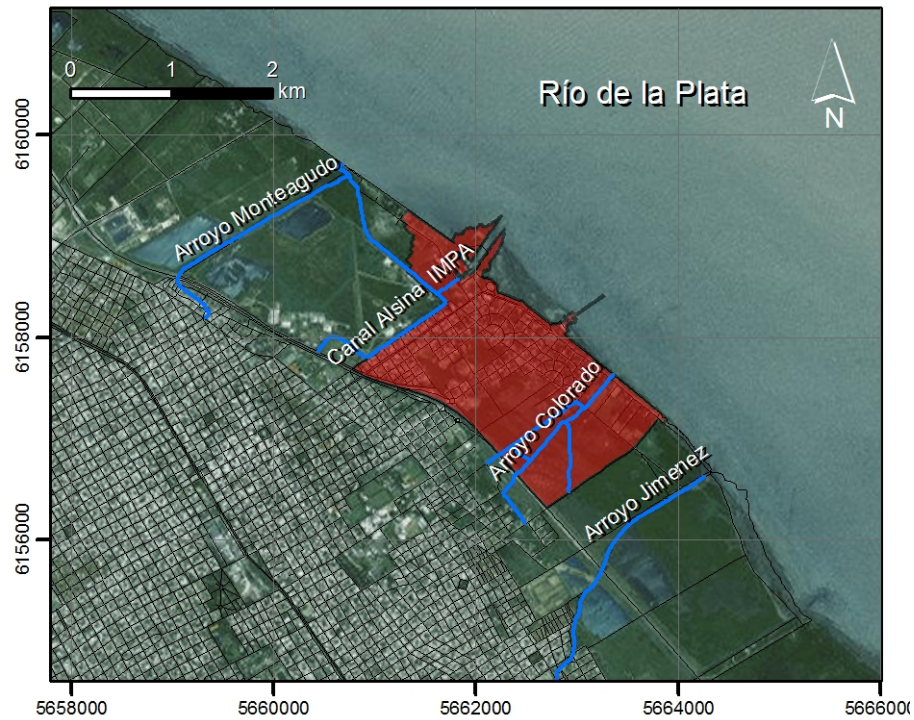
**Figura 2.2.** Sitios de referencia del Barrio La Ribera de Quilmes.



**Figura 2.3.** Ubicación de sitios de referencia.

## 2.2 Sistema hídrico de La Ribera, Quilmes

El sistema hídrico del Barrio La Ribera en Quilmes, básicamente se compone de una serie de arroyos y canales pertenecientes a la Cuenca Hídrica Vertiente Río de la Plata Superior, algunos de ellos vinculados entre sí por canales menores que funcionan como aliviadores. Se destacan, de acuerdo a su capacidad de descarga, los arroyos Jiménez, Monteagudo y Colorado y el Canal Alsina / IMPA (Figura 2.4). Entre estos dos últimos, se ubica la mayor parte de la población del barrio.



**Figura 2.4.** Red de drenaje en la Ribera de Quilmes.

Las Figuras 2.5 a 2.8 ilustran acerca de las características de los cuatro cursos de agua destacados.



**Figura 2.5.** Desembocadura del Arroyo Jiménez en el Río de la Plata (Vázquez y Martí, 2013).



**Figura 2.6.** a) Comienzo del entubado del Arroyo Monteagudo – Av. Las Heras y Av. Caseros. Mayo 2010 / <http://www.panoramio.com/photo/35059821>. b) Desembocadura del Arroyo Monteagudo en el Río de la Plata. Septiembre 2011 / <http://www.panoramio.com/photo/59115585>.



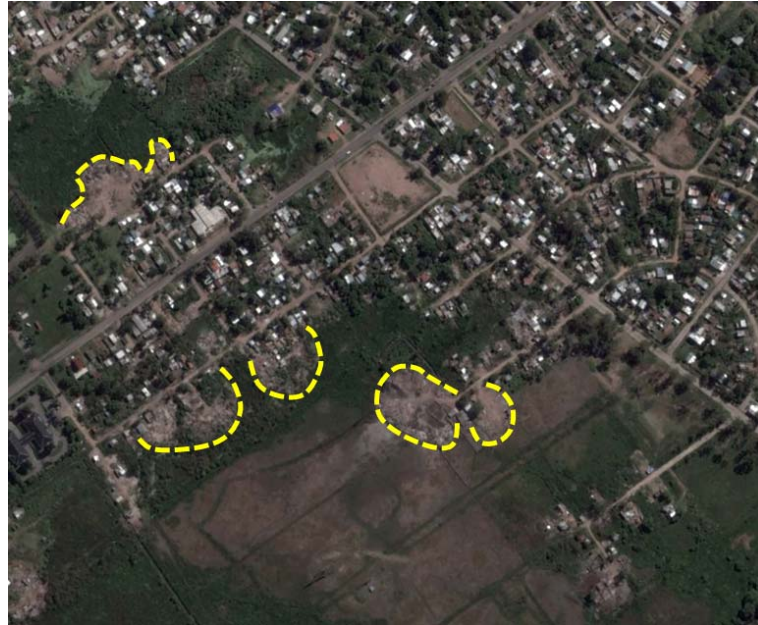
**Figura 2.7.** Descarga del Arroyo Colorado en el Río de la Plata. Octubre 2013.



**Figura 2.8.** Descarga del Canal Alsina / IMPA en el Club Náutico Quilmes. Octubre 2013.

Hacia la zona de barrancas, se presentan en esta región bañados, que constituyen una zona de humedales donde se produce el afloramiento de aguas subterráneas, se amortigua el escurrimiento provocado durante precipitaciones extremas y donde permanece en el tiempo el impacto de las inundaciones provocadas por ondas de tormenta en el Río de la Plata (Sudestadas).

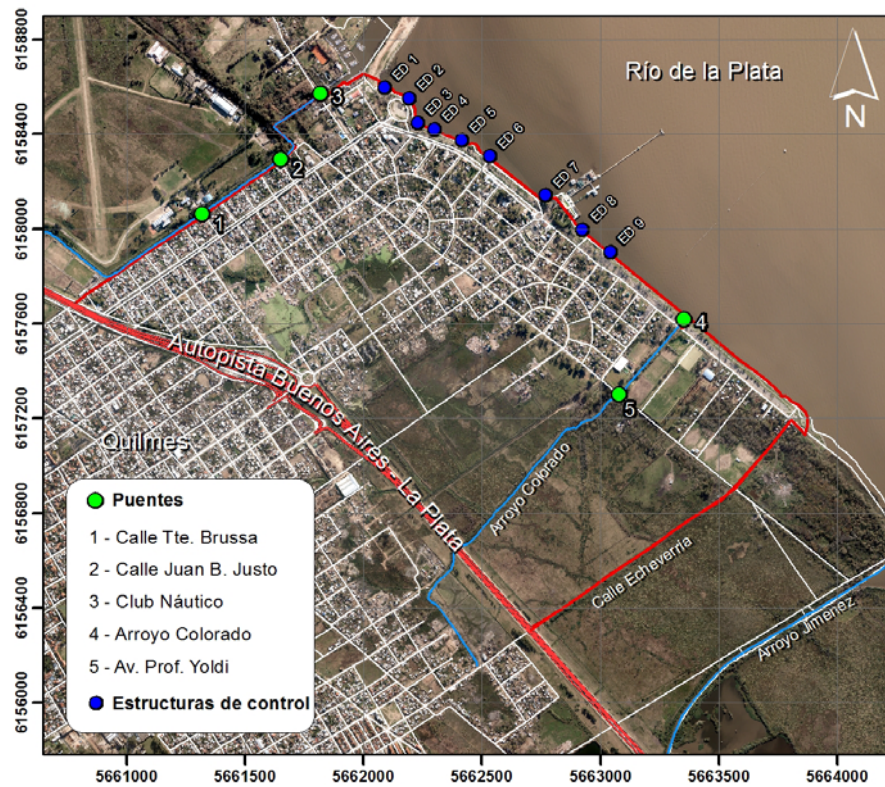
El sistema en general está recibiendo una importante presión habitacional, específicamente sobre la zona de bañados, con la extensión de asentamientos que avanzan sobre rellenos precarios (Figura 2.9).



**Figura 2.9.** Rellenos en zona de bañado en Barrio La Ribera de Quilmes (intervención sobre imagen Google Earth; Abril 2013).

Las estructuras hidráulicas existentes en el barrio tienen que ver con cuestiones de accesibilidad (puentes y alcantarillas) y necesidades de defensa (estructuras de control) (Figura 2.10). Los puentes y alcantarillas principales del Barrio La Ribera son los que se ubican sobre la traza del Arroyo Colorado y el Canal Alsina/IMPA. Las estructuras de control consisten en compuertas, que defienden a la costa de la intromisión del agua del Río de la Plata durante eventos de tormenta a través de las descargas pluviales que dan a la costa (situación que se da previamente al sobrepaso de la defensa costera, aproximadamente a 2.50 m IGN). Muchas de estas compuertas muestran un deficiente estado de operatividad.

El barrio tiene un escaso desarrollo de la red de desagües pluviales.



**Figura 2.10** Ubicación de estructuras hidráulicas en el Barrio La Ribera de Quilmes.

Las Figuras 2.11 y 2.12 ilustran las características de las estructuras de control y puentes.



**Figura 2.11.** Pequeña estructura de control sobre Av. Cervantes.



**Figura 2.12.** Puente Club Náutico.

### 2.3 Visita de campo

Durante la jornada del 24 de septiembre de 2014, este equipo de trabajo recorrió el Barrio La Ribera visitando los sitios claves de acuerdo a la problemática de inundaciones estudiada en este informe. En la Figura 2.13 se presenta el recorrido realizado en la zona.



**Figura 2.13.** Mapa de recorrida de la visita.

La reseña fotográfica de la visita se presenta en las imágenes de las Figuras 2.14 a 2.39.



**Figura 2.14.** *Primaria 79 'Río de la Plata'.*



**Figura 2.15.** *Escuela 79 'Río de la Plata'.*



**Figura 2.16.** *Zona Pérgola - Escalones.*



**Figura 2.17.** Alzada de escalones – Zona Pérgola.



**Figura 2.18.** Zona espigón de Club Náutico.



**Figura 2.19.** Descargas pluviales - Zona Pégola.



**Figura 2.20.** Playa - Zona Pégola.



**Figura 2.21.** Vista Pejerrey Club.



**Figura 2.22.** Residuos sólidos obstruyendo descarga pluvial - Zona Pejerrey Club.



**Figura 2.23.** Playa - Zona Pejerrey Club.



**Figura 2.24.** Zanjón - Zona Pejerrey Club.



**Figura 2.25.** Calle Carlos Bavera.



**Figura 2.26.** Ex-arenera de ribera quilmeña.



**Figura 2.27.** Muelle Pejerrey Club.



**Figura 2.28.** Defensa deteriorada - Zona Pejerrey Club.



**Figura 2.29.** Desembocadura Arroyo Colorado.



**Figura 2.30.** Puente Arroyo Colorado y Av. Cervantes.



**Figura 2.31.** *Puente Peatonal sobre Arroyo Colorado.*



**Figura 2.32.** *Vegetación en zonas de bajos.*



**Figura 2.33.** *Zona Canchas de fútbol.*



**Figura 2.34.** Terraplenes - Zona canchas de hockey.



**Figura 2.35.** Arroyo Colorado y Calle Yoldi.



**Figura 2.36.** Zanjón y Calle Yoldi.



**Figura 2.37.** Esquina Yoldi y Primera Junta.



**Figura 2.38.** Bajo Calle Primera Junta.



**Figura 2.39.** Viviendas sobre palafitos.

### 3 ANÁLISIS DE EVENTOS

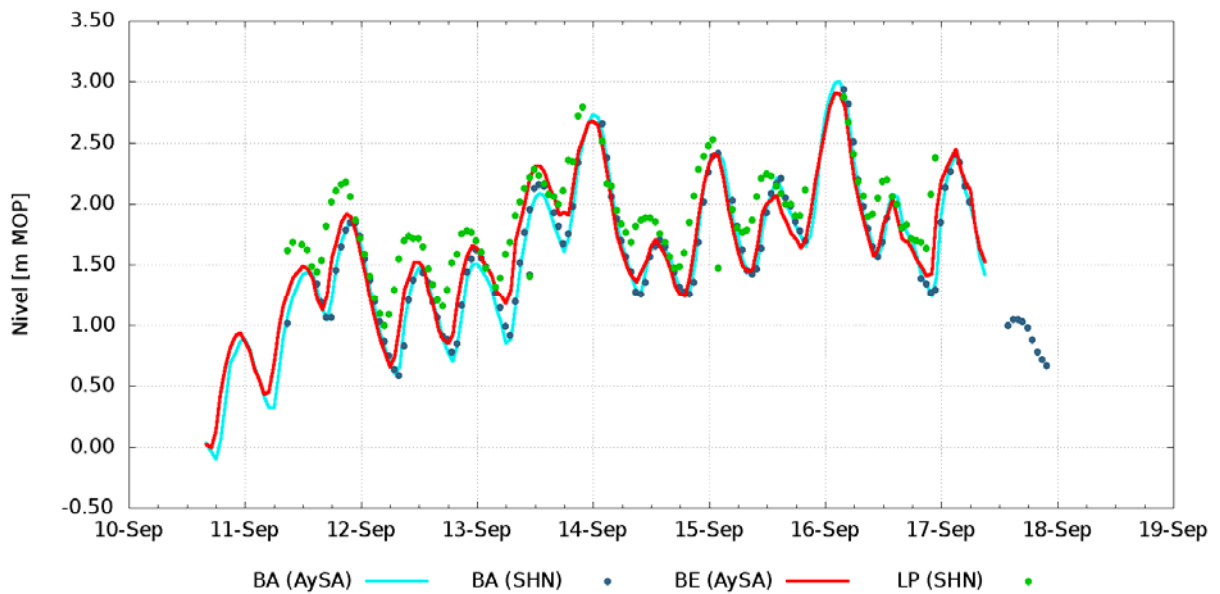
#### 3.1 Introducción

La estación hidrométrica más cercana al Barrio La Ribera en Quilmes es la que se encuentra en la toma de agua de AySA (Agua y Saneamientos Argentinos S.A.) en la localidad de Bernal en el partido de Quilmes dentro del Río de la Plata, a unos 300 m de la costa. También resultan próximas las estaciones La Plata (del Servicio de Hidrografía Naval, SHN), Buenos Aires de AySA en el interior del río y Buenos Aires (Palermo, SHN) (Figura 3.1).

En la Figura 3.2 se comparan los niveles observados durante una Sudestada en las estaciones de La Plata (LP), Quilmes (BE) y Buenos Aires (BA-AySA y BA-SHN). Dado que los niveles observados en estas estaciones son prácticamente coincidentes y debido a la extensión temporal de la serie disponible en Buenos Aires del SHN, esta estación se considera representativa de las alturas del Río de la Plata en la costa del Barrio La Ribera de Quilmes.



**Figura 3.1.** Localización de estaciones hidrométricas en torno a La Ribera de Quilmes.



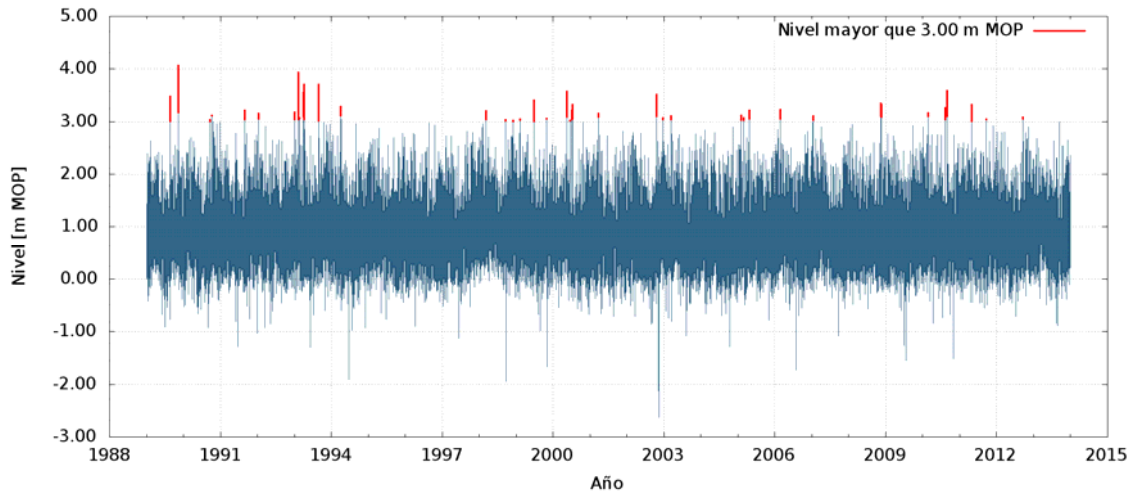
**Figura 3.2.** Comparación de niveles durante una Sudestada en distintas estaciones hidrométricas en torno a La Ribera de Quilmes 2013.

### 3.2 Serie de niveles en Buenos Aires (Palermo, 1989-2013)

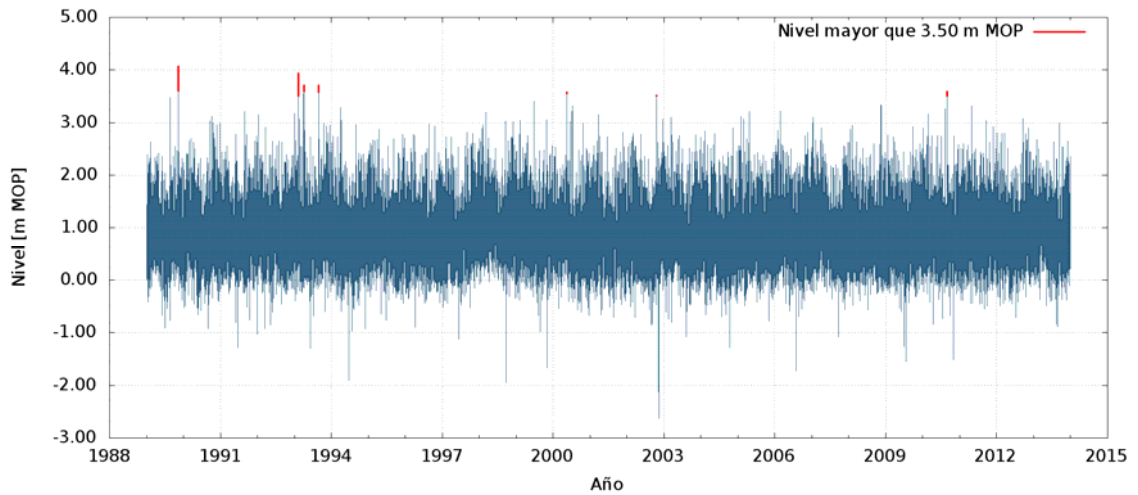
A partir de la serie temporal de valores horarios de nivel del Río de la Plata en la estación Palermo para el período 1989-2013 del SHN, se efectuó la estadística descriptiva de la misma y se detectaron eventos de tormenta significativos.

En la Figura 3.3 se muestran los eventos con niveles máximos mayores que 3 *m MOP* (referencia del cero del Riachuelo cuya diferencia con el cero IGN es de 0.556 *m*), que son aquellos que superarían la defensa costera de La Ribera en Quilmes que se encuentra aproximadamente a 2.50 *m IGN* y también los que superan los 3.5 y 4 *m MOP*.

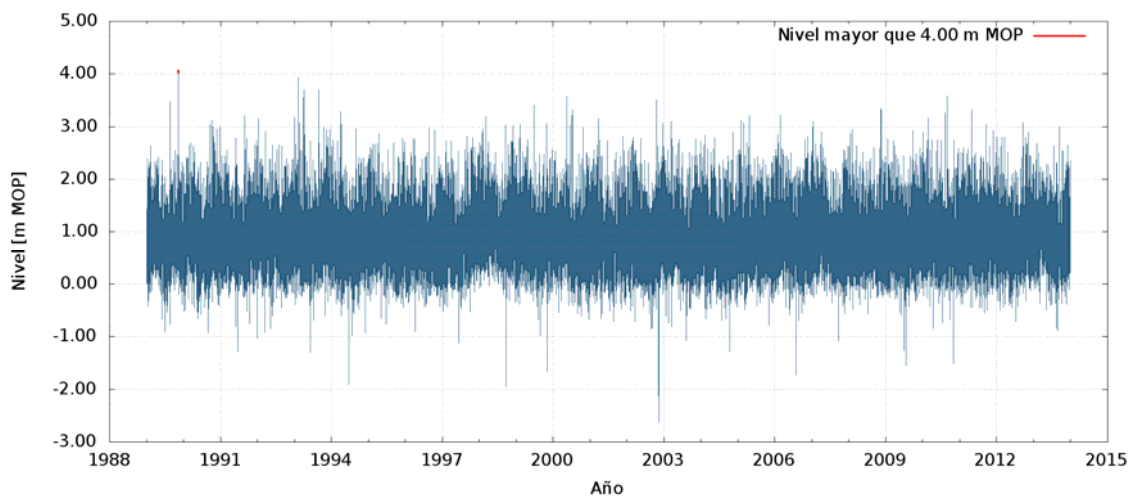
Durante el período 1989-2013 se registra un único evento que superó los 4 *m MOP* (4.07 *m MOP*, noviembre 1989), 7 que superaron los 3.5 *m MOP* y 40 en donde aproximadamente se superó el nivel de defensa de La Ribera en Quilmes (mayores que 3 *m MOP*).



a) *Eventos con niveles mayores que 3.00 m MOP.*



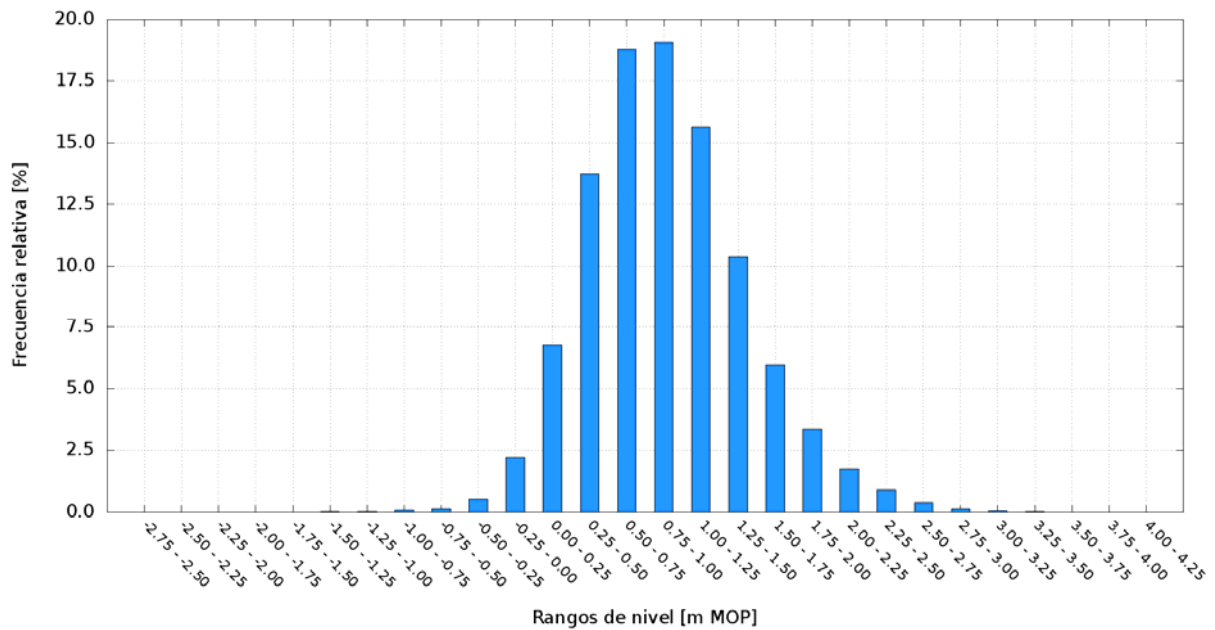
b) *Eventos con niveles mayores que 3.50 m MOP.*



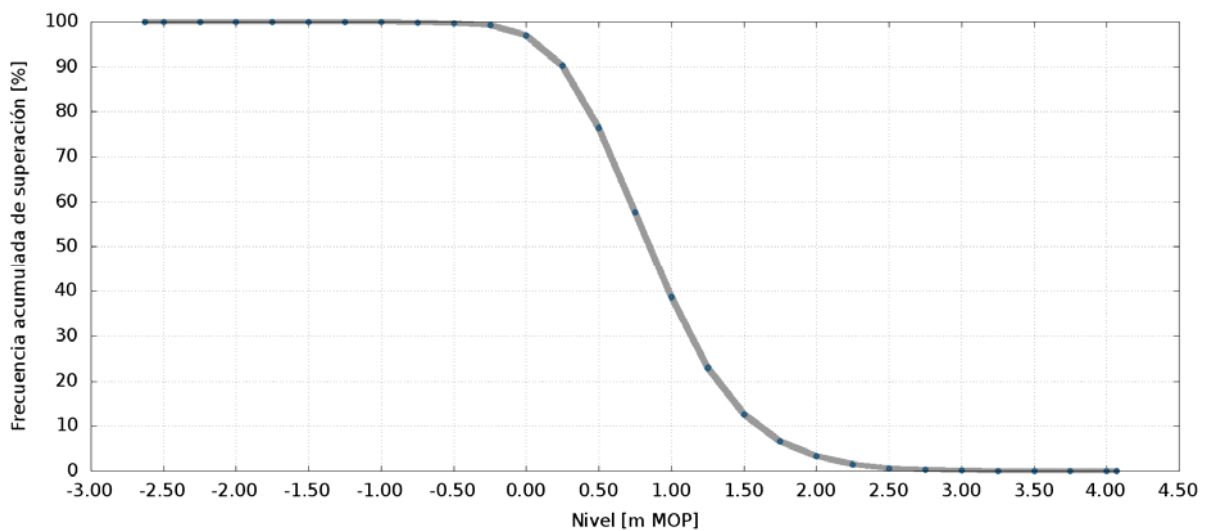
c) *Eventos con niveles mayores que 4.00 m MOP.*

**Figura 3.3.** Serie Palermo, Buenos Aires (1989-2013).

El nivel medio del río resultó de 0.89 m MOP (0.33 m IGN). Se llevó a cabo un análisis de frecuencia de ocurrencia de niveles, con un intervalo de clase de 0.25 m. En la Figura 3.4 se presenta el histograma de frecuencias siendo el intervalo de mayor ocurrencia el que incluye a los niveles 0.75 m MOP – 1.00 m MOP (0.19 m IGN – 0.44 m IGN). La Figura 3.5 y la Tabla 3.1 muestran la frecuencia acumulada de superación de niveles del Río de la Plata en Buenos Aires, destacándose que el HAT (*High Astronomical Tide*) en Buenos Aires es 1.63 m MOP (Fiore et al., 2001), y que resulta superado el 9 % del tiempo.



**Figura 3.4.** Histograma de frecuencias, Serie Palermo, Buenos Aires (1989-2013).



**Figura 3.5.** Frecuencia acumulada de superación de niveles del Río de la Plata en Buenos Aires.

**Tabla 3.1.** Frecuencia acumulada de superación de niveles del Río de la Plata en Buenos Aires.

Frecuencia de superación [%]	Nivel [m MOP]	Frecuencia de superación [%]	Nivel [m MOP]
<i>MIN</i>	-2.63	45	0.91
99	-0.21	40	0.97
97.5	-0.04	35	1.05
95	0.09	30	1.12
90	0.25	25	1.20
85	0.35	20	1.30
80	0.44	15	1.42
75	0.51	10	1.59
70	0.59	5	1.84
65	0.65	2.5	2.08
60	0.71	1	2.36
55	0.78	<i>MAX</i>	<i>4.07</i>
50	0.84	-	-

### 3.3 Análisis de *Sudestadas* del período 1989-2013

Se realizó un ranking de las *Sudestadas* más importantes durante 1989-2013 y se las vinculó con la ocurrencia o no de precipitaciones en la región durante un período de cinco días previos a la ocurrencia de la *Sudestada*. La información de precipitación corresponde a los datos de la estación meteorológica Aeroparque en Buenos Aires hasta 2008 y a la estación meteorológica automática particular de Quilmes desde 2009 (Clima Sur GBA, <http://www.climasurgba.com.ar/>) (Figura 3.1). En este análisis el *Día 0* corresponde al día meteorológico en que ocurre el pico de la *Sudestada*.

En este período se detectaron 70 *Sudestadas* con un criterio basado en que el nivel máximo del evento superara el nivel de 2.80 m MOP. En la Figura 3.6 se muestra su ocurrencia según el mes del año (determinado a partir de la fecha de ocurrencia del pico de la *Sudestada*).

**Tabla 3.2.** Análisis de eventos: niveles y precipitaciones.

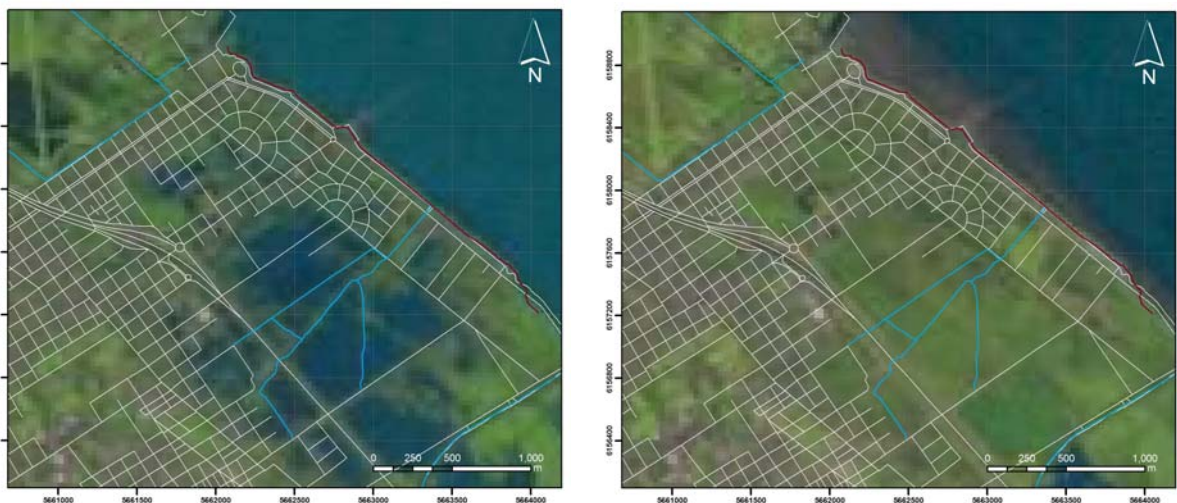
Orden	Fecha	Hora	Nivel [m MOP]	Nivel [m IGN]	Precipitación Total 5 días [mm]	Precipitación
1	12/11/89	15:00	4.07	3.51	26.4	Aeroparque
2	07/02/93	19:00	3.93	3.37	46.0	Aeroparque
3	03/04/93	13:00	3.70	3.14	77.9	Aeroparque
4	30/08/93	18:00	3.70	3.14	35.2	Aeroparque
5	01/09/10	22:00	3.59	3.03	12.5	Clima Sur GBA
6	16/05/00	21:00	3.57	3.01	177.0	Aeroparque
7	20/10/02	05:00	3.51	2.95	24.0	Aeroparque
8	20/08/89	09:00	3.48	2.92	154.2	Aeroparque
9	29/06/99	06:00	3.40	2.84	11.0	Aeroparque
10	15/11/08	21:00	3.34	2.78	4.1	Clima Sur GBA
11	08/07/00	12:00	3.32	2.76	1.60	Aeroparque
12	01/05/11	19:00	3.32	2.76	16.3	Clima Sur GBA
13	06/04/94	17:00	3.29	2.73	158.4	Aeroparque
14	13/08/10	09:00	3.26	2.70	1.0	Clima Sur GBA
15	02/24/06	16:00	3.23	2.67	96.6	Aeroparque
16	31/08/91	10:00	3.21	2.65	13.9	Aeroparque
17	24/04/05	19:00	3.21	2.65	2.90	Aeroparque
18	10/03/98	19:00	3.20	2.64	44.0	Aeroparque
19	31/12/92	22:00	3.18	2.62	1.0	Aeroparque
20	25/02/10	01:00	3.16	2.60	44.0	Clima Sur GBA

Respecto de la vinculación entre precipitaciones intensas y la ocurrencia de una Sudestada en cuanto al impacto en La Ribera de Quilmes se estudia un caso particular. A modo ilustrativo se analiza lo ocurrido con la *Sudestada* de mayo del 2000 en donde se dio la peor combinación para La Ribera durante 1989-2013 (sólo cinco eventos de mayor nivel máximo ocurrieron durante ese período; Tabla 3.2): un nivel máximo del Río de la Plata que superó los 3.5 m MOP e intensas precipitaciones en la región durante los días precedentes al pico (Figura 3.6).



**Figura 3.6.** Sudestada de mayo de 2000. Niveles en Buenos Aires y precipitación en Aeroparque (Buenos Aires, AERO), Observatorio Central (Buenos Aires, OBS) y Ezeiza (EZE).

El impacto de esta situación se observa en la imagen LANDSAT del 18 de mayo (dos días después del pico de la Sudestada y de la finalización de las lluvias). Esta situación se contrasta con la imagen del 3 de junio (dieciocho días después del pico de la Sudestada y de la finalización de las lluvias; prácticamente un período sin lluvias, llovieron 13 mm durante el 24 de mayo) (Figura 3.7).



**Figura 3.7.** Sudestada de mayo de 2000. Imágenes LANDSAT: 18 de mayo y 3 de junio.

Respecto del impacto de la ocurrencia de una Sudestada sin precipitaciones en La Ribera de Quilmes se analiza lo ocurrido con la Sudestada de noviembre de 2008. Durante este período la precipitación fue escasa, ya que en la estación meteorológica Clima Sur GBA (Quilmes) se registraron solo 4.1mm en los 5 días anteriores. El pico ocurrió el 15 de noviembre a las 21:00, unas 12 horas antes de la generación de la imagen LANDSAT, llegando a un valor de 3.34 *m MOP*.

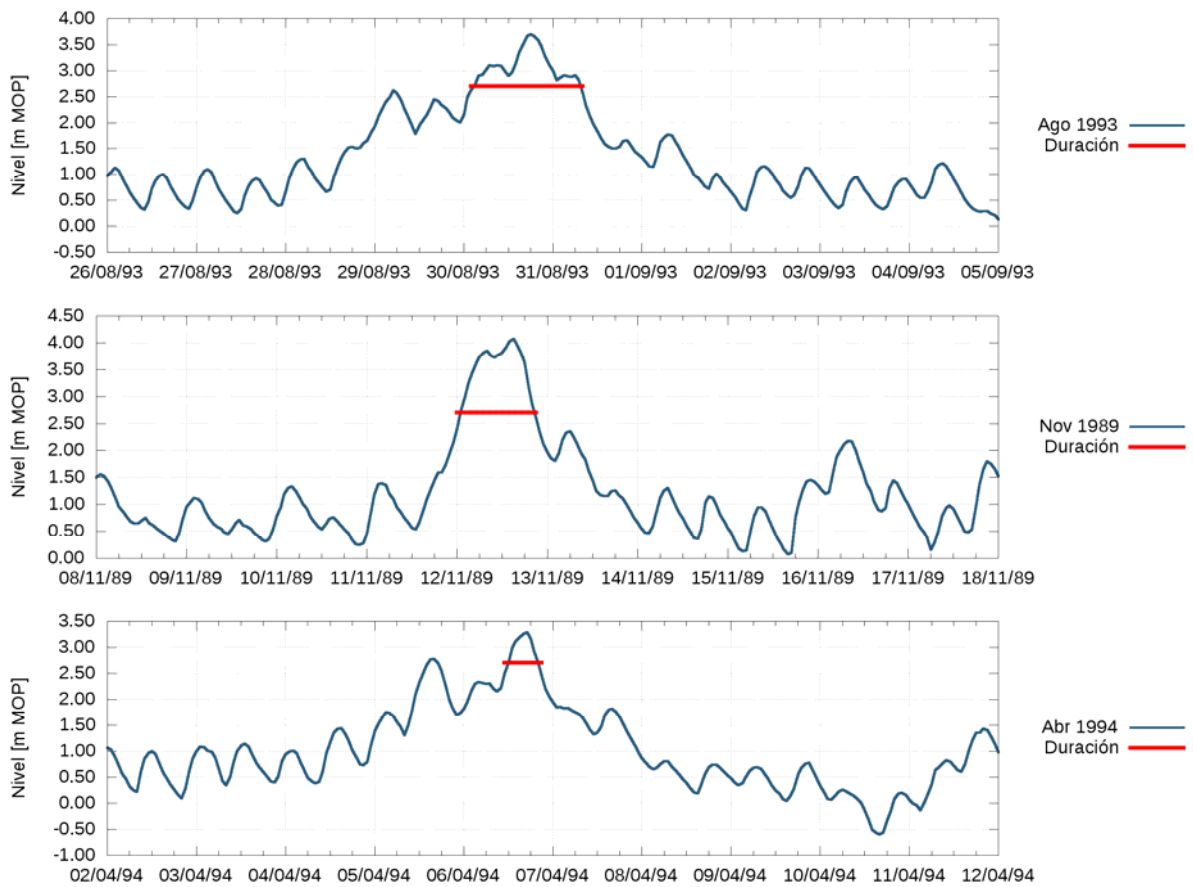


**Figura 3.8.** Sudestada de noviembre de 2008. Imagen LANDSAT: 16 de noviembre.

La duración mayor de un evento de tormenta, por encima del umbral de 2.70 *m MOP* y para el período 1989-2013, fue de 29 horas (Tabla 3.3). En general las duraciones por encima del citado umbral corresponden a valores menores que 24 horas (1 día). En la Figura 3.9 se muestra la evolución temporal de los niveles de tres sudestadas con duraciones del orden de las 30, 20 y 10 horas.

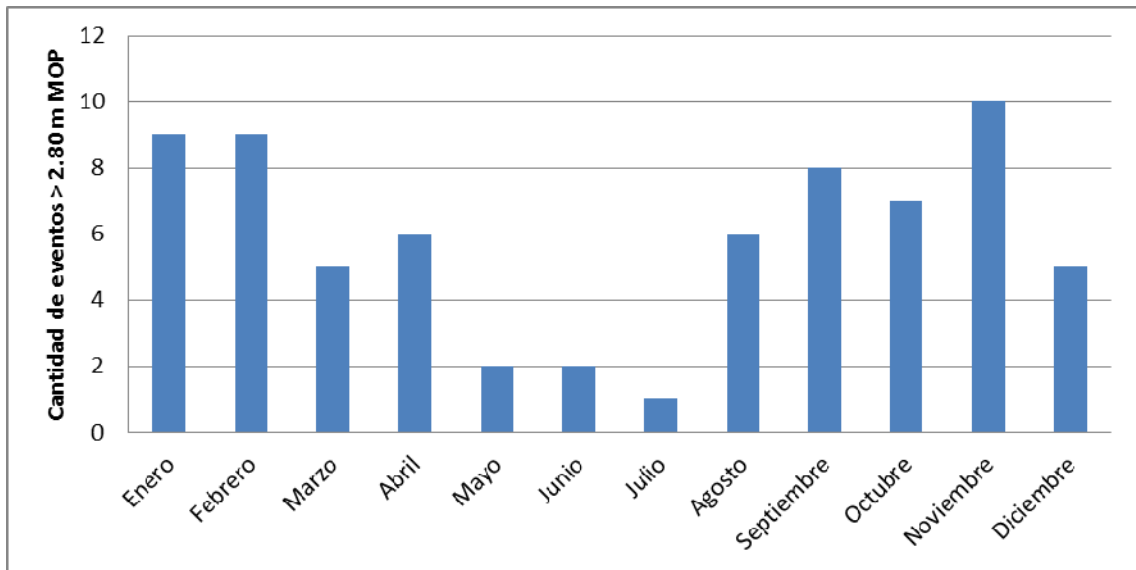
**Tabla 3.3.** Análisis de eventos: duraciones por encima del umbral de 2.70 *m MOP*.

Orden	Fecha (pico)	Duración [hs]	Orden	Fecha (pico)	Duración [hs]
1	30/08/93	29	11	10/11/12	12
2	03/04/93	25	12	06/04/94	9
3	12/11/89	20	13	01/05/11	9
4	15/05/00	18	14	22/09/11	9
5	29/06/99	17	15	20/08/89	8
6	31/01/05	17	16	08/07/00	8
7	01/09/10	16	17	20/10/02	8
8	31/08/91	14	18	17/09/90	7
9	07/02/93	13	19	15/01/92	7
10	16/06/00	13	20	31/12/92	7



**Figura 3.9.** Sudestadas con diferentes duración según umbral de 2.70 m MOP.

Se analizó la frecuencia de sudestadas según la ocurrencia de eventos con nivel mayor a 2.80 m MOP de la serie de máximos diarios de 1989-2013 evaluando la cantidad de eventos que ocurrieron por mes en ese período (Figura 3.10). Estos resultados se muestran consistentes con las distribuciones presentada por Escobar et al. (2004), en donde se observa una mayor frecuencia de Sudestadas en verano y primavera.



**Figura 3.10.** Ocurrencia eventos con niveles mayores que 2.80 m MOP. Serie 1989-2013.

## 4 MODELO DIGITAL DEL TERRENO

### 4.1 Datos

Resulta necesario para definir las características de una inundación costera contar con una representación lo suficientemente precisa de los niveles altimétricos de la zona de estudio. En este caso, y con el objetivo de tener la mejor representación topográfica posible de la Ribera de Quilmes se construyó un Modelo Digital del Terreno (MDT) en base a la información proveniente de distintas fuentes. Los límites considerados del MDT están determinados por la traza de la AU Buenos Aires – La Plata, la costa del Río de la Plata, el Canal Alsina / IMPA y la calle Echeverría.

En primer lugar, se utilizó la información de un relevamiento topográfico realizado por la Unidad Ejecutora del Proyecto de la Ribera de Quilmes (UEPRQ, Municipalidad de Quilmes), que incluye la información altimétrica de 85 puntos de la zona inundable tal como se muestra en la Figura 4.1.

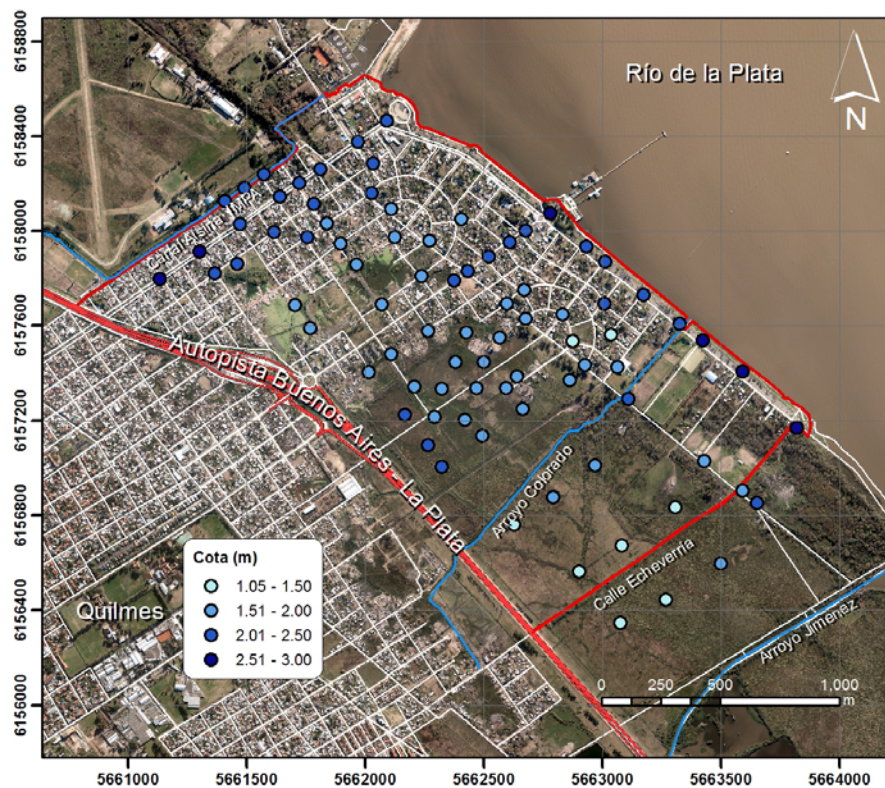
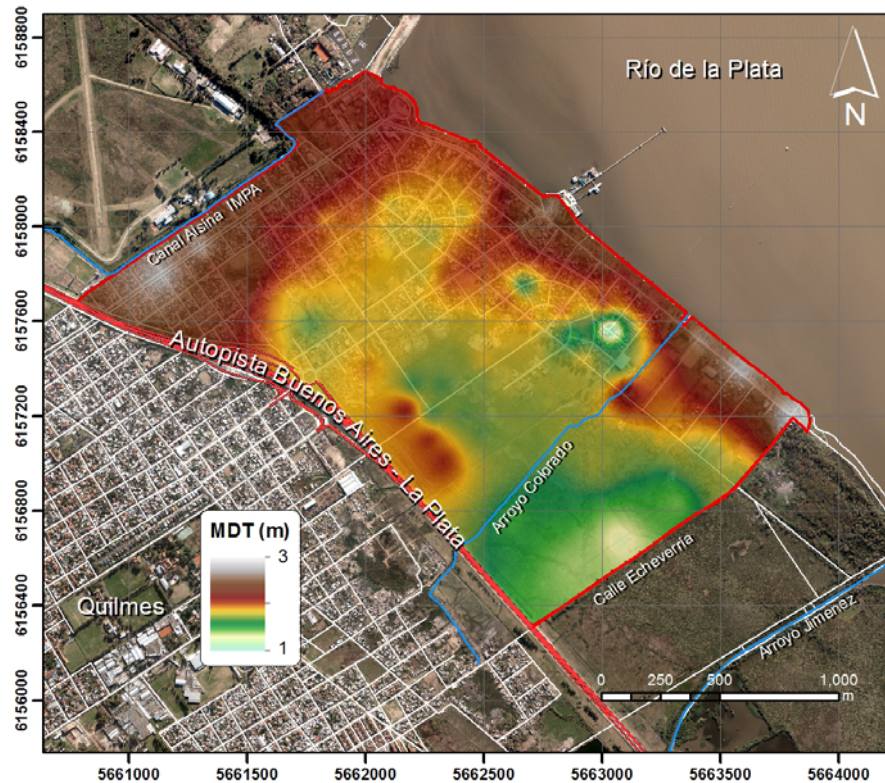


Figura 4.1. Puntos relevados por la UEPRQ.

En la Figura 4.2 se muestra el MDT resultante (MDT Preliminar), conformando una capa raster con celdas de 20 x 20 m producto de la interpolación mediante la técnica Distancia

Inversa Ponderada (IDW, *Inverse Distance Weighting*) de los puntos relevados. Los mapas se elaboraron en base al sistema de coordenadas Gauss – Krüger en faja 5, en el marco POSGAR 98.



**Figura 4.2.** MDT obtenido con los puntos relevados por la UEPRQ (*MDT Preliminar*).

Para mejorar la precisión del MDT *Preliminar*, se desarrolló una metodología de incorporación de nuevos puntos a la interpolación basada en la obtención de isolíneas del terreno mediante máscaras de agua a partir de la composición de bandas de imágenes satelitales.

La zona de estudio se ubica en la intersección de dos regiones de cobertura del satélite *LANDSAT* (designadas como *Path 225 – Row 84* y *Path 224 – Row 84*). Inicialmente se colectaron todas las imágenes de ambas zonas de cobertura del período 1979-2014, no teniendo en cuenta a aquellas con una cobertura nubosa superior al 50%, ascendiendo a un total de 1020 imágenes. El análisis de esta información consistió en identificar aquellas que hayan registrado cuerpos de agua eventuales en la zona de la Ribera de Quilmes, resultando en un total de 42, algunas de las cuales se presentan en la Figura 4.3.

Partiendo de la hipótesis de que la curva resultante de la intersección entre el espejo de agua captado por imagen satelital y el terreno está a una misma cota, se obtuvieron una serie de isolíneas del terreno para corregir el MDT *Preliminar* aportando nuevos puntos para la interpolación. Las imágenes seleccionadas finalmente para el procesamiento fueron tres. Los criterios para su selección fueron los siguientes:

1. Que el evento de inundación esté asociado a una crecida del Río de la Plata, según la serie de niveles de la Estación Palermo y considerando como evento extremo aquel que supera el umbral de 2.70 m MOP.

2. Que el tiempo transcurrido entre la captura de la imagen satelital y el pico de la crecida sea lo más reducido posible. Para las imágenes seleccionadas, el mismo resultó acotado por aproximadamente un día y doce horas.
3. Que las imágenes correspondan a cuerpos de agua de dimensiones variables, para obtener curvas a distintos niveles para realizar la interpolación.

Con estos criterios, las tres imágenes *LANDSAT* seleccionadas para realizar el procesamiento del MDT se especifican en la Tabla 4.1 y se muestran en la Figura 4.3 (en el panel izquierdo). Las imágenes satelitales estudiadas fueron captadas por el sensor *Thematic Mapper* (TM) del satélite *LANDSAT 5*. En los tres casos el tiempo entre el pico y la generación de la imagen resultó menor a dos días.

**Tabla 4.1.** Datos de las imágenes *LANDSAT* utilizadas.

ID Imagen	Hora	Distancia al pico [horas]
LT52250842000139CUB00	18/05/2000 09:20:11	36.3
LT52250842007014COA00	14/01/2007 09:39:18	4.7
LT52250842008321CUB00	16/11/2008 09:27:43	12.5

Se utilizó el indicador *MNDWI* (*Modified Normalized Difference Water Index*) (Xu, 2006) calculado a partir de la composición de bandas de las tres imágenes satelitales seleccionadas. El *MDNWI* surge como una modificación del método propuesto por McFeeters (1996) conocido como *NDWI* (*Normalized Difference Water Index*). El *NDWI* se expresa como:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

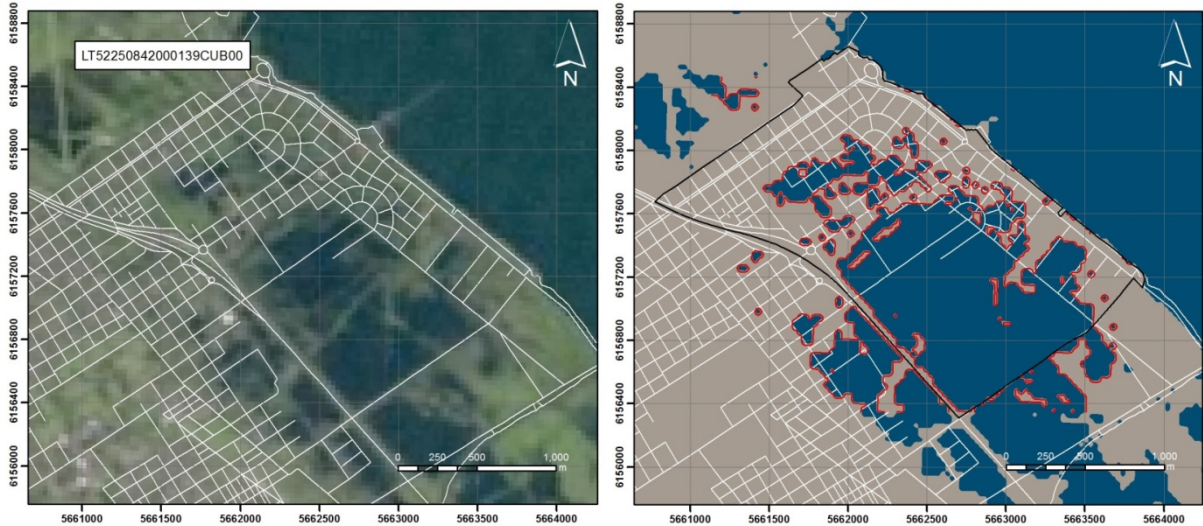
donde *Green* es una banda verde (banda 2 del TM) y *NIR* es una banda de infrarrojo cercano (banda 4 del TM). Este índice está pensado para: (1) maximizar la reflectancia del agua a través del uso de anchos de banda verdes; (2) minimizar la baja reflectancia del NIR que producen los cuerpos de agua; y (3) aprovechar la alta reflectancia del NIR producido por regiones de suelo y vegetación. Como resultado de esta operación, en el *raster* resultante, los cuerpos de agua tienen valores del índice positivos y por lo tanto se resaltan, mientras que la vegetación y el suelo usualmente tienen valor cero o negativo y se suprimen (McFeeters, 1996). Sin embargo, la aplicación del *NDWI* en regiones urbanizadas no alcanza satisfactoriamente ese objetivo. La información de agua extraída de dichas regiones está generalmente mezclada con la interferencia de las zonas urbanizadas.

Según Xu (2006), si se utiliza una banda de infrarrojo medio (*Middle Infrared*, *MIR*) como la banda 5 del TM en lugar del infrarrojo cercano (banda 4), el nuevo índice asigna valores negativos a las zonas urbanizadas. Basado en esta suposición, el *NDWI* es modificado sustituyendo la banda *NIR* por la banda *MIR*. El *NDWI* modificado (*MNDWI*) se expresa como:

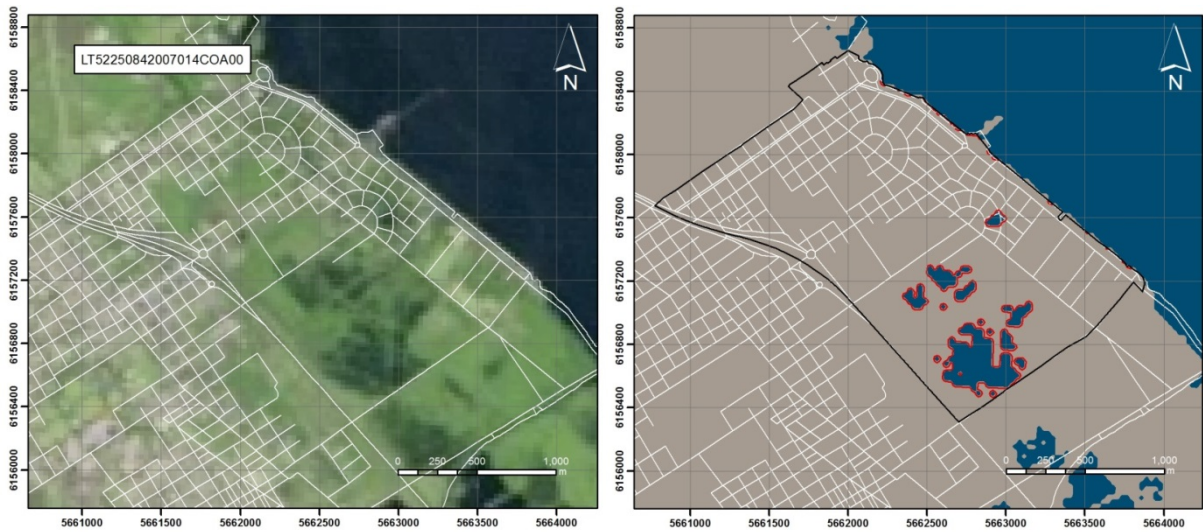
$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (2)$$

La aplicación del índice *MNDWI* para obtener los cuerpos de agua eventuales y las isóneas

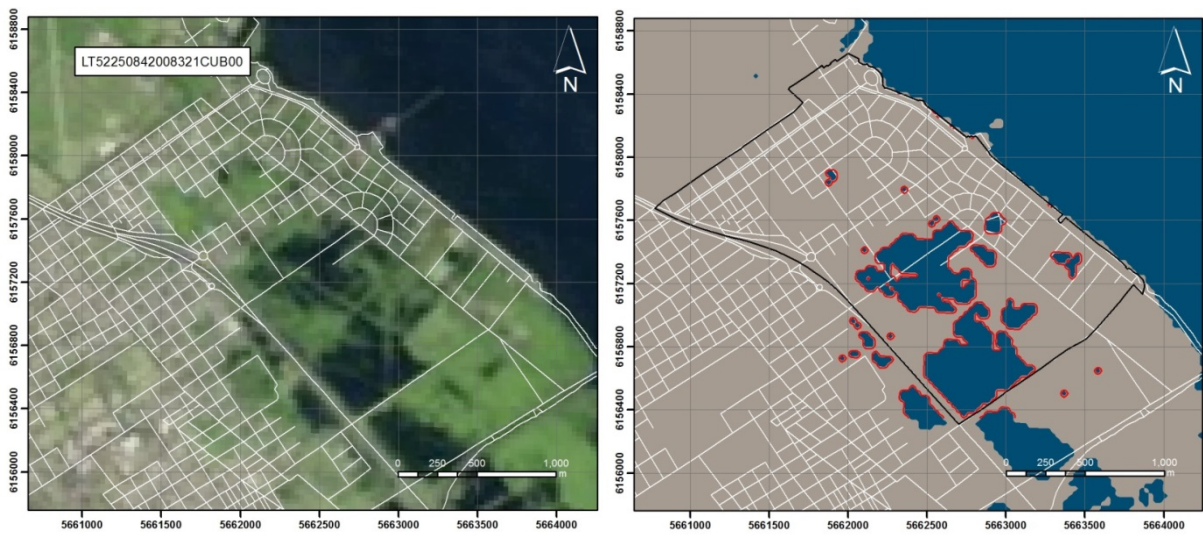
correspondientes en la Ribera de Quilmes puede observarse en la Figura 4.3 (del lado derecho) junto con las imágenes satelitales seleccionadas.



a) *Imagen del 18/05/2000*



b) *Imagen del 14/01/2007*



c) Imagen del 16/11/2008

**Figura 4.3.** Izquierda: imágenes LANDSAT seleccionadas (Tabla 4.1). Derecha: máscaras de agua e isolíneas del terreno según la composición de bandas MNDWI.

En el MDT *Preliminar*, cada isolínea atraviesa varias celdas con distintos valores de cota. Para el procesamiento del MDT, se requiere asignar un valor de cota a cada curva de nivel en función de lo obtenido en el MDT *Preliminar*. Se calculó por cada línea un promedio ponderado de la cota con un factor de ponderación igual a la longitud del tramo de isolínea que atraviesa cada celda del MDT *Preliminar*. Esto se expresa como:

$$\bar{x} = \sum_1^i \frac{(l_i v_i)}{L} \quad (3)$$

donde  $l$  es la longitud del segmento en la celda,  $v$  es el valor de cota de la celda del *raster* correspondiente a ese segmento y  $L$  es la longitud total de la línea.

Con las curvas de nivel obtenidas, y el valor de cota asociado a las mismas, se procedió a realizar una interpolación en la zona de estudio para obtener el MDT. El resultado de la nueva interpolación (método IDW) puede verse en la Figura 4.4, con las curvas de nivel de una de las imágenes satelitales a modo ilustrativo (*imagen LT52250842007014COA00*).

El valor absoluto de la diferencia entre los dos MDT se ilustra en la Figura 4.5. El mismo está acotado por un valor de 60 *cm*. Se observa que la mayor diferencia de cotas corresponde a zonas que no están próximas a los puntos relevados (Figura 4.1).

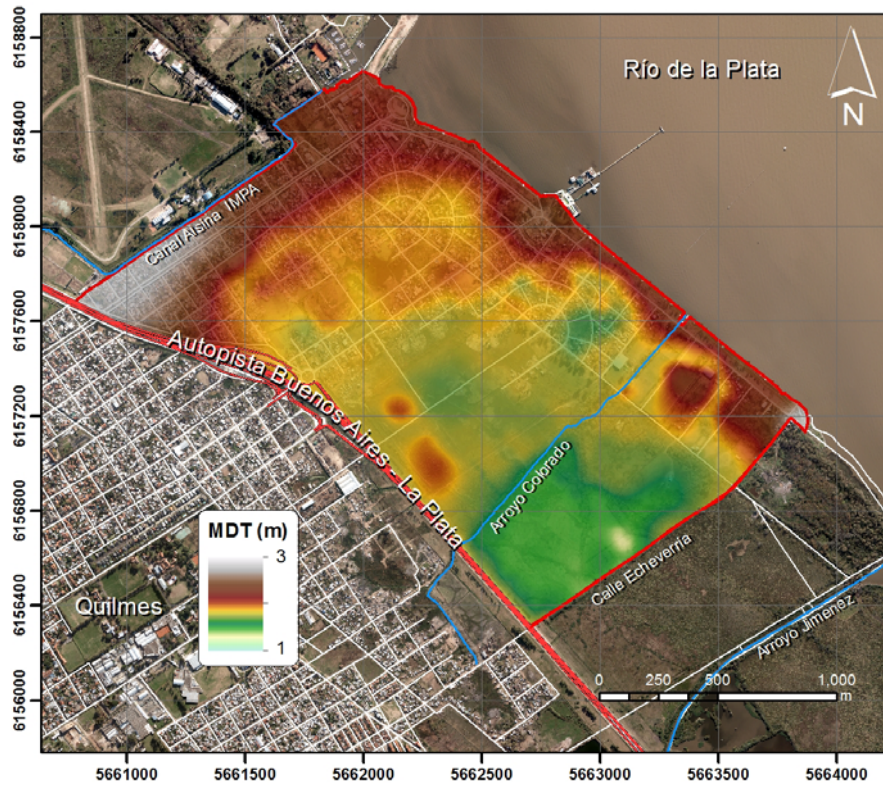


Figura 4.4. MDT obtenido con el procesamiento de isoclinas.

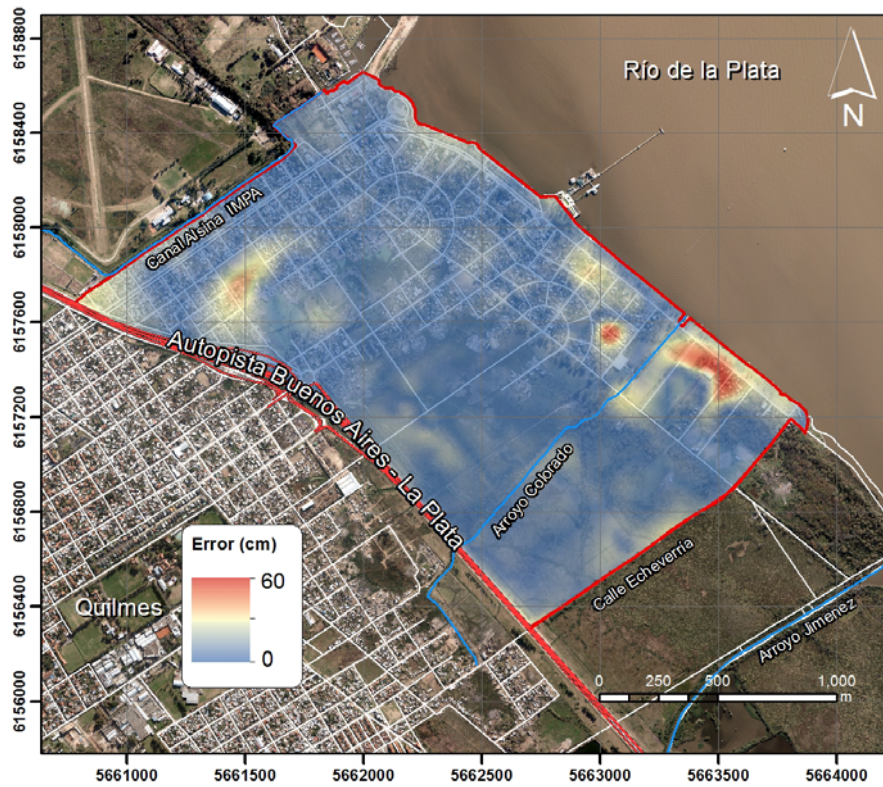


Figura 4.5. Diferencia de cotas entre MDT Preliminar y MDT.

## 5 ESTADÍSTICA DE EXTREMOS

### 5.1 Introducción

El análisis de eventos extremos en la dinámica de estuarios, vinculada a la ocurrencia de ondas de tormenta (marea meteorológica), en general se representa en términos de niveles de agua, intensidad y dirección del viento, y altura significativa, período y dirección de ola. Mucho menos investigado (pero no de importancia secundaria) es la duración del evento, lo que representa una variable clave cuando se trata de la dinámica costera y la evaluación de la vulnerabilidad de población y estructuras (De Michele *et al.*, 2007).

Yue *et al.* (2001) plantean que gradualmente se ha ido reconociendo que los eventos hidrológicos complejos, como las inundaciones y las tormentas, se pueden explicar como eventos multivariados caracterizándolos a partir de unas pocas variables aleatorias correlacionadas. En este contexto, el análisis estadístico de extremos a partir una sola variable (univariado), en algunos casos, puede proporcionar una evaluación limitada de este tipo de eventos. Una comprensión más profunda de los mismos puede obtenerse mediante el estudio del comportamiento probabilístico conjunto de dos o más variables aleatorias correlacionadas que puedan caracterizarlos (multivariado). Específicamente en el caso de inundaciones se encuentran aplicaciones de estadística de extremos multivariadas en Escalante-Sandoval (2007), Salvadori *et al.* (2011), De Michele *et al.* 2007, entre otros.

### 5.2 Distribuciones de valores extremos univariadas

La teoría clásica de valores extremos describe como, para secuencias suficientemente largas de variables aleatorias independientes idénticamente distribuidas, los máximos de muestras del tamaño  $n$ , se pueden ajustar a una de tres familias básicas. Estas tres clases de distribución denominadas distribuciones de valores extremos de tipo I, II y III, son ampliamente conocidas como distribuciones de *Gumbel*, *Fréchet* y *Weibull* respectivamente. Estas distribuciones de valores extremos se combinan en una sola familia conocida como Distribución Generalizada de Valor Extremo (GEV) expresada de la siguiente manera:

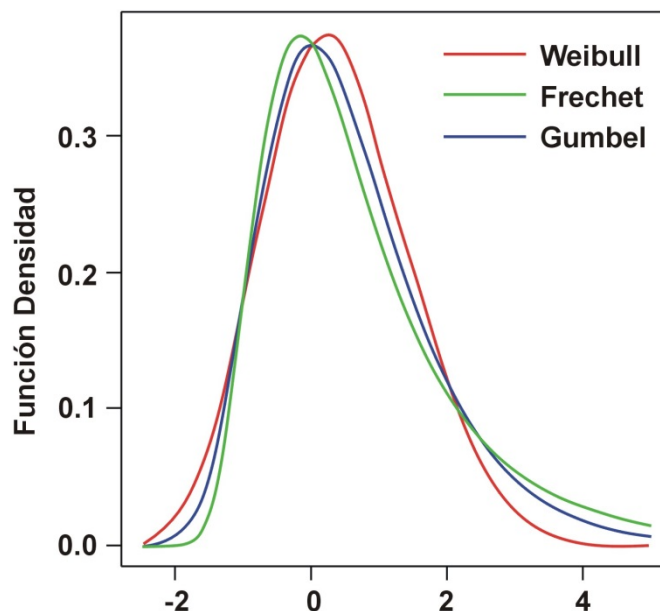
$$G(z) = \exp \left[ - \left( 1 + \gamma \cdot \frac{z - \mu}{\sigma} \right)^{-1/\gamma} \right] \quad (4)$$

donde  $\mu$  es el parámetro de localización,  $\sigma > 0$  es el parámetro de escala y  $\gamma$  es el parámetro de forma. Como la media y el desvío standard en la Distribución Normal, el parámetro de localización especifica donde se 'centra' la distribución, el parámetro de escala cuanto se extiende y el parámetro de forma determina uno de los tres posibles tipos de forma de distribución (Katz *et al.*, 2005). La unificación de las tres familias originales en una única familia, simplifica la implementación estadística. A través de la inferencia del parámetro de forma, los propios datos determinan el comportamiento más apropiado de la cola, y no es

necesario analizar subjetivamente *a priori* que tipo de familia implementar (Coles, 2001). Entonces, la forma de la GEV puede ser de tres tipos, dependiendo del valor que adopte el parámetro de forma  $\gamma$  (Figura 5.1):

- i)  $\gamma = 0$       distribución de cola liviana (*Gumbel*, Tipo I)
- ii)  $\gamma > 0$ ,      distribución de cola pesada (*Fréchet*, Tipo II)
- iii)  $\gamma < 0$ ,      distribución limitada (*Weibull*, Tipo III)

La distribución Tipo I (*Gumbel*) tiene una cola superior ilimitada que disminuye a una tasa relativamente rápida. Aunque la distribución de Tipo II (*Fréchet*) también tiene una cola superior ilimitada, disminuye a una mucho más lenta. La distribución Tipo III (*Weibull*) tiene un límite finito en  $x = \mu - \sigma/\gamma$ . La función de distribución de densidad decae exponencialmente, en el caso de la distribución de *Gumbel*, y polinómicamente en el caso de la distribución de *Fréchet* (May, 2004).



**Figura 5.1.** Función de densidad de probabilidad de la GEV con  $\mu=0$ ,  $\sigma=1$ , y  $\gamma=-0.2$  (Weibull),  $\gamma=0$  (Gumbel) y  $\gamma=0.2$  (Fréchet) (Katz et al., 2005).

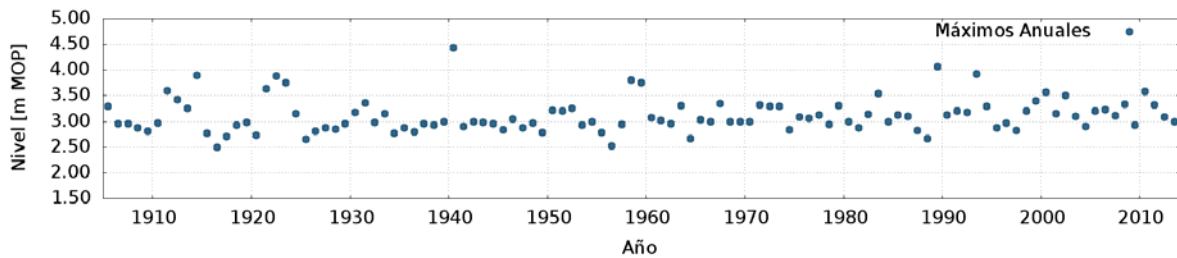
La forma de trabajar las series de datos con las distribuciones GEV es a través del agrupamiento en bloques de igual longitud, ajustando los máximos de cada bloque. Para esta técnica (BM, *Block Maxima Approach*), la elección del tamaño de bloque puede ser crítica dado que los bloques pequeños pueden conducir a incertezas, y los bloques que son demasiado grandes generan muy pocos máximos, conduciendo a malas estimaciones de la varianza (Coles, 2001).

En este trabajo, por considerarse satisfactoria la cantidad de información disponible, se ajustaron distribuciones tipo GEV. No se tuvieron en cuenta otro tipo de enfoques como el de picos por sobre un umbral (POT, *Peaks Over Threshold*; GPD, Distribución Generalizada de Pareto) (Re y Barros, 2009).

### 5.3 Ajuste de distribuciones de valores extremos univariada

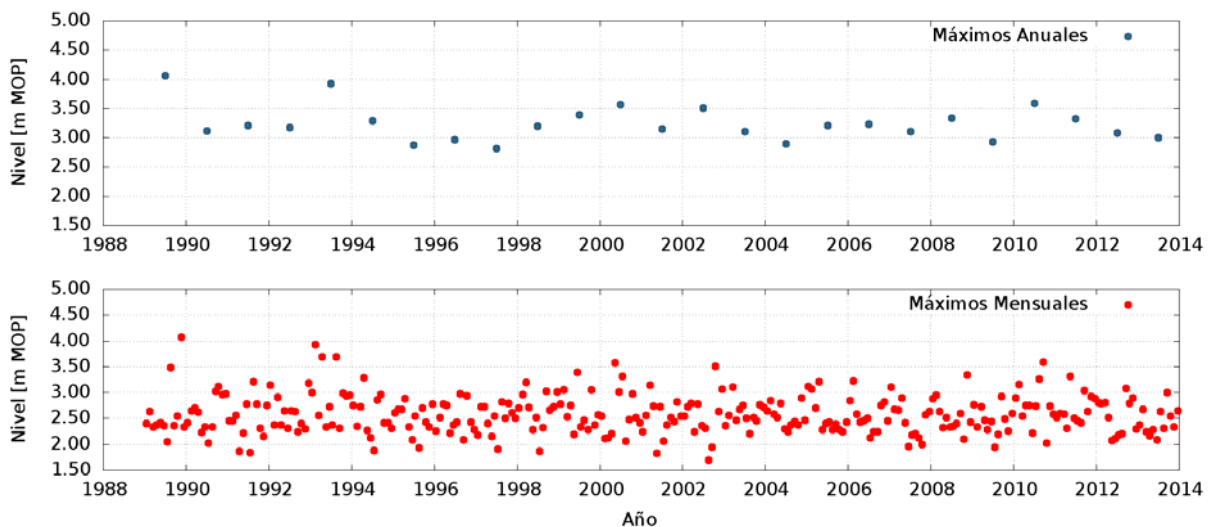
#### 5.3.1 Alturas de inundación

Se dispuso de la serie temporal de niveles máximos anuales del Río de la Plata en Buenos Aires para el período 1905-2013 (asociados a fenómenos de Sudestada). Esta serie se presenta en la Figura 5.2, en donde se observa el máximo nivel histórico registrado de 4.44 m MOP en 1940.



**Figura 5.2.** Serie de máximos anuales de altura de inundación (1905-2013).

También, se contó con la serie de niveles horarios en el mismo punto pero para el período 1989-2013 (datos brindados por el Servicio de Hidrografía Naval, SHN). De esa serie se extrajeron los valores máximos para dos tipos de bloques: anuales y mensuales (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Serie de máximos anuales y mensuales de altura de inundación (1989-2013).

Las tres series de altura de inundación presentadas (máximos anuales 1905-2013, máximos anuales 1989-2013 y máximos mensuales 1989-2013) fueron sometidas a un análisis de extremos ajustando sus valores a la Distribución Generalizada de Valor Extremo (GEV) y a la Distribución de Gumbel (GEV Tipo I). Los métodos de estimación de parámetros utilizados fueron el Método de Máxima Verosimilitud (MLE) para la GEV y la GEV Tipo I y el Método de los Momentos (MM) para la GEV Tipo I.

Las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 presentan los parámetros estimados de las distribuciones. No se observan diferencias significativas entre los parámetros de localización y de escala debido al tipo de ajuste. También se observa, para el caso del ajuste de la GEV, que el parámetro de

forma es lo suficientemente pequeño como para considerar válidos los ajustes con la GEV Tipo I (Gumbel).

**Tabla 5.1.** Parámetros de la distribución de altura de inundación (máximos anuales, 1905-2013).

Parámetros	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)
Localización ( $\mu$ )	2.97	2.96	2.97
Escala ( $\sigma$ )	0.250	0.268	0.249
Forma ( $\gamma$ )	-	-	0.007

**Tabla 5.2.** Parámetros de la distribución de altura de inundación (máximos anuales, 1989-2013).

Parámetros	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)
Localización ( $\mu$ )	3.11	3.10	3.10
Escala ( $\sigma$ )	0.224	0.271	0.218
Forma ( $\gamma$ )	-	-	0.068

**Tabla 5.3.** Parámetros de la distribución de altura de inundación (máximos mensuales, 1989-2013).

Parámetros	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)
Localización ( $\mu$ )	2.40	2.41	2.41
Escala ( $\sigma$ )	0.318	0.298	0.323
Forma ( $\gamma$ )	-	-	-0.093

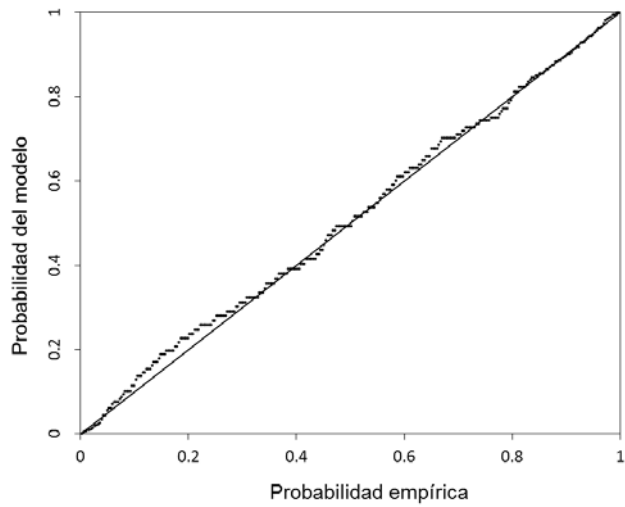
Se observa que la media de los máximos mensuales es inferior a la media de los máximos anuales, lo cual es consistente.

Si se supone que la serie de valores de niveles ordenada de forma  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$  es una muestra de observaciones independientes de una población idénticamente distribuida con función de distribución  $\tilde{F}$ , la función de distribución empírica se define como (Coles, 2001):

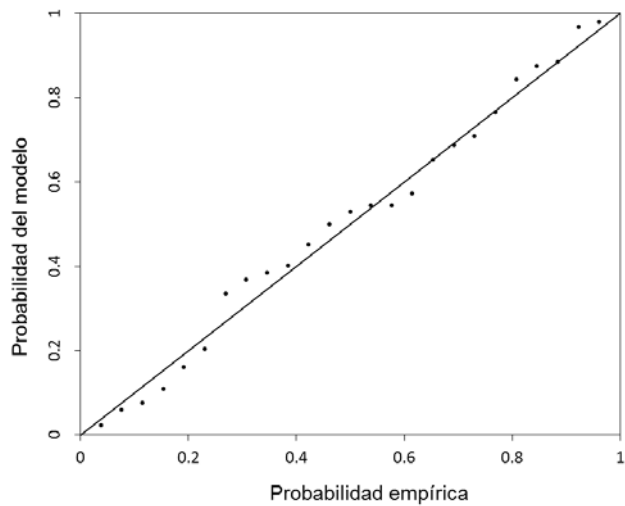
$$\tilde{F}(x) = \frac{i}{n+1} \quad \text{para } x_{(i)} \leq x \leq x_{(i+1)} \quad (5)$$

donde para cada uno de los  $x_{(i)}$ , exactamente  $i$  de las  $n$  observaciones tienen un valor menor o igual a  $x_{(i)}$ . Esta función se utilizó para realizar la comparación entre las probabilidades empíricas y las ajustadas según cada función de distribución (*PP-Plots*). A modo ilustrativo en la Figura 5.4, se observa la comparación del ajuste de las tres series con la distribución GEV generalizada utilizando el método de MLE.

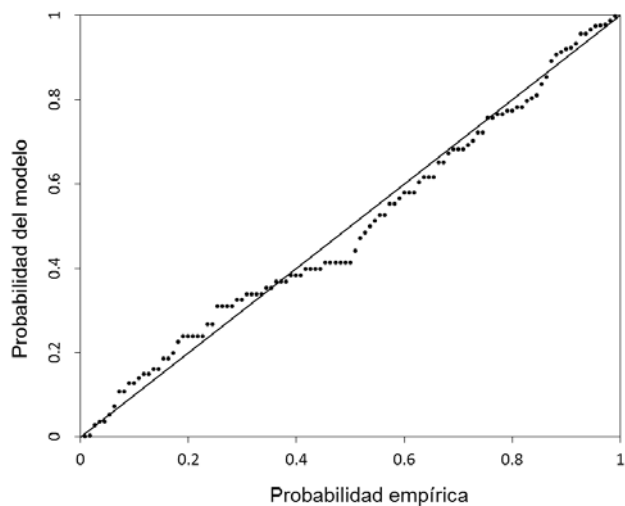
La Figura 5.5 presenta la probabilidad de no excedencia para distintas alturas de inundación obtenidas también a partir del ajuste de la distribución GEV generalizada con el método de MLE.



a) Máximos mensuales, Serie 1989-2013

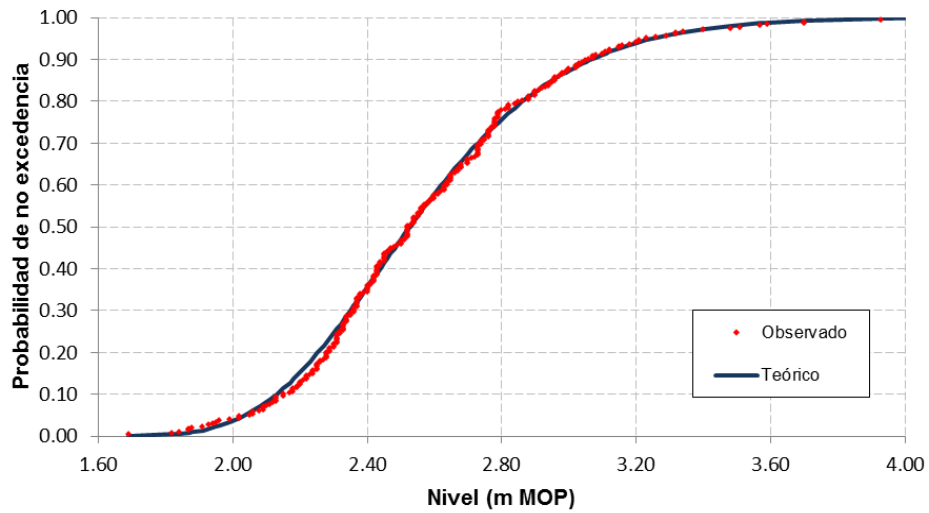


b) Máximos anuales, Serie 1989-2013

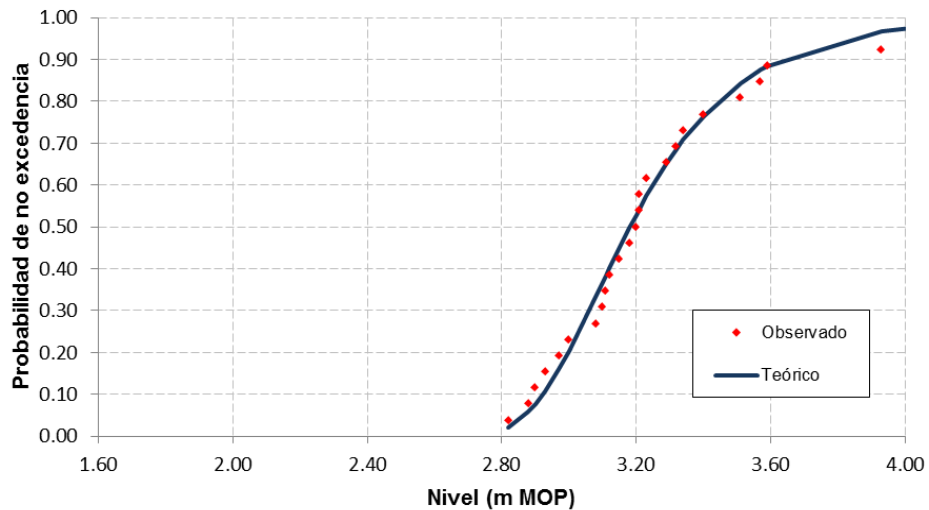


c) Máximos anuales, Serie 1905-2013

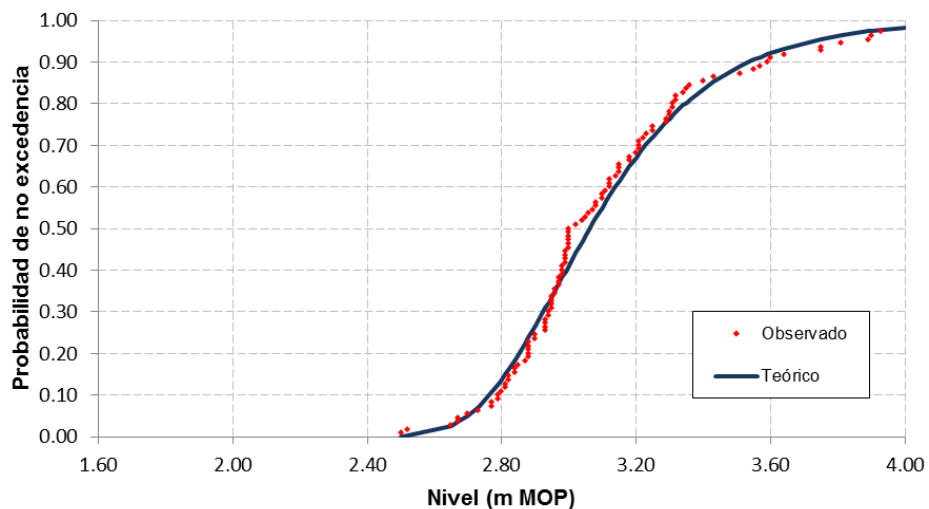
**Figura 5.4.** Gráfico de probabilidades para alturas de inundación. Ajuste a GEV con MLE.



a) Máximos mensuales, Serie 1989-2013



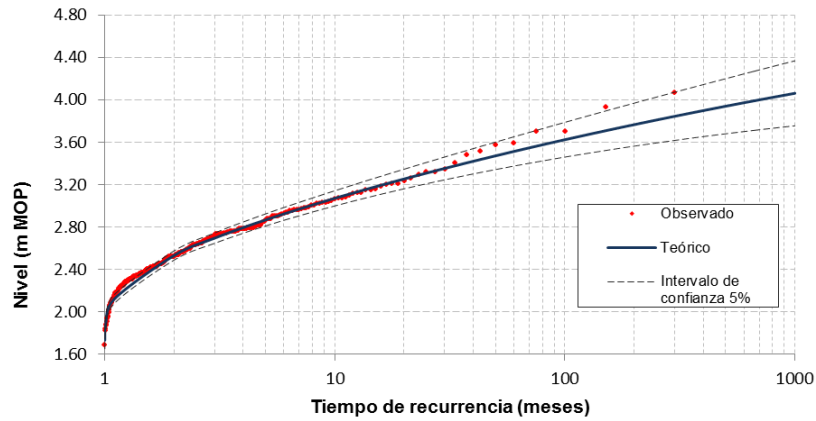
b) Máximos anuales, Serie 1989-2013



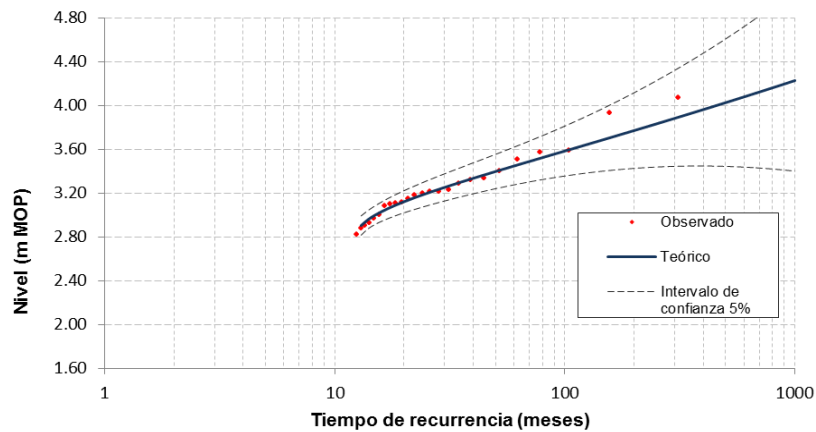
c) Máximos anuales, Serie 1905-2013

**Figura 5.5.** Probabilidad de no excedencia para alturas de inundación.

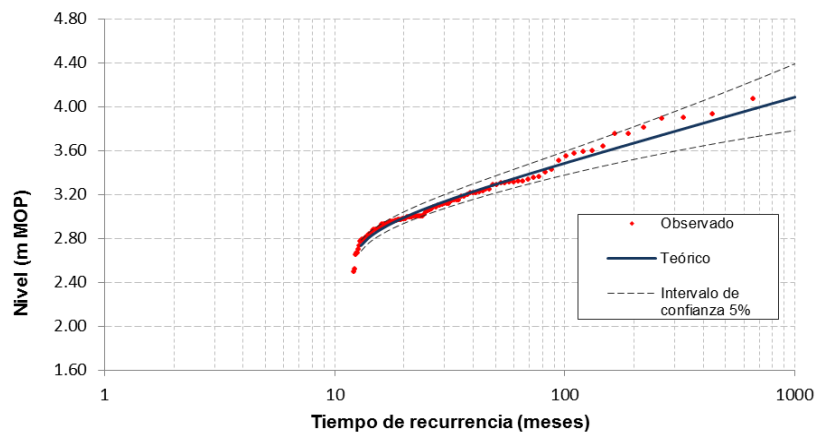
Los resultados de los ajustes, vinculando los niveles alcanzados por el río con el tiempo de recurrencia o período de retorno (intervalo de tiempo medio entre repeticiones de un evento con ese nivel máximo o mayor), se presentan para valores mensuales en la Figura 5.6 y anuales en la Figura 5.7.



a) Máximos mensuales, Serie 1989-2013

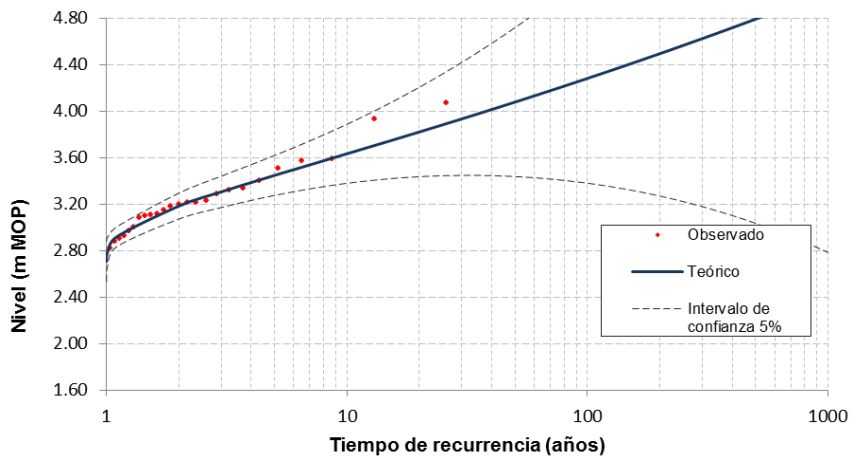


b) Máximos anuales, Serie 1989-2013

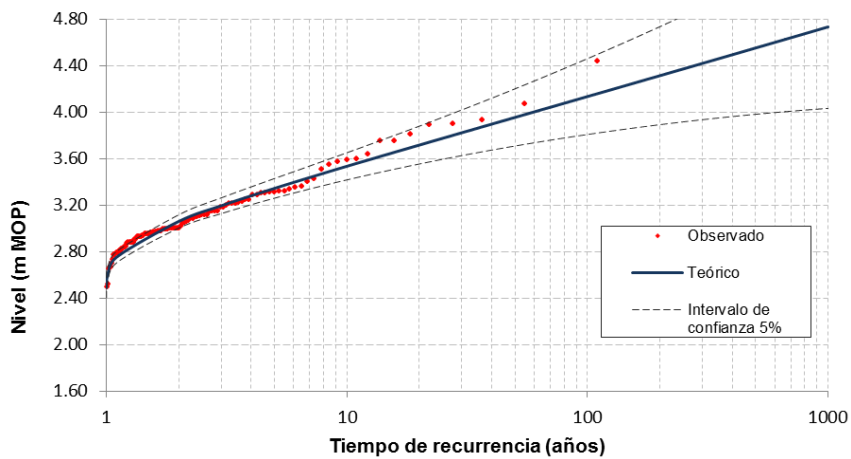


c) Máximos anuales, Serie 1905-2013

**Figura 5.6.** Tiempo de recurrencia en meses para alturas de inundación (GEV ajustado con MLE).



a) Máximos anuales, Serie 1989-2013



b) Máximos anuales, Serie 1905-2013

**Figura 5.7.** Tiempo de recurrencia en años para alturas de inundación (GEV ajustado con MLE).

En la Tabla 5.4 se sintetizan los principales valores que surgen de la funciones de ajuste considerando tiempos de recurrencia intra e inter anuales. Se observa que para el valor de 3 m MOP, aproximadamente aquel de superación de la defensa costera de La Ribera de Quilmes, la recurrencia es intra anual (aproximadamente 0.5 años) por lo que podrían esperarse en promedio dos eventos de esa característica por año.

Tabla 5.4. Recurrencias de altura de inundación en m MOP.

Rec (años)	1905-2013 (anuales)			1989-2013 (anuales)			1989-2013 (mensuales)		
	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)	Gumbel (MLE)	Gumbel (MM)	GEV (MLE)
0.25	-	-	-	-	-	-	2.69	2.68	2.69
0.33	-	-	-	-	-	-	2.80	2.78	2.79
0.5	-	-	-	-	-	-	2.94	2.91	2.92
1	-	-	-	-	-	-	3.18	3.13	3.12
2	3.06	3.06	3.06	3.19	3.20	3.18	3.40	3.35	3.30
5	3.34	3.37	3.34	3.45	3.51	3.45	3.70	3.62	3.51
10	3.53	3.57	3.53	3.61	3.71	3.63	3.92	3.83	3.66
20	3.71	3.76	3.72	3.78	3.91	3.82	4.14	4.04	3.80
50	3.94	4.01	3.95	3.98	4.16	4.08	4.43	4.31	3.97
100	4.12	4.20	4.13	4.14	4.35	4.28	4.65	4.52	4.09

En el análisis estadístico previo se evaluó el período de retorno sin tener en cuenta que con la metodología del *Block Maxima Approach* pueden existir valores importantes de la variable analizada que no son máximos de su bloque pero que son relevantes para la estadística general. Para tener en cuenta esta situación, se utiliza la relación propuesta por Langbein (1949) que vincula el período de retorno de máximos mensuales ( $T_A$ ) con el período de retorno de los picos por sobre un umbral ( $T_P$ ):

$$T_A = [1 - \exp(-1/T_P)]^{-1} \quad (6)$$

Si se aplica el test de Langbein, para períodos de retorno bajos (mayor frecuencia), el análisis obtenido por máximos mensuales sería más consistente con aquel realizado para máximos anuales.

### 5.3.2 Duración de inundación

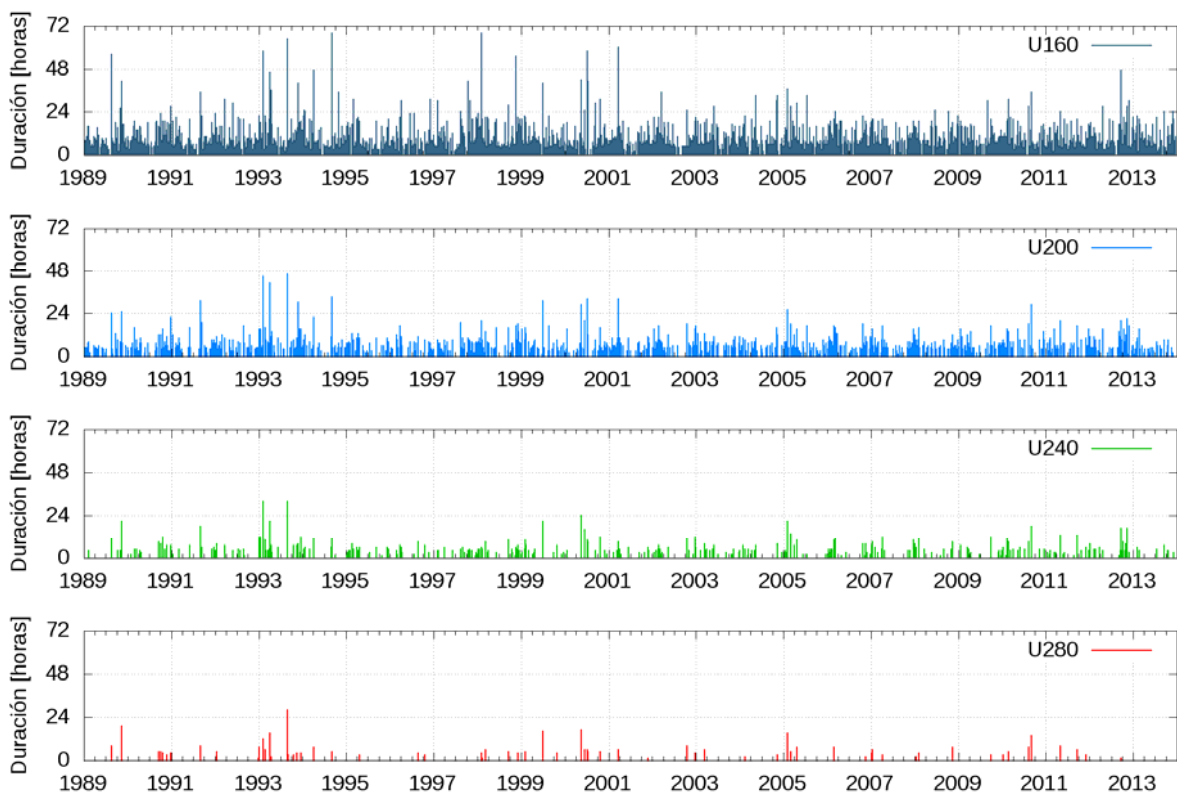
La variable duración de inundación en cada punto de la zona de estudio está condicionada por sus características topográficas. Al igual que para la variable altura de inundación, la forma de analizar los valores extremos de la duración de inundación es a través del ajuste de una serie de máximos de cada bloque propuesto (*Block Maxima Approach*).

Para asociar el condicionante topográfico con las series de valores extremos, se necesitan hacer ajustes estadísticos proponiendo distintos umbrales del terreno a través de la siguiente metodología:

1. Se ajusta el tamaño del bloque de forma tal que el valor mínimo de la serie de nivel máximo, para determinado tamaño de bloque, sea mayor al nivel del umbral considerado.
2. Se calcula la duración del evento con mayor pico en cada bloque.

3. Se ajusta la serie de duraciones de inundación a una distribución de valores extremos.
4. Se traza la curva que relaciona la topografía del terreno con la duración de inundación para cada período de retorno.

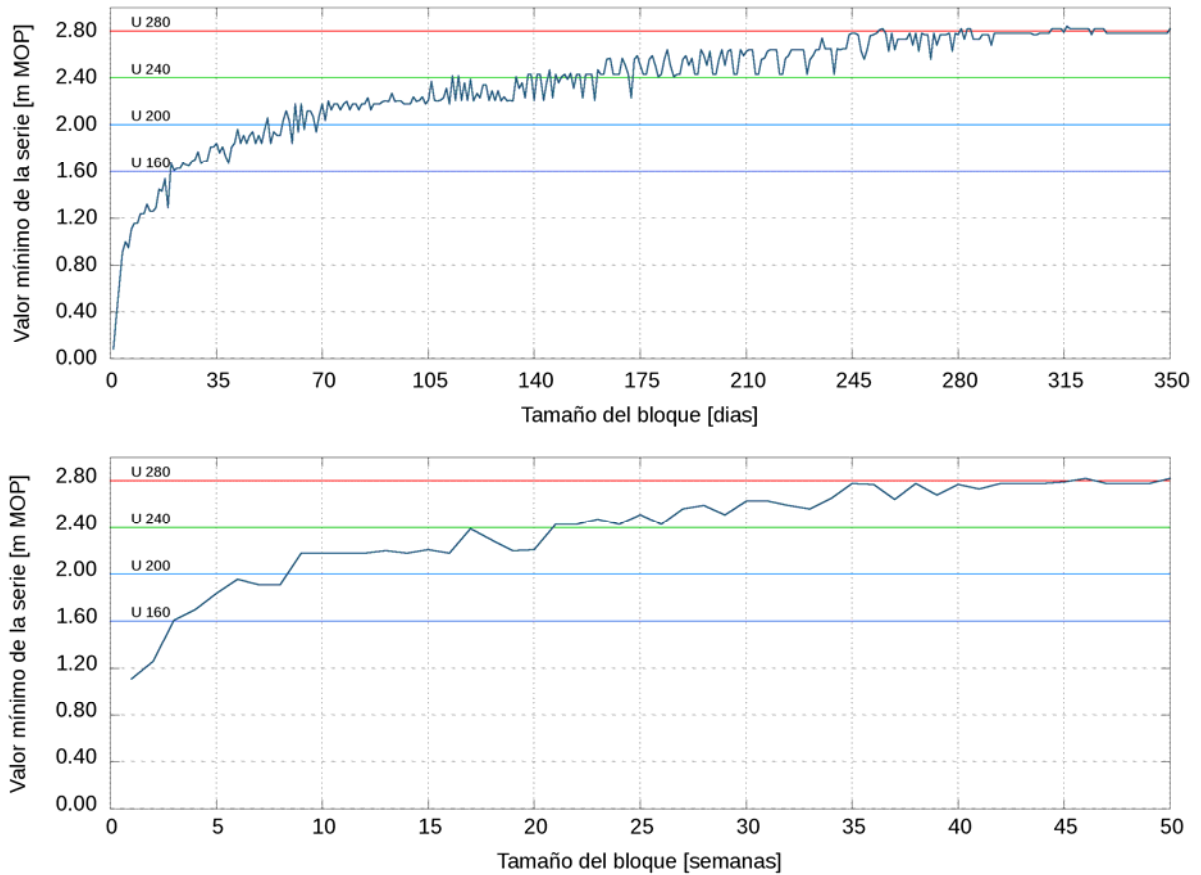
Partiendo de la serie de datos horarios de niveles en Buenos Aires para el período 1989-2013, se adoptaron los siguientes valores umbral para detectar series de duración de inundación: 1.60 m MOP (asociado al HAT), 2.00 m MOP, 2.40 m MOP y 2.80 m MOP (vinculado a la superación de la defensa costera de La Ribera de Quilmes).



**Figura 5.8.** Series totales de duraciones de inundación por umbral

Para el análisis estadístico de duraciones, resulta necesario que esta variable sea distinta de cero, lo que ocurre si el valor mínimo de los picos máximos por cada bloque supera el valor umbral. Por lo tanto, se debe encontrar un tamaño de bloque que permita esa condición.

La relación entre el tamaño de bloque a elegir con el mínimo de los picos máximos de cada bloque se muestra en la Figura 5.9, tanto para tamaños de bloques de días y de semanas. A medida que el bloque aumenta de tamaño, la cantidad de eventos superadores del umbral que pertenezcan al mismo tiende a crecer, al igual que el valor del pico máximo.



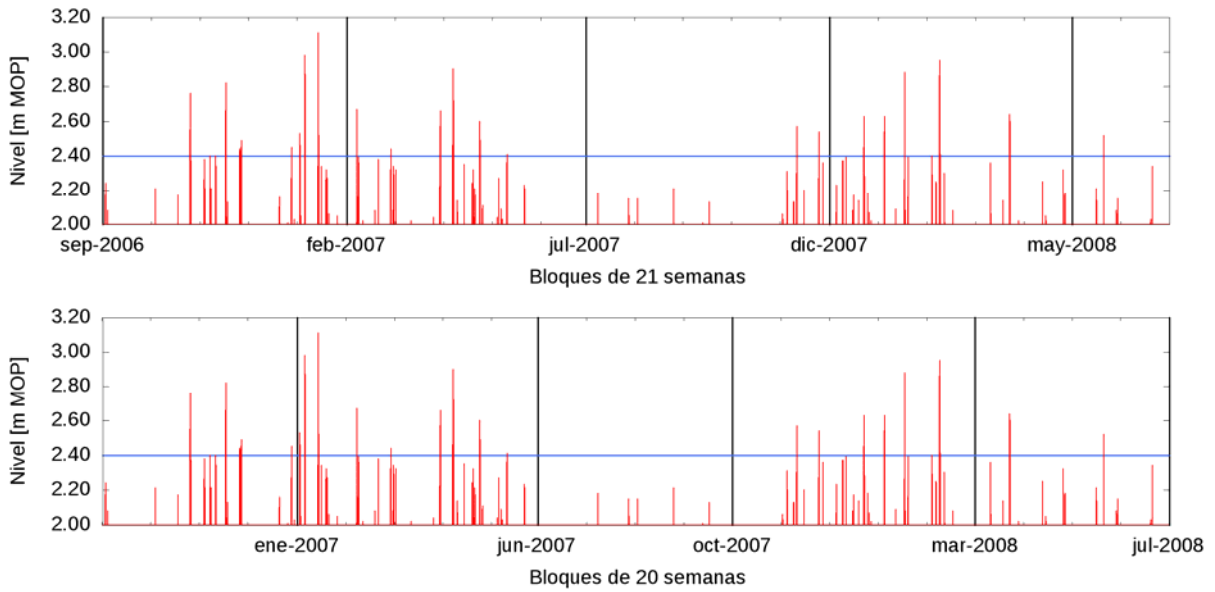
**Figura 5.9.** Relación entre tamaño del bloque y el valor mínimo de la serie de nivel máximo.

En la Tabla 5.6 se presentan los bloques a considerar para cada umbral y la cantidad de eventos detectados según cada umbral.

**Tabla 5.6.** Tamaño de bloque a considerar para los umbrales adoptados.

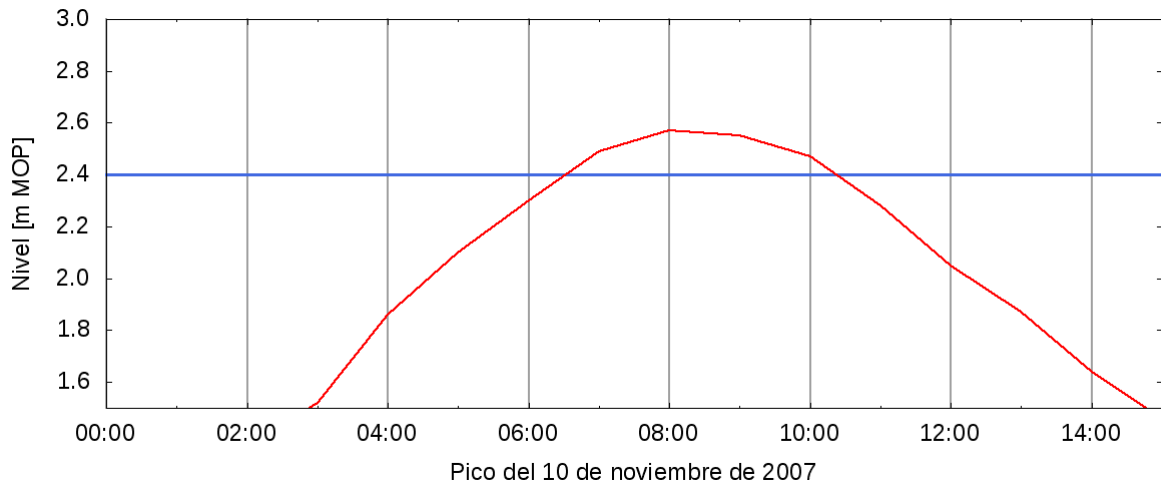
Umbral [m MOP]	Tamaño de bloque [semanas]	Cantidad de eventos
1.60	3	434
2.00	9	144
2.40	21	62
2.80	50	26

Para ilustrar la necesidad de aumentar el tamaño del bloque hasta que se cumpla la condición citada se presenta un ejemplo. Tomando el umbral de 2.40 m MOP, observamos en la Figura 5.9 y la Tabla 5.6 que el bloque a adoptar debería ser de por lo menos 21 semanas. Si se tomase un bloque menor, se tendría un evento de duración cero (Figura 5.10).



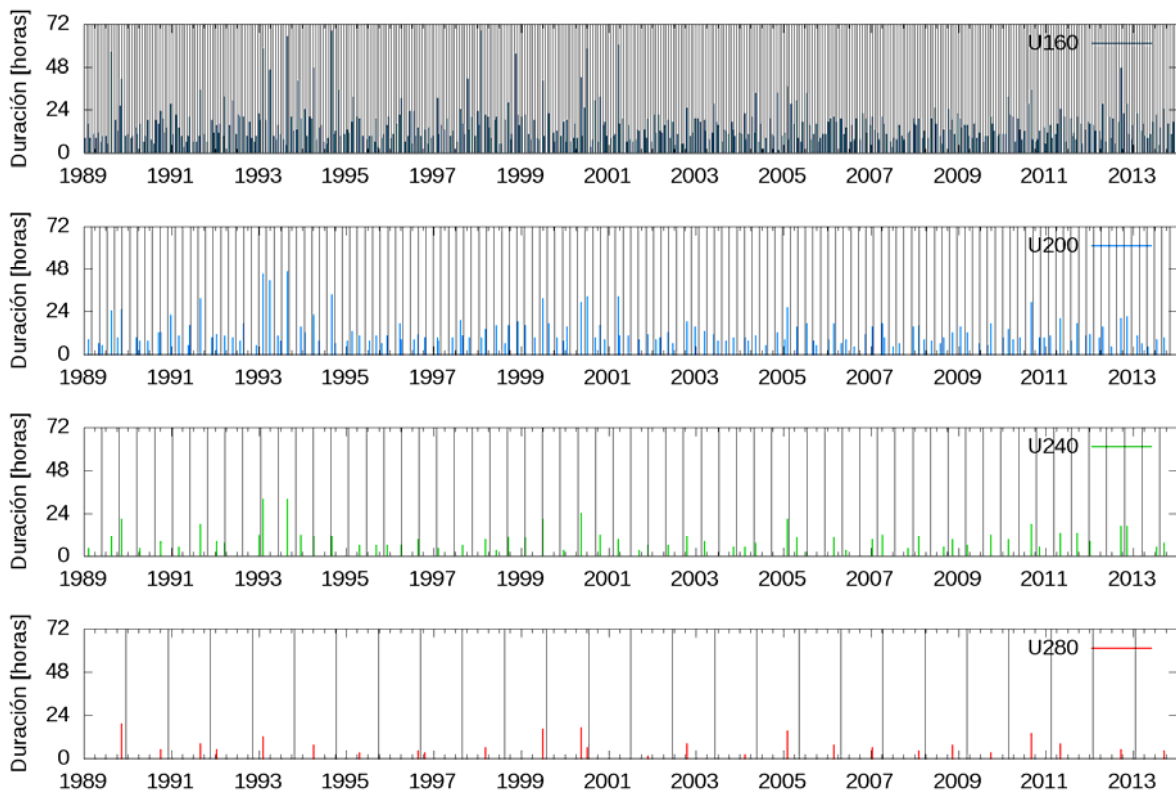
**Figura 5.10.** Bloque de 21 semanas en panel superior (nivel máximo asociado: 10 de noviembre de 2007, 2.57 m MOP) y de 20 semanas en panel inferior (duración cero; nivel máximo asociado: 25 de agosto de 2007, 2.21 m MOP).

Con los valores máximos de nivel por cada bloque definidos, se determinan las series de duraciones para cada umbral contando la cantidad de horas que el nivel supera dicho umbral, como se indica en la Figura 5.11.



**Figura 5.11.** Duración asociada al pico del 10 de noviembre de 2007: 4 horas.

Habiendo definido los bloques y valores máximos para cada umbral, se pueden obtener las series de duraciones repitiendo el proceso que ilustra la Figura 5.11 para cada máximo y umbral considerado. Las series resultantes se muestran en la Figura 5.12:



**Figura 5.12.** Series de duraciones de inundación máximas según bloques de Tabla 5.6.

Cabe destacar que algunas duraciones máximas presentes en la Figura 5.8 no aparecen en la Figura 5.12, porque no se toman las duraciones máximas por bloque, sino aquellas asociadas al pico máximo en el mismo.

Las cuatro series de duraciones (Figura 5.12) se ajustaron a la distribución de valores extremos generalizada (GEV) con parámetros ajustados con el método MLE. Los mismos se presentan en la Tabla 5.7. Se observa que a diferencia de los ajustes de las series de máximos niveles de inundación, los factores de forma toman valores significativos.

**Tabla 5.7.** Parámetros de duración de inundación (serie 1989-2013; GEV MLE).

Parámetros	U 160	U 200	U 240	U 280
Localización ( $\mu$ )	10.33	8.68	6.78	5.02
Escala ( $\sigma$ )	5.55	3.84	3.72	3.14
Forma ( $\gamma$ )	0.225	0.323	0.235	0.191

El tiempo de recurrencia en el que se evalúan las distribuciones por umbral debe ser corregido por el test de Langbein y a su vez expresado en términos de unidades de bloque (que varía con cada umbral). Para esto se necesita realizar la conversión *meses > horas > unidades de bloque*. Las recurrencias adoptadas son 2, 4, 6, 12 y 24 meses, por lo que las series fueron evaluadas en los períodos indicados en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Tiempos de recurrencia convertidas por el test de Langbein en unidades de bloque según Tabla 5.6 (serie 1989-2013; GEV MLE).

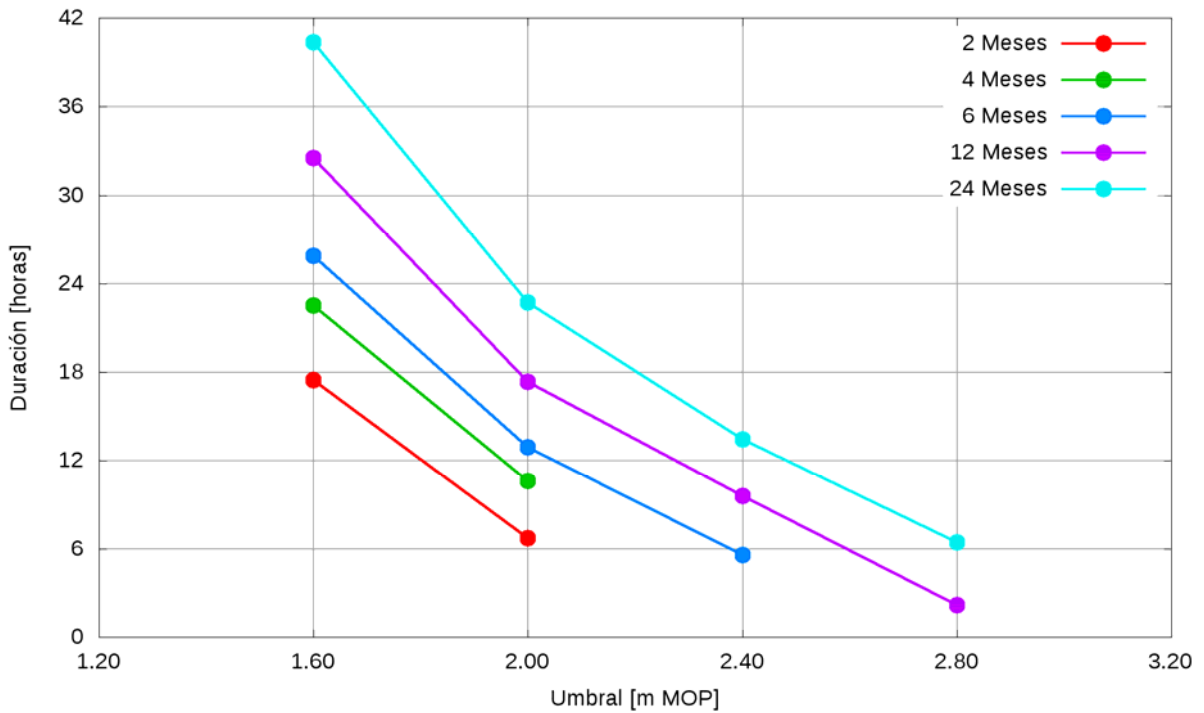
Tiempo de recurrencia deseado [meses]	Test de Langbein		U160 (bloque 3 semanas)	U200 (bloque 9 semanas)	U240 (bloque 21 semanas)	U280 (bloque 50 semanas)
			[unidades de bloque]			
	[meses]	[horas]				
2	2.54	1830	3.63	1.21	<b>0.52</b>	<b>0.22</b>
4	4.52	3255	6.46	2.15	<b>0.92</b>	<b>0.39</b>
6	6.51	4690	9.31	3.10	1.33	<b>0.56</b>
12	12.51	9005	17.87	5.96	2.55	1.07
24	24.50	17642	35.00	11.67	5.00	2.10

Las recurrencias en rojo no podrán ser evaluadas (el tamaño de bloque es mayor que la recurrencia a evaluar), pues el período de retorno debe ser mayor a la unidad. Las duraciones asociadas a las recurrencias obtenidas en la Tabla 5.8 se indican en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9.** Duraciones asociadas a las recurrencias obtenidas en la Tabla 5.8 (serie 1989-2013; GEV MLE).

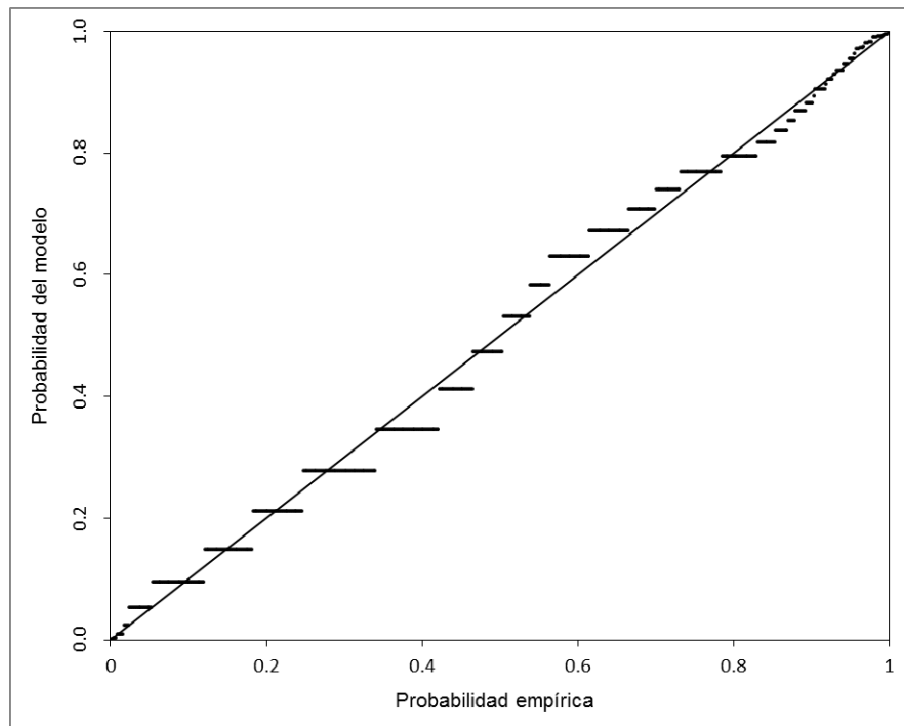
Tiempo de recurrencia [meses]	Duraciones [horas]			
	U 160	U 200	U 240	U 280
2	17.5	6.7	-	-
4	22.5	10.6	-	-
6	25.9	12.9	5.6	-
12	32.5	17.3	9.6	2.2
24	40.4	22.7	13.5	6.4

A continuación, se trazaron para cada umbral los valores de duración de inundación según distintos tiempos de recurrencia como se muestra en la Figura 5.13. Estas curvas obtenidas mediante interpolación lineal permiten obtener valores de duración de inundación para cotas topográficas intermedias a los umbrales adoptados y resultan la herramienta necesaria para construir mapas de duración de inundación asociados a una referencia estadística.

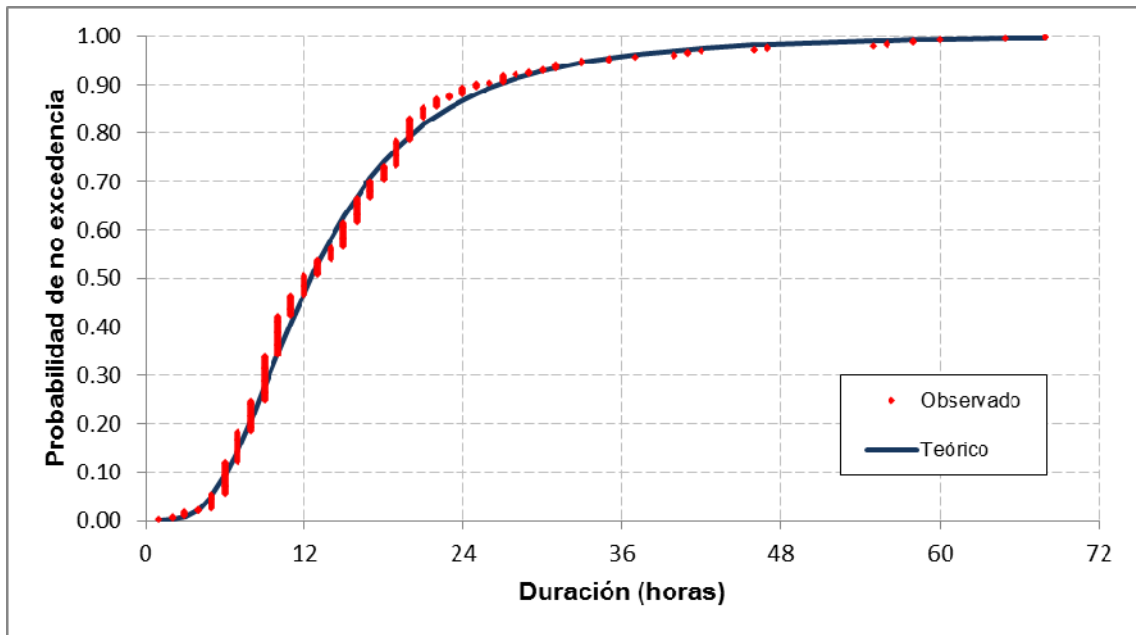


**Figura 5.13.** Relación entre duración de inundación y cota de umbral considerada para distintos periodos de recurrencia.

Las Figuras 5.14 y 5.15 muestran la comparación de probabilidades del ajuste (*PP-Plot*) y la probabilidad de no excedencia para duraciones de inundación respectivamente. El agrupamiento de los valores empíricos se debe a que los datos son horarios.

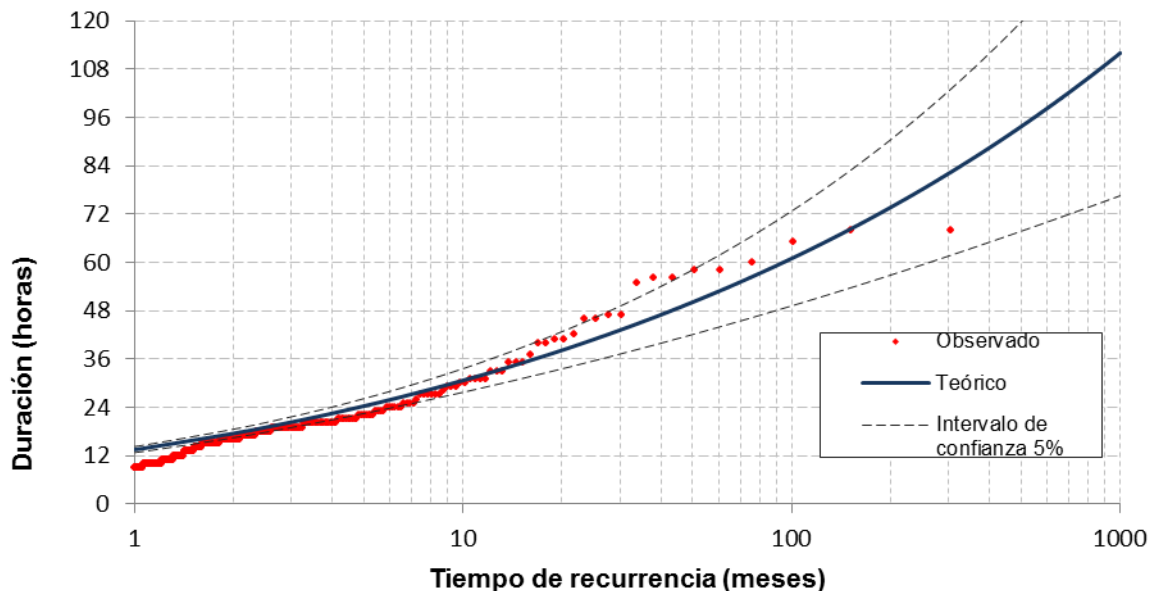


**Figura 5.14.** Gráfico de probabilidades para duraciones de inundación.



**Figura 5.15.** Probabilidad de no excedencia para duraciones de inundación.

La Figura 5.16 muestra las duraciones en términos de recurrencias. Se observa que la curva ajustada es cóncava para tiempos de recurrencia altos, a diferencia de lo que ocurre con los niveles de inundación. Esto se debe a que la serie ajustada corresponde a la distribución de tipo II (*Fréchet*), debido al valor que tomó en el ajuste el parámetro de forma ( $\gamma$ ).



**Figura 5.16.** Tiempo de recurrencia para duraciones de inundación.

En la Tabla 5.10 se resumen las duraciones de inundación y las recurrencias asociadas para los cuatro umbrales de nivel analizados.

**Tabla 5.10.** Duraciones de inundación en horas asociadas a recurrencias y umbrales de superación de nivel (serie 1989-2013; GEV MLE).

Tiempo de recurrencia [años]	U 160	U 200	U 240	U 280
0.25	19	8	-	-
0.33	21	10	-	-
0.5	25	13	5	-
1	32	17	9	2
2	40	23	13	6
5	53	32	19	11
10	64	41	24	14
20	78	52	30	18
50	99	71	40	24
100	118	90	49	29

#### 5.4 Ajuste de distribuciones de valores extremos multivariada

Una distribución bivariada es el modelo más común y sencillo para describir eventos hidrológicos complejos desde una perspectiva multivariada. Desde la década de 1990, la complementación del análisis estadístico univariado con el multivariado ha sido reflejada en la literatura de extremos (Coles, 2001). Al momento las aplicaciones de estadística de extremos multivariada han sido limitadas, básicamente por la complejidad de la teoría. Una de las dificultades básicas es como cuantificar la dependencia entre los valores extremos de las variables involucradas (Coles, 2001). Otra dificultad asociada consiste en la interpretación de los resultados.

En este trabajo, se adoptó una función de distribución bivariada que tiene en cuenta el nivel máximo (pico de la crecida) y la duración de la inundación, basada en el Modelo Logístico de Gumbel presentado en Yue (2001), para complementar el análisis estadístico de eventos extremos realizado con distribuciones univariadas.

Este modelo representa una distribución conjunta de dos variables, que se construye a partir de las distribuciones marginales de las variables altura máxima y duración de la inundación (X: nivel máximo del evento, variable aleatoria; Y: duración del evento, variable aleatoria).

El Modelo Logístico de Gumbel con distribuciones marginales standard fue originalmente propuesto por Gumbel (1960, 1961), de la siguiente manera:

$$F(x, y) = \exp\left\{-\left[(-\ln F(x))^m + (-\ln F(y))^m\right]^{1/m}\right\} \quad (m \geq 1) \quad (7)$$

que representa la probabilidad de que  $X \leq x$  e  $Y \leq y$ , siendo  $F(x)$  y  $F(y)$  las distribuciones marginales acumuladas de  $X$  e  $Y$  respectivamente. El parámetro  $m$ , que representa la

asociación entre las dos variables aleatorias  $X$  e  $Y$ , se estima de acuerdo a Gumbel y Mustafi (1967):

$$m = \frac{1}{\sqrt{1-\rho}} \quad (8)$$

donde  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 1$ ) es el coeficiente de correlación (cuanto más cercano a la unidad es  $\rho$ , más fuerte es la correlación entre las dos variables), que se define como:

$$\rho = \frac{E((X - \mu_x)(Y - \mu_y))}{\sigma_x \sigma_y} \quad (9)$$

siendo  $E(x,y)$  el valor esperado,  $\mu_x$  y  $\mu_y$  los valores medios y  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  los desvíos estándar de  $X$  e  $Y$ , respectivamente. Nótese que si  $\rho=0$  ( $m=1$ ), la distribución bivariada se compone por el producto de las dos distribuciones marginales. Esto representa el caso en que ambas variables son independientes.

La función de distribución de probabilidad conjunta permite obtener, a partir de una dada probabilidad de ocurrencia o un período de retorno de un evento, varias combinaciones de nivel máximo y duración de inundación. Debido a que existen infinitas combinaciones de nivel máximo y duración para una determinada recurrencia, se utilizan las distribuciones condicionales para limitarlas.

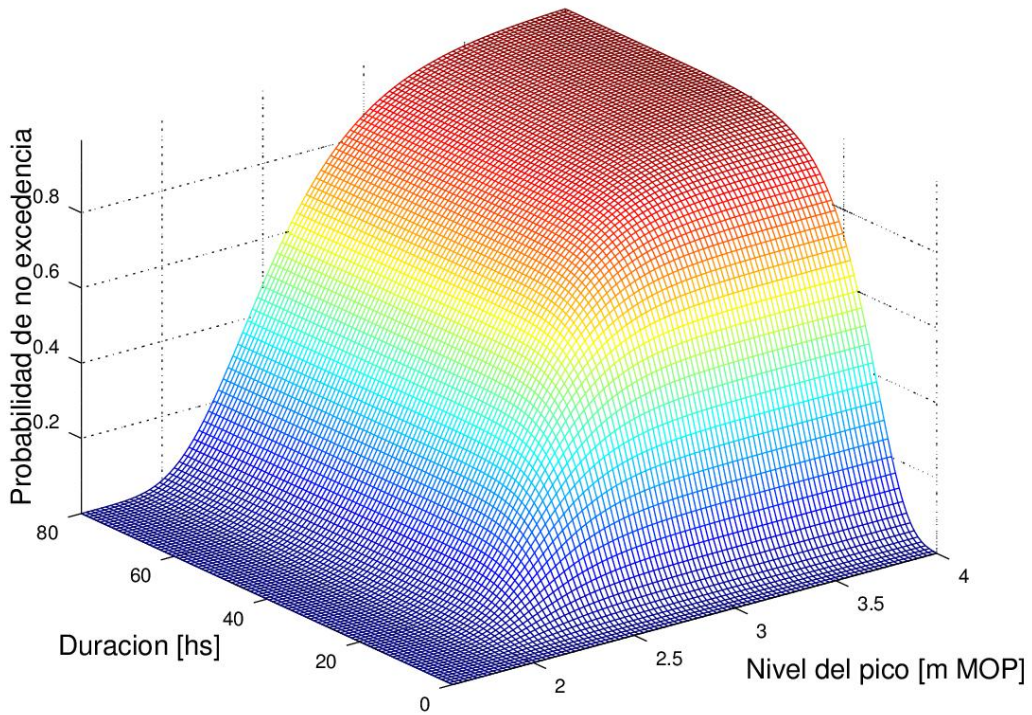
Para el ajuste a una distribución conjunta se utilizaron las series de niveles mensuales del período 1989-2013 y de duraciones asociadas al umbral de 1.60 m MOP. Los parámetros de la distribución bivariada de *Gumbel* para ambas variables se presenta en la Tabla 5.11. El coeficiente  $\rho$  de correlación entre ambas series resultó de 0.674.

**Tabla 5.11.** Parámetros de la distribución de *Gumbel* para niveles y alturas de inundación.

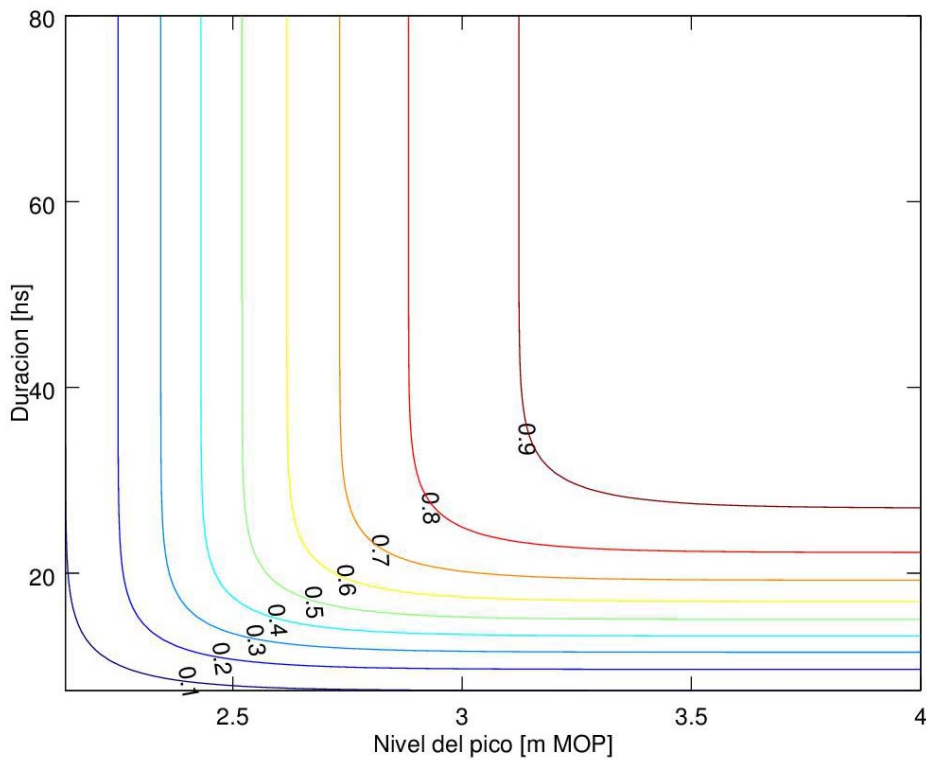
Parámetros	Duración [hs]	Niveles [m MOP]
Localización ( $\mu$ )	12.7	2.402
Escala ( $\sigma$ )	6.4	0.320

En las Figuras 5.17 y 5.18 se presentan la distribución de probabilidad conjunta de nivel máximo y duración de la inundación, mientras que en las Figuras 5.19 y 5.20 se presentan los períodos de retorno asociados a esa distribución.

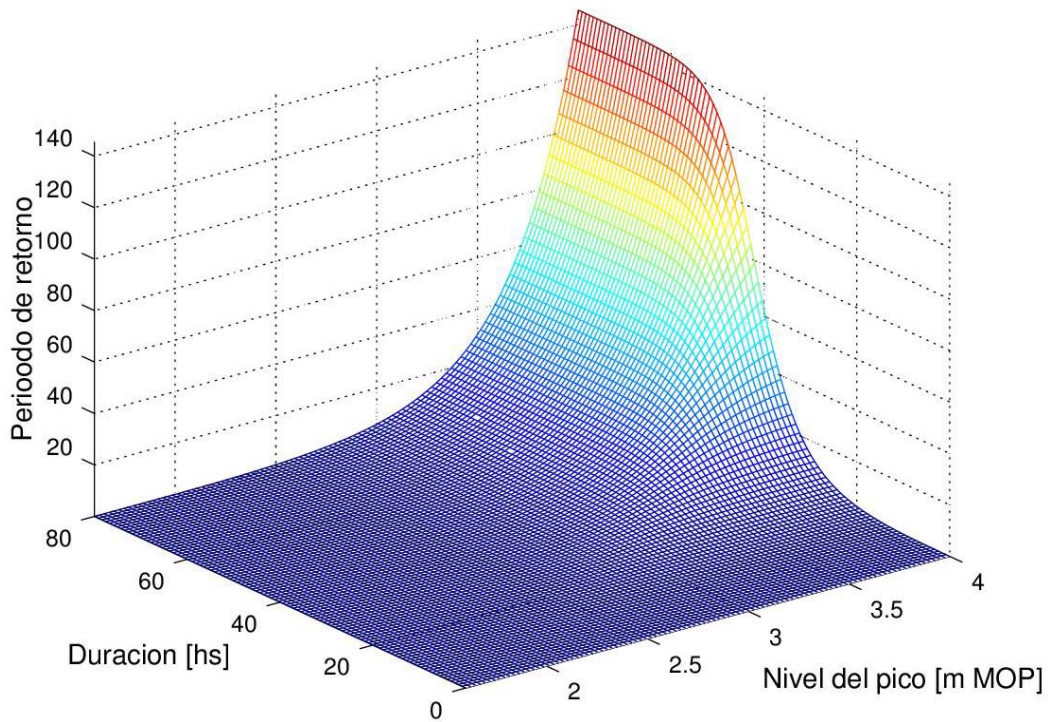
Estos resultados muestran las infinitas combinaciones de nivel máximo y duración de inundación que existen para una determinada recurrencia. Una forma de acotar esta posibilidad, de manera conservadora, se basa en la utilización de las distribuciones marginales para elaborar información estadística acerca de la altura y duración de inundación para los diferentes periodos de retorno.



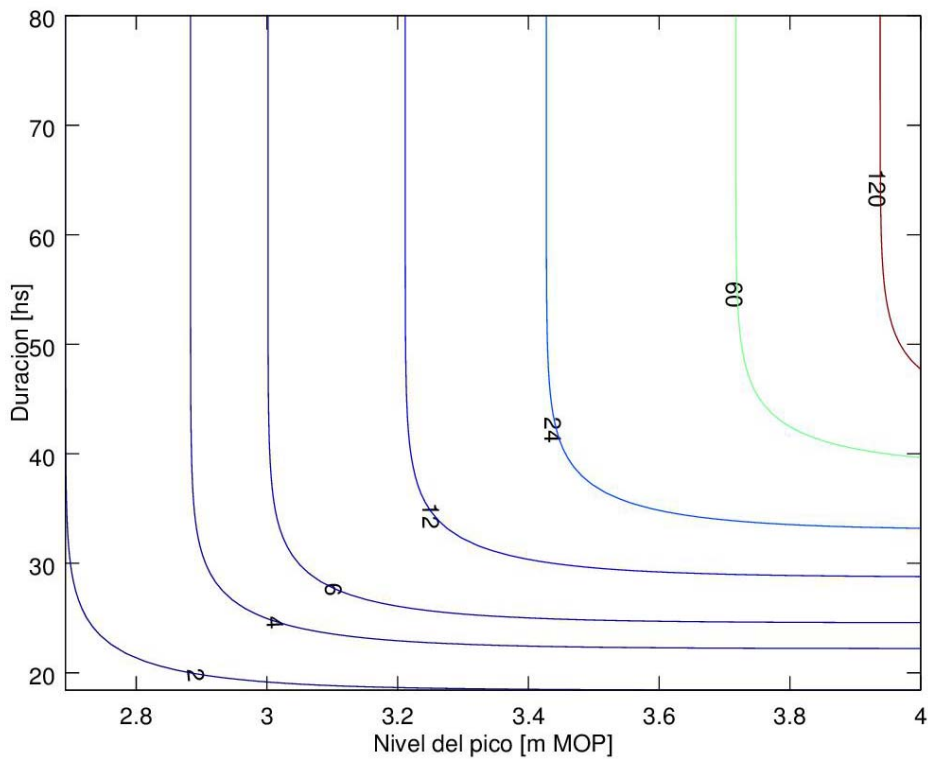
**Figura 5.17.** Distribución de probabilidad conjunta de duración por sobre el umbral 1.60m MOP y nivel de inundación.



**Figura 5.18** Distribución de probabilidad conjunta de duración por sobre el umbral 1.60 m MOP y nivel de inundación. Curvas de nivel.



**Figura 5.19.** Período de recurrencia conjunto (en meses) de duración por sobre el umbral 1.60m MOP y nivel de inundación.



**Figura 5.20.** Período de recurrencia conjunto (en meses) de duración por sobre el umbral 1.60 m MOP y nivel de inundación. Curvas de nivel.

## 6 MAPAS DE ALTURA Y DURACIÓN DE INUNDACIÓN

### 6.1 Características de los mapas

Los mapas de altura y duración de inundación se construyeron en base a la recurrencia de eventos extremos. Las recurrencias analizadas son intra e interanuales, dada la necesidad futura de vincular estos mapas con un sistema de alerta de eventos extremos.

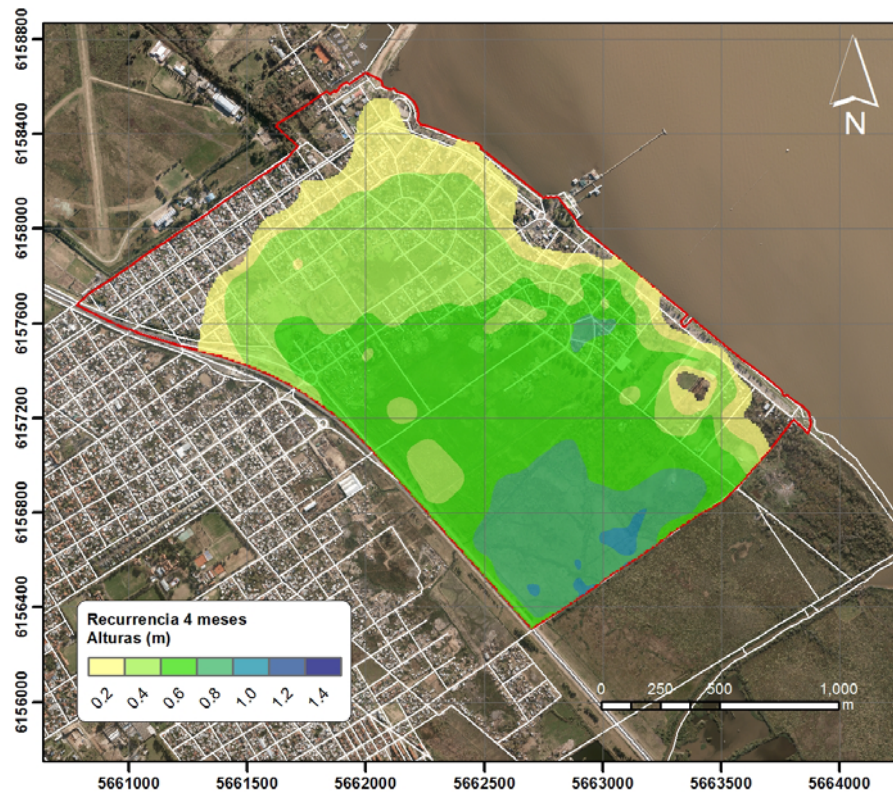
Los mapas se elaboraron en base al marco de referencia POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas 1994, basado en el Sistema de Referencia Geocéntrico WGS 84). Los datos de niveles de agua se refieren al cero MOP, como es usual, pero los mapas de riesgo de inundación se referencian al cero del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que se encuentra a 0.556 m por encima del anterior. Para la visualización e interpretación de los mapas se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) que contiene toda la información. Los datos de niveles del Río de la Plata corresponden a la serie observada del SHN en Buenos Aires, correspondiente al período 1989-2013, distante aproximadamente 25 km del sitio de estudio.

Para los eventos extremos se producen dos tipos de mapas: los que se relacionan con las alturas máximas de inundación y los que se vinculan con las duraciones máximas de inundación. Estos mapas se construyen para las recurrencias de 0.33, 0.50, 1 y 2 años debido a que son los períodos de retorno necesarios de ser estudiados respecto de la implementación de un sistema de alerta de eventos extremos dada su mayor frecuencia de ocurrencia.

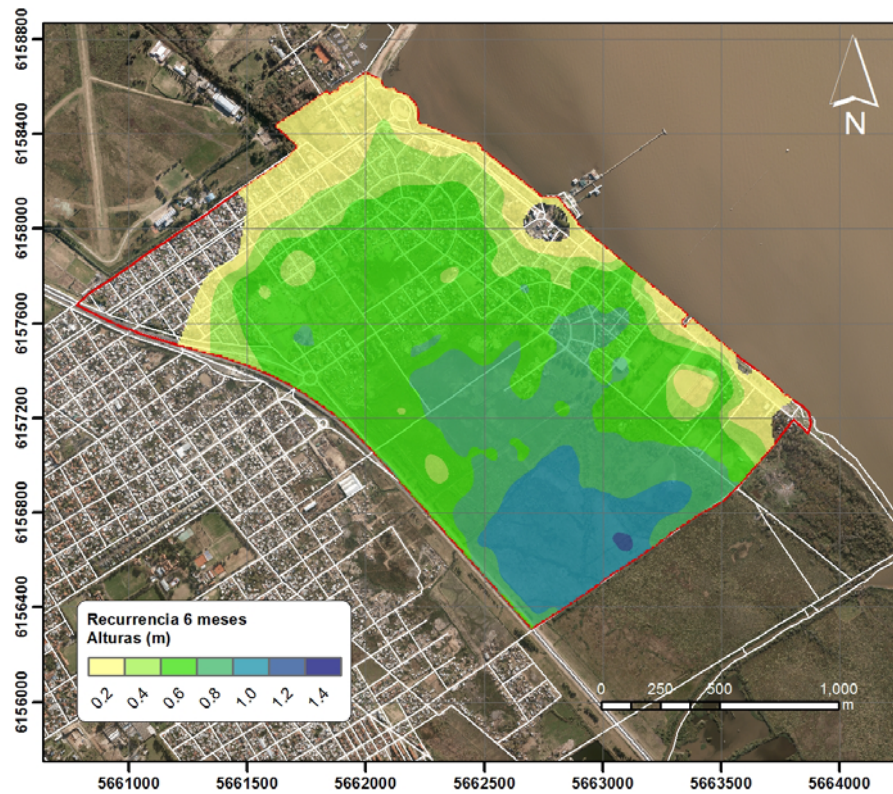
Dada la complejidad en la comprensión de los mismos y objetivos del trabajo (aportes para un sistema de alerta temprana en el marco de la gestión de riesgos en la Ribera de Quilmes), se decidió no incluir mapas que contemplen la estadística de extremos desde la aproximación multivariada.

### 6.2 Mapas de altura de inundación

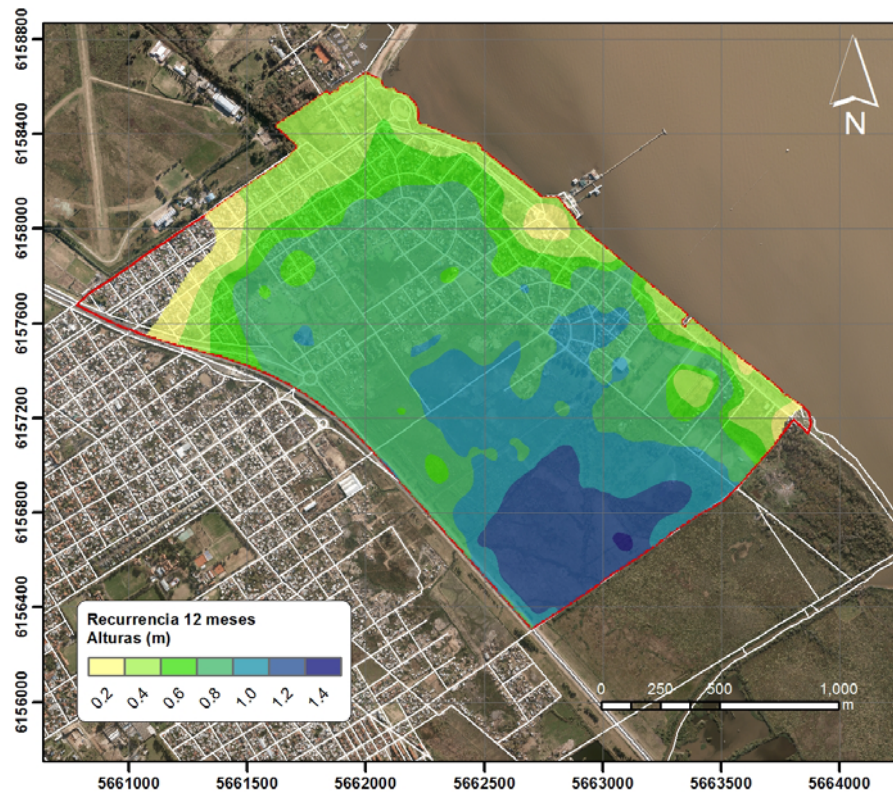
Los mapas de altura de inundación se construyeron cruzando los niveles topográficos con los niveles del Río de la Plata para cada una de las recurrencias elegidas. El mapa resultante para cada caso muestra las profundidades de inundación en la zona de estudio. En la Figura 6.1 se presentan los mapas de altura de inundación obtenidos para las cuatro recurrencias elegidas.



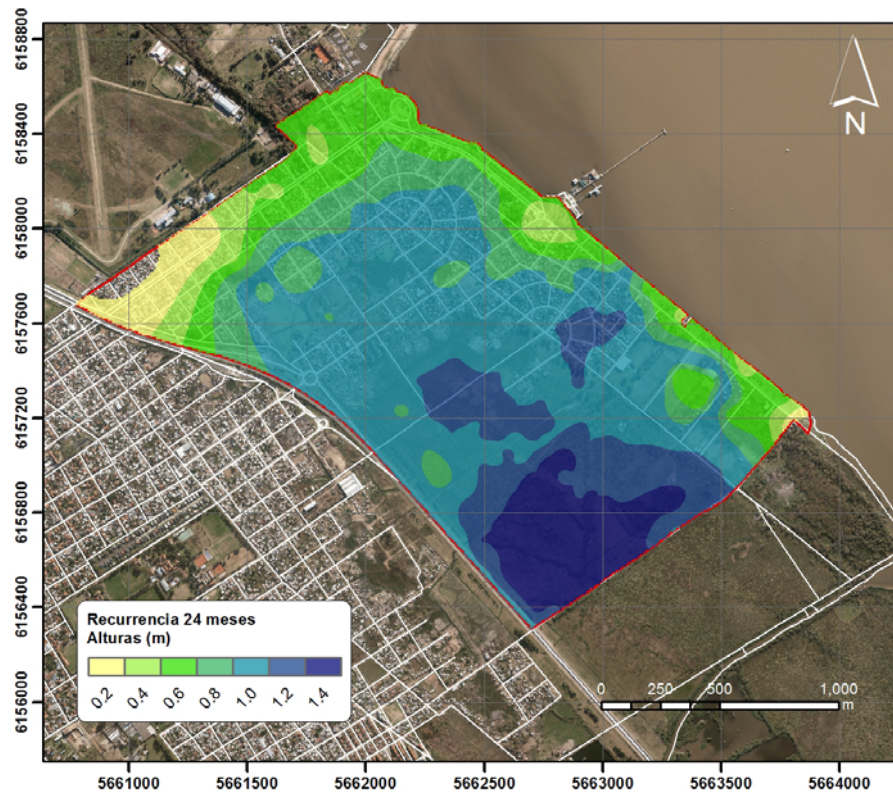
*a) Tiempo de Recurrencia: 4 Meses*



*b) Tiempo de Recurrencia: 6 Meses*



*c) Tiempo de Recurrencia: 12 Meses (1 Año)*



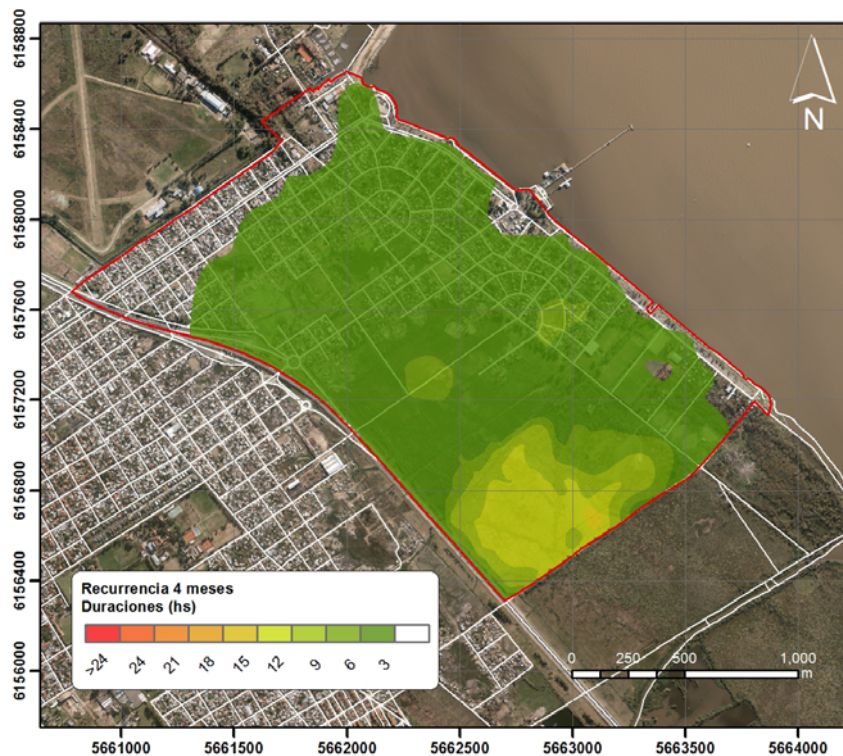
*d) Tiempo de Recurrencia: 24 Meses (2 Años)*

**Figura 6.1.** Mapas de altura de inundación. Eventos extremos.

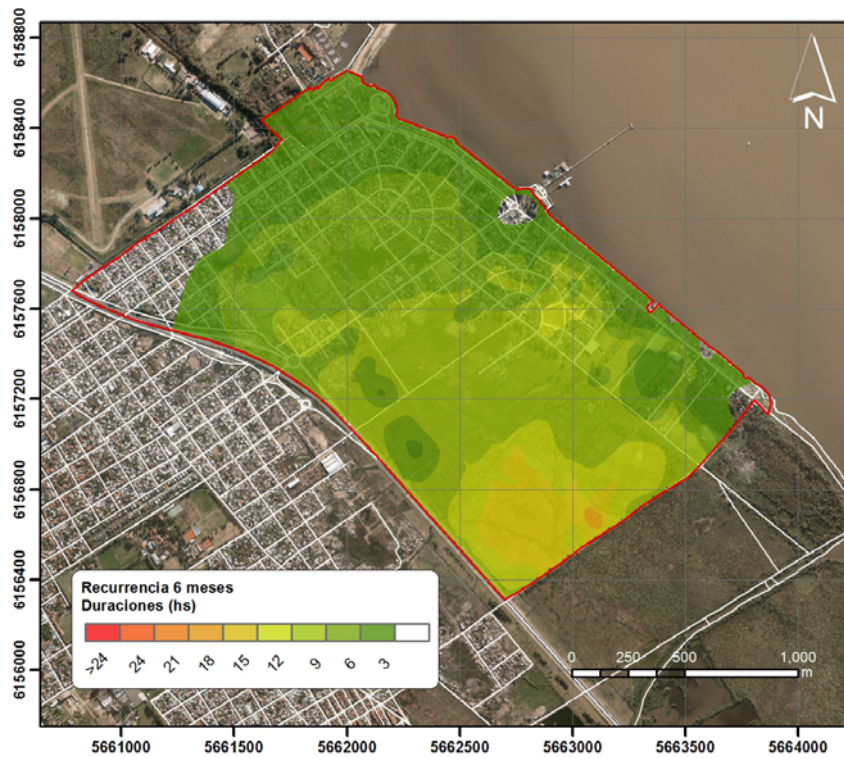
Además de la zona del bañado (lindero a la calle Echevarría y prácticamente sin población), la zona crítica se concentra en torno al bajo de la calle Primera Junta (Figuras 2.38 y 2.39). En esta zona, para períodos de retorno menores a dos años, son esperables alturas de inundación que se encuentran en un rango de 0.80 - 1.20 m.

### 6.3 Mapas de duración de inundación

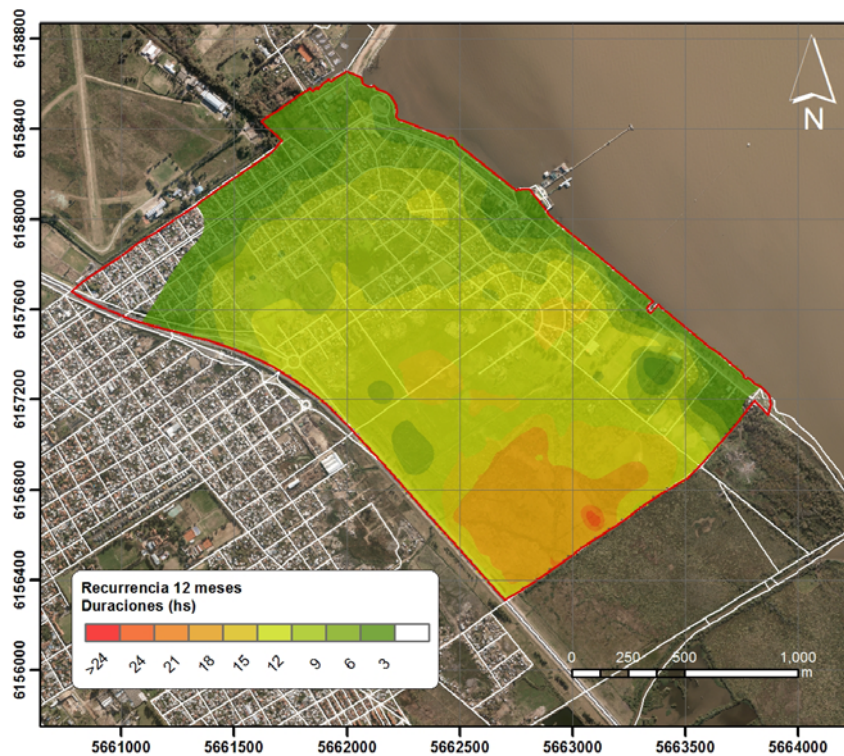
En la Figura 6.2 se muestran los mapas de duración de inundación para cada una de las recurrencias analizadas. Se observa en cada uno de ellos la distribución de duraciones en la zona de estudio obtenida de acuerdo a la metodología planteada en el Capítulo 5.



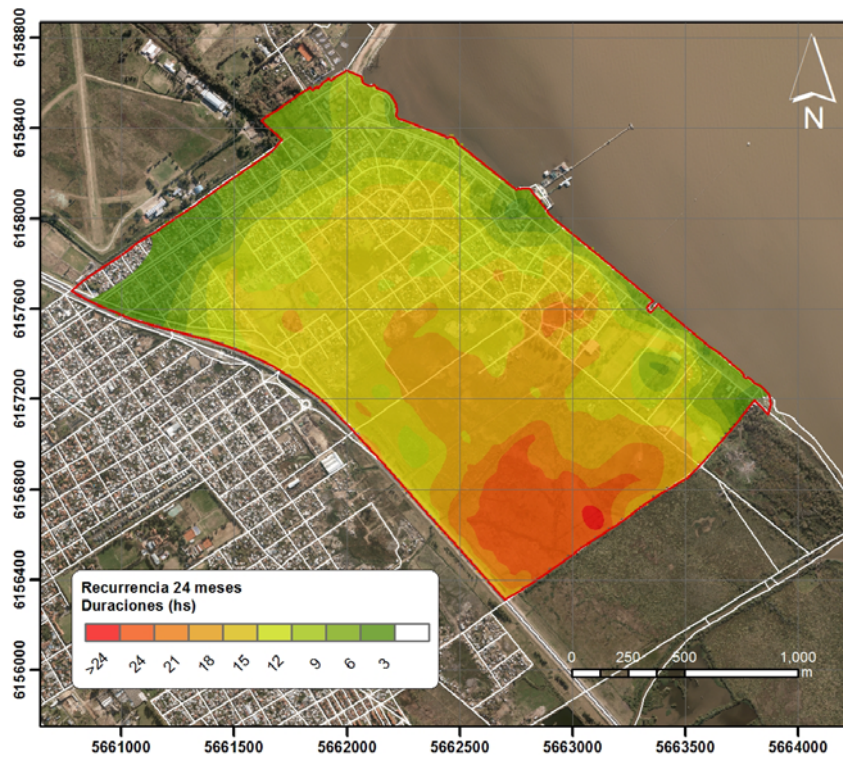
a) Tiempo de Recurrencia: 4 Meses



*b) Tiempo de Recurrencia: 6 Meses*



*c) Tiempo de Recurrencia: 12 Meses (1 Año)*



d) Tiempo de Recurrencia: 24 Meses (2 Años)

**Figura 6.2.** Mapas de duración de inundación. Eventos extremos.

Al igual que en el caso de las alturas de inundación, la zona del Barrio La Ribera que muestra mayores duraciones de inundación es la del bañado. En cuanto al área poblada, las mayores duraciones se observan en torno al área delimitada por las Avenidas Cervantes, Yoldi e Iriarte, y el Arroyo Colorado. Específicamente en la zona del bajo de la calle Primera Junta resultan esperables duraciones de inundación en el rango de 6 a 24 horas para períodos de retorno de hasta dos años.

## 7 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de un sistema de alerta a ser aplicado en La Ribera de Quilmes, es indispensable analizar las características de aquellos eventos que con mayor frecuencia implican un impacto sobre la costa. Un sistema de evacuación eficiente, además de estar preparado para los eventos más extremos (mayor recurrencia), también debe planificarse para este tipo de amenazas. Esto justifica el análisis de las recurrencias de 4 y 6 meses (intra-anales) y 1 y 2 años (inter-anales) presentado en este trabajo.

Los productos obtenidos de este trabajo son los siguientes: i) se desarrolló una metodología GIS para mejorar modelos digitales del terreno basados en información proveniente de imágenes satelitales, ii) se realizó la estadística de frecuencia de ocurrencia y de extremos de niveles y duraciones de inundación, y iii) se generaron mapas de niveles y duración de inundación.

La metodología implementada para mejorar la precisión del MDT basada en la incorporación de puntos obtenidos de máscaras de agua permitió asegurar una adecuada representación de las zonas bajas de la región de análisis.

De las 70 Sudestadas que dentro del período 1989-2013 superaron el nivel máximo de 2.80 *m MOP*, se detectó que la de mayo de 2000 presenta la peor combinación de onda de tormenta desde el Río de la Plata y precipitaciones en la costa. El impacto de este evento se pudo constatar con imágenes satelitales.

Los valores de altura de inundación calculados para las recurrencias intra-anales (4 y 6 meses) se ubican en el rango 0.4-1.2 *m* y las interanuales (1 y 2 años) en 0.8-1.4 *m*. En cuanto a la variable duración de inundación, para las recurrencias intra-anales se dan duraciones en el rango de 6-12 *hs*, en cambio para las interanuales 12-24 *hs*.

Se pudo observar que para el nivel del Río de la Plata de 3 *m MOP*, aproximadamente aquel de superación de la defensa costera de La Ribera de Quilmes, la recurrencia es intra-anual (aproximadamente 0.5 años) por lo que podrían esperarse en promedio dos eventos de esa característica por año.

La zona del Barrio La Ribera que muestra mayores alturas y duraciones de inundación corresponde la zona del bañado en torno a la calle Echeverría y la Autopista Buenos Aires – La Plata, pero esta porción presenta escasa población. En cuanto al área poblada, las mayores alturas y duraciones de inundación se presentan alrededor del área delimitada por las Avenidas Cervantes, Yoldi e Iriarte, y el Arroyo Colorado; específicamente en la zona del bajo de la calle Primera Junta en donde resultan esperables alturas de inundación de 0.80 a 1.20 *m* y duraciones de 6 a 24 horas para períodos de retorno de hasta dos años.

## REFERENCIAS

- Adamson, P.T., Metcalfe A.V., Parmentier B., 1999. Bivariate extreme value distributions: an application of the Gibbs sampler to the analysis of floods, *Water Resour. Res.*, 35, pp. 2825-2832.
- Barros, V.R., Menéndez, A.N., Natenzon, C., Kokot, R., Codignotto, J., Re, M., Bronstein, P., Camilloni, I., Ludueña, S., Ríos, D., González, S., 2008. Storm Surges, Rising Seas and Flow Risks in Metropolitan Buenos Aires, in *Climate Change and Vulnerability*, Leary et al. Editors, Earthscan.
- Chebana, F., Ouarda, T.B.M.J., 2011. Multivariate quantiles in hydrological frequency analysis, *Environmetrics*, 22 (1), pp. 63-78.
- Coles, S., Heffernan, J., Tawn, J., 1999. Dependence measures for extreme value analyses, *Extremes*, 2, pp. 339-65.
- Coles, S., 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*, London, Springer.
- De Michele, C., Salvadori, G., Passoni, G., Vezzoli, R., 2007. A multivariate model of sea storms using copulas, *Coastal Engineering*, 54, pp. 734-751.
- D'Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E, Romero, S.I, 1999. Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental Shelf Research*, 19, pp. 1681-1693.
- Escalante-Sandoval, C., 2007. Application of bivariate extreme value distribution to flood frequency analysis: a case study of Northwestern Mexico, *Nat. Hazards.*, 42, pp. 37-46.
- Escobar, G., Vargas, W., Bischoff, S., 2004. Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions. *Int. J. Climatol.* 24, pp. 1159–1169
- Fiore M.M.E, D'Onofrio, E.E., Di Biase, F.A.V., Stadelmann M.A., 2001. Statistical analysis of storm surges in Buenos Aires. Paper presented at 2001 Joint Assemblies of the International Association for the Physical Sciences of the Oceans and International Association for Biological Oceanography. Mar del Plata, Argentina.
- Gumbel, E.J., 1960. Distributions del valeurs extremes en plusieurs dimensions. *Publications de L'Institute de Statistique, Paris*, 9, 171-173.
- Gumbel, E.J., 1961. Bivariate logistic distributions. *J Am Stat Assoc*, 56, 335-349.
- Jacks, E., Davidson, J., Wai, H.G., Dupuy, Ch., Tutis, V., Scharfenberg, K., 2010. Directrices sobre sistemas de alerta temprana y aplicación de predicción inmediata y operaciones de aviso, SMP-21 - WMO/TD 1559, Organización Meteorológica Mundial, Suiza.

- Katz, R.W., Brush, G.S., Parlange, M.B., 2005, Statistics of extremes: modeling ecological disturbances, *Ecology*, 86(5), pp. 1124–1134.
- Langbein, W.B., 1949. Annual floods and the partial-duration flood series. *Trans. Am. Geophys. Union*, 30(6): 879–881.
- Lecertua, E.A., 2010. Análisis de riesgo de duración de inundaciones en las áreas costeras del Río de la Plata considerando el Cambio Climático, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Lecertua, E.A., Re, M., Menéndez, A.N., 2012. Mapas de riesgo de duración de inundaciones en la Región Metropolitana de Buenos Aires, XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica.
- Lecertua, E.A., Menéndez, A.N., 2013. Metodología para la construcción de mapas de riesgo de inundación en zonas costeras, *Medio Ambiente y Urbanización, Vulnerabilidad y resiliencia al Cambio Climático*, IIED - AL, N° 78, abril.
- May W (2004) Variability and extremes of daily rainfall during the Indian Summer Monsoon in the period 1901–1989. *Glob Planet Change* 44:83–105
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, No. 7, pp. 1425-1432.
- Re, M., Menéndez, A. N., Ludueña S.G., 2004. Mapas de Riesgo de Inundaciones para una Zona Costera considerando el Cambio Climático, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Octubre, Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil.
- Re, M., 2005. Impacto del Cambio Climático Global en las costas del Río de la Plata. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Re, M., Barros, V.R., 2009. Extreme rainfalls in SE South America. *Climatic Change*, 96, pp. 119-136.
- Salvadori, G., De Michele, C., Durante, F., 2011. On the return period and design in a multivariate framework, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, pp. 3293-3305.
- Shiau, J.T., 2003. Return period of bivariate distributed extreme hydrological events, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 17, 42-57.
- Vázquez, F., Martí, V., 2013. Informe preliminar acerca de un sitio arqueológico prehispánico en la costa rioplatense del partido de Quilmes. *Zaranda ideas*, 9 (2), pp.155-163.
- Xu, H.Q., 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 14, pp. 3025-3033.
- Yue, S., Ouarda, T.B.M.J., Bobeé, B., 2001. A review of bivariate gamma distributions for hydrological application, *Journal of Hydrology*, 246, pp. 1-18.
- Yue, S., 2001. The Gumbel logistic model for representing a multivariate storm event, *Advances in Water Resources*, 24, pp. 179-185.