

Incidencia de aspectos naturales y antrópicos en los anegamientos de la ciudad de Buenos Aires

Paulina E. NABEL^{1, 2}, Magdalena CARETTI² & Rodrigo BECERRA SERIAL²

¹ CONICET. ² CIGA.-Centro de Investigaciones Geoambientales, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" Av. Ángel Gallardo 470, C1405DJR Buenos Aires, Argentina

Abstract: Incidence of Natural and Anthropic Aspects in the Floods of Buenos Aires City. Floods in Buenos Aires city are the region's most severe environmental problem. They cause economic losses and a strong impact on the population's daily life. Historical flood city's data is essential for the development of hydrologic models and for structural and non structural environmental decisions. This paper presents a detailed register of flood events occurred in Buenos Aires city between 1980 and 2005. During this period, 148 events took place, from which 29 were extreme flood events. From the total events a 61.5% was caused by rainfall and a 38.5% by "sudestadas" (strong southeastern winds). Results show that geomorphology and flood frequency records are related: neighborhoods placed over the Estuarine Plain and Flood Plain show the highest values, whereas those placed over the Interfluves and Laterals show the lowest flood frequency values. Information gathered shows that anthropic aspects, as the presence of 'Villas' and green spaces, cause biased results related to the sources that register flood events. The need of developing hydraulic models, which should consider the "sudestada" phenomenon, and the importance of regular controls carried on by appropriated organisms which register accurate information, are pointed.

Key words: Urban floods, historical data, Buenos Aires city, catastrophic events, geofoms.

Resumen: Los anegamientos en la ciudad de Buenos Aires constituyen el problema ambiental más severo de la región, provocando numerosos perjuicios económicos y un fuerte impacto en la población. La recuperación y análisis de los registros históricos de inundaciones ocurridas en la ciudad resultan imprescindibles para diseñar modelos hidrológicos y para desarrollar medidas de prevención estructurales y no estructurales. En este trabajo se presenta un registro de los eventos de inundación ocurridos en la ciudad de Buenos Aires en el periodo 1980-2005. En este periodo se produjeron 148 eventos de inundación, de los cuales 29 fueron eventos extremos. Del total de eventos, un 61.5% fueron producidos por precipitaciones y un 38.5% por sudestadas. Los resultados muestran que existe una relación entre las geoformas y los registros de frecuencia de inundación: Los barrios situados sobre las planicies Estuárica y de Inundación registran los valores más altos mientras que los ubicados en el Interfluvio y Laterales de Valle presentan los valores más bajos. La información recopilada muestra que aspectos antrópicos como la presencia de villas y espacios verdes producen sesgos vinculados a las fuentes que registran los datos. Finalmente se señala la necesidad de desarrollar modelos hidráulicos que contemplen el fenómeno de las sudestadas y la importancia de realizar monitoreos sistemáticos que coordinados por los distintos organismos competentes registren información precisa.

Palabras clave: Inundaciones urbanas, información histórica, ciudad de Buenos Aires, eventos catastróficos, geofomas.

INTRODUCCIÓN

Los anegamientos en la ciudad de Buenos Aires constituyen el problema ambiental de origen natural más severo de la región. Los daños que ocasionan, tanto en la infraestructura de servicios y vías de comunicación como en las actividades económicas, producen un fuerte impacto en la población.

En los eventos catastróficos de inundación interactúan fenómenos meteorológicos conjuntamente con las características geomorfológicas e hidrológicas, así como con diferentes aspectos de

la urbanización. Si bien el tratamiento de la problemática requiere de una perspectiva multidisciplinaria, es necesario identificar y conocer el comportamiento de cada una de las variables para realizar un estudio integrado donde participen cada una de ellas.

La gestión del agua vinculada a estos eventos catastróficos, tradicionalmente ha sido encarada con soluciones de tipo estructural, en las que se ha aplicado un enfoque sanitarista clásico, manifestado en las distintas obras ingenieriles de canalización y entubamiento de arroyos, pavimentación de superficies, etc. que se observan en la

ciudad. Estas obras, sin embargo, se llevaron a cabo a medida que se iba expandiendo la mancha urbana y consideraron sólo aspectos parciales del problema.

La situación actual de vulnerabilidad frente a las inundaciones pone de manifiesto la necesidad de encarar estudios de detalle, que analicen la interacción de los aspectos naturales y antrópicos que intervienen en el fenómeno. Esa información es indispensable tanto para el diseño de obras de infraestructura, como así también para la implementación de medidas no estructurales y políticas de prevención, que debieran elaborarse en forma conjunta con los distintos actores de la sociedad involucrados (organismos estatales, gobiernos locales y población) (Parikh *et al.*, 2005; Bruma *et al.*, 2005; Correia *et al.*, 1998).

Particularmente, las características geomorfológicas no han sido consideradas en los consecutivos planes de ordenamiento territorial de la ciudad, como un factor de riesgo frente a las inundaciones. Ello se manifiesta, entre otros aspectos, en los códigos de planeamiento donde no han habido restricciones en la ocupación del suelo, permitiendo el asentamiento de barrios y complejos edilicios en zonas anegables (cercanas al curso del Riachuelo) y que hoy admiten la construcción de infraestructuras subterráneas (sótanos, estacionamientos, etc.) en zonas lindantes a arroyos entubados (Bertoni *et al.*, 2004). Esta situación ha motivado en los últimos años el desarrollo de numerosos estudios que analizan el problema con diferentes enfoques. Tanto los trabajos orientados desde la meteorología (Camilloni, 2005; Barros *et al.*, 2000; Castañeda y Barros, 1994) como los que se centran en aspectos técnico-hidráulicos (SUPCEBA, 2002) aportan valiosa información para el desarrollo de medidas estructurales. En este último caso particularmente, como en el resto de los estudios que se basan en el desarrollo de modelos hidráulicos, se hace necesaria la incorporación de datos históricos para que el análisis del comportamiento de las cuencas hídricas, sea adecuadamente contrastado con la realidad (McMillan & Brasington, 2007; Calenda *et al.*, 2005; Connell *et al.*, 2001; Connell *et al.*, 1998).

Hemos hallado que en la ciudad de Buenos Aires existe una falencia en el monitoreo de eventos de inundación pasados, lo que nos motivó a iniciar un primer análisis de los casos registrados en el período 1993-2003 y de las causas naturales que los originaron. Los resultados de ese estudio (Nabel & Caretti, 2004) generaron nuevos interrogantes, principalmente referidos a la posibilidad de una influencia del fenómeno "El Niño", entre otros. Es por ello que se consideró necesario ampliar el período de investigación a fin de

contar con un registro más extenso, y que, además, incluyera al menos un segundo evento "El Niño".

El presente trabajo propone analizar las características de los anegamientos en el período 1980-2005 e identificar aquellos eventos de carácter catastrófico, estudiar la relación existente entre la geomorfología y la frecuencia con que determinadas áreas de la ciudad se vieron afectadas y, finalmente, la influencia de los eventos "El Niño" de 1982-1983 y de 1997-1998. Consideramos que esta información es necesaria para la calibración y validación de los modelos hidrodinámicos en desarrollo, así como para la adopción de medidas estructurales y no estructurales que brinden soluciones a las inundaciones en la región.

La ciudad de Buenos Aires se asienta en una planicie con muy baja pendiente regional perteneciente a la comarca de la pampa ondulada (Nabel & Pereyra, 2000). Esta baja pendiente, de entre 10^{-3} y 10^{-4} (que equivale a cambios entre 1 m a 10 cm por km), representa una superficie subhorizontal de significativa importancia para la comprensión del diseño y funcionamiento de la red hidrográfica existente, como así también del comportamiento de los excedentes hídricos cuando se producen eventos de precipitación y/o aumentos del nivel del río de la Plata, por efecto de vientos intensos del cuadrante SE. Particularmente sobre el área urbanizada, estos eventos presentan un comportamiento característico debido a la impermeabilización producida por las construcciones y el asfalto que tapizan las formas del paisaje y por las diferentes obras realizadas a lo largo de la historia de la ciudad, que modificaron el patrón natural de escurrimiento superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se focalizó en los eventos de inundación ocurridos en la ciudad de Buenos Aires durante el período 1980-2005, causados por fenómenos meteorológicos. En primer lugar se llevó a cabo un relevamiento de diferentes organismos del estado y fuentes hemerográficas de amplia difusión que pudieran proveer información sobre la ocurrencia de dichos eventos. Una vez identificadas las fuentes, se recopilaron datos sobre las fechas de inicio, zonas afectadas, daños ocasionados, datos meteorológicos y otros aspectos descriptos. Las fuentes consultadas fueron: Defensa Civil de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (DC), la Secretaría de Obras Públicas y el Departamento de Hidráulica de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la Subunidad Provincial de Coordinación para la Emergencia de Buenos Aires (SUPCEBA), AySA, el Centro de Estudios

Sociales y Ambientales (CESAM) y los diarios “La Nación”, “Clarín”, “Página/12”, “La Prensa”, “Crónica” y “Diario Popular”. Los datos fueron analizados con una metodología de muestreo similar a la del trabajo “Anegamientos en la Ciudad de Buenos Aires” (Nabel & Caretti, 2004).

A partir del registro de la fecha de inicio de los eventos se recolectaron los datos hidrometeorológicos en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN). En el SMN se obtuvieron datos anuales, mensuales y diarios de precipitaciones del “Observatorio Central de Buenos Aires” y dirección y velocidad de vientos máximos diarios, de la estación meteorológica “Aeroparque Jorge Newbery” los cuáles, debido a su proximidad con el río de la Plata, son los más expresivos y apropiados para el análisis de eventos causados por sudestadas. Los datos concernientes a las pleamares máximas diarias y mensuales del río de la Plata fueron brindados por el SHN.

El conjunto de datos permitió calcular el total de milímetros de lluvia caída y la pleamar máxima alcanzada en cada anegamiento. En el caso de la primera variable, se contempló un margen de error de 24 horas entre la fecha de publicación del evento y el registro meteorológico, por lo que el valor total corresponde a la suma de lo registrado desde un día antes hasta un día después de la fecha de inicio. En el caso de las pleamares, se seleccionó el valor más alto registrado en dicho intervalo. Posteriormente, se estableció el fenómeno desencadenante de los anegamientos, adoptando como referencia el criterio utilizado por Nabel & Caretti (2004) para definir eventos de sudeste y precipitaciones asociadas. Una vez caracterizados los eventos, se procedió al análisis y tratamiento de los restantes datos descriptivos para determinar las zonas afectadas en cada uno de ellos. Dado que las referencias a lugares anegados presentaron una alta heterogeneidad y diferentes grados de precisión (fueron mencionadas calles, barrios, puentes de acceso, estaciones de ferrocarril y edificios públicos, entre otros), el primer paso para organizar la información consistió en elegir una unidad geográfica para homogeneizar las referencias. Dado que la mayoría de la información disponible fue expresada en “barrios afectados”, la unidad elegida fue el “barrio”.

A partir de la estandarización de las referencias a zonas anegadas se pudieron obtener valores de frecuencia de inundación para cada uno de los barrios. El método de agrupamiento o *clusters K-means* (MacQueen, 1967) fue utilizado para agrupar dichos valores en categorías que resulten más expresivas para su posterior análisis e interpretación en un mapa. Por otro lado, crite-

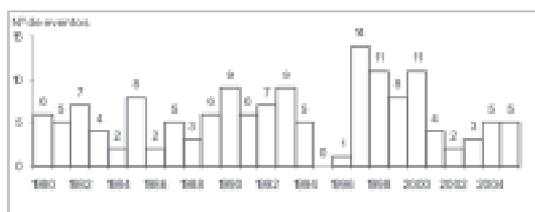


Fig. 1. Eventos registrados entre 1980 y 2005.

rios de clasificación de información histórica basados en trabajos anteriores (Llasat *et al.*, 2005; Calenda *et al.*, 2005) fueron aplicados, junto con el análisis de las variables meteorológicas, para identificar eventos extremos.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como resultado del análisis y comparación de los datos recopilados se recuperaron 148 eventos de inundación que afectaron, con diferente frecuencia e intensidad, diversas zonas de la ciudad de Buenos Aires entre 1980 y 2005. En la Fig. 1 se muestra la distribución de los 148 eventos registrados en los 26 años que comprende el estudio. En el gráfico se pueden diferenciar los años 1997, 1998 y 2000 con el mayor número de eventos de inundación de todo el periodo (14, 11 y 11 eventos respectivamente) en contraste con 1984, 1986, 1996 y 2002 que registran los valores más bajos (de 1 a 2 eventos) y 1995 que no registra ninguno.

Con el objetivo de caracterizar los eventos de inundación y reconocer las causas naturales que los desencadenaron, se analizaron los datos de precipitaciones, alturas de marea y dirección y velocidad de vientos, proporcionados por el SMN y el SHN. Datos de precipitaciones diarios, mensuales y anuales fueron estudiados para reconocer patrones de comportamiento vinculados a diferentes escalas temporales.

Los datos hidrometeorológicos obtenidos para los 148 registros permitieron definir dos tipos de situaciones que producen anegamientos: precipitaciones y sudestadas. En el presente trabajo, el criterio de clasificación utilizado considera como:

Eventos de inundación provocados por Precipitaciones (P): Aquellos en los que se producen precipitaciones y la altura del río de La Plata se encuentra por debajo del nivel de alerta de 2.50 m definido por el SHN para el Puerto de Buenos Aires.

Eventos de inundación provocados por Sudestada (S): Aquellos en los que la altura del río de La Plata, medida en el puerto de Buenos Aires, supera el nivel de alerta de 2.50 m o mantienen una altura superior a los 2 m durante dos o más

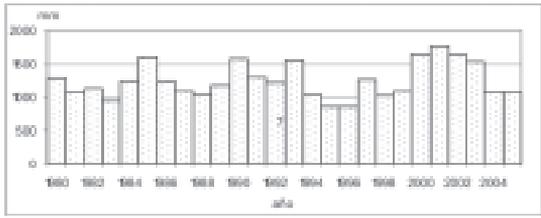


Fig. 2. Precipitaciones totales anuales.

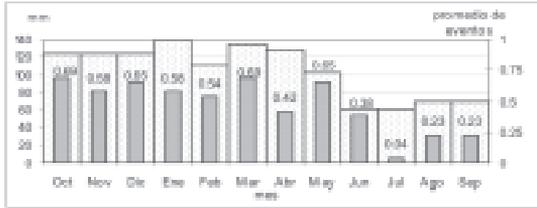
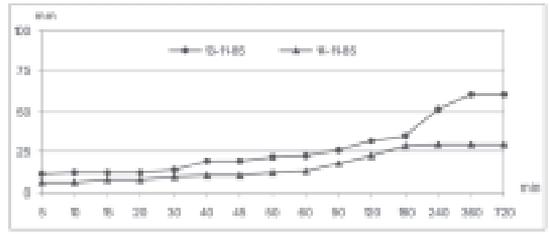
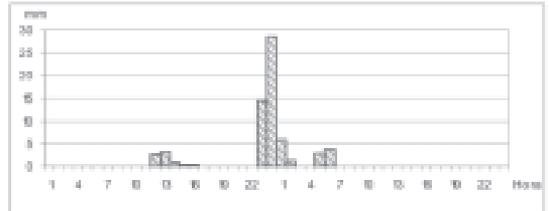


Fig. 3. Precipitaciones medias mensuales y promedio de eventos para el período 1980-2005.



a)



b)

Fig. 4 a, b. a. Valores máximos de precipitaciones para el evento “P” del 13/14-11-1985 (Observatorio AJN). b. Faja Horaria del evento “P” de 13/14-11-1985 (Observatorio AJN).

días consecutivos. Estos eventos pueden estar acompañados o no de precipitaciones.

En la Fig. 2 se muestran los valores de precipitaciones totales anuales para el periodo estudiado. De la comparación entre estos valores y los eventos de anegamiento registrados (Fig. 1) se observa que, en años como 1984 y 1991, las mediciones muestran una cantidad similar de precipitaciones pero no de eventos de inundación (2 y 6 respectivamente) y que, por otro lado, años como 1982 y 1985 con similar número de eventos (7 y 8 respectivamente), presentan una diferencia significativa en los valores de precipitación. Por otra parte, el año con mayor número de anegamientos (14) es 1997, cuyo valor de precipitación total se encuentra en la media anual, mientras que 1998 con menores valores de precipitación, sigue presentando elevado número de anegamientos (11). Entre el año 2000 y 2003 se produce un período con altos valores de precipitación, mientras que los episodios de anegamiento, si bien en el año 2000 son elevados (11), caen bruscamente a 2 en el 2002. Estos resultados señalan que los anegamientos en la ciudad no presentan una relación directa con los valores de precipitación anual.

Con el fin de analizar la posibilidad de que la variación estacional de las precipitaciones tenga alguna influencia en la ocurrencia de eventos, se compararon los valores de precipitación media mensual y el promedio mensual de eventos ocurridos durante el período de estudio. Los valores expresados en la Fig. 3 muestran que si bien no

existe una exacta correspondencia entre el promedio de eventos mensuales y el valor de las precipitaciones, se comprueba una tendencia en la que particularmente durante los meses de invierno disminuyen tanto los valores de las precipitaciones como el promedio de eventos registrados.

Del análisis de la relación de los eventos de anegamiento con las diferentes escalas temporales en que se producen las precipitaciones, se comprueba la independencia de dichos fenómenos con los volúmenes totales caídos en escalas anuales y mensuales. A diferencia de estos, los valores diarios de precipitación presentaron una relación directa con la ocurrencia de anegamientos. Particularmente del estudio de los datos de precipitaciones diarias totales, los valores máximos de precipitación y fajas horarias, surge que las lluvias intensas producidas en un corto período de tiempo, que se producen a partir de tormentas convectivas, son las desencadenantes del fenómeno.

En las Figs. 4a y b se muestra la evolución de las precipitaciones del evento de inundación de tipo “P” del 13 de noviembre de 1985. La Fig. 4a muestra los valores máximos de precipitación en distintos intervalos de tiempo, para los dos días en que transcurrió el evento. Como se puede ver, la evolución de los valores máximos obtenidos en el Observatorio Aeroparque Jorge Newbery indica que la intensidad fue mayor el día 13 que el día 14. En la Fig. 4b se observa que los registros más

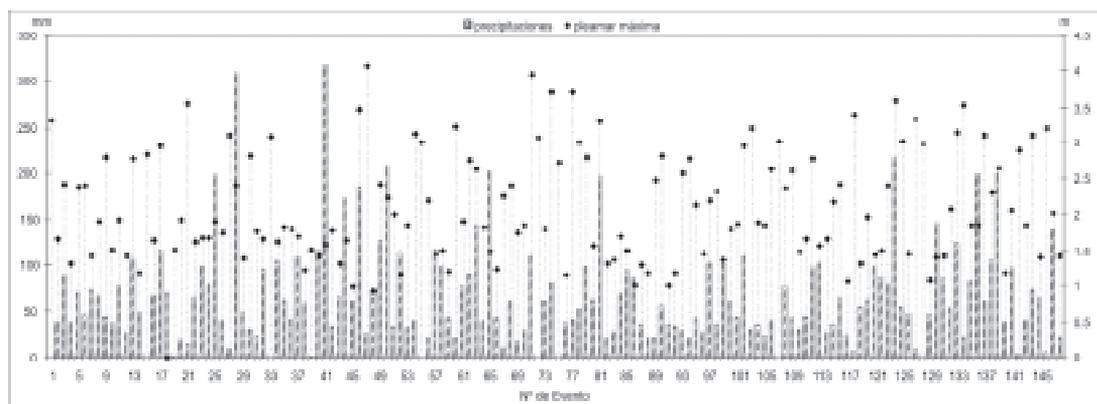
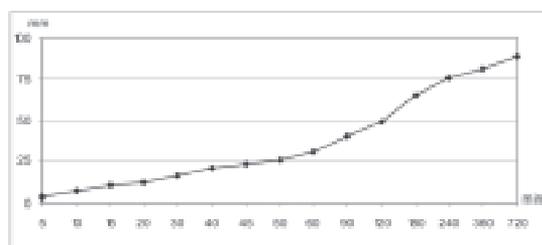
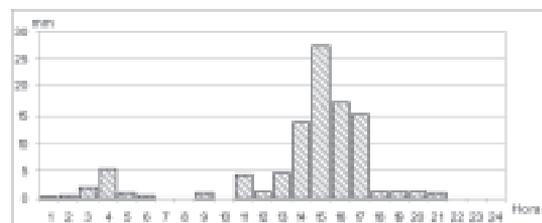


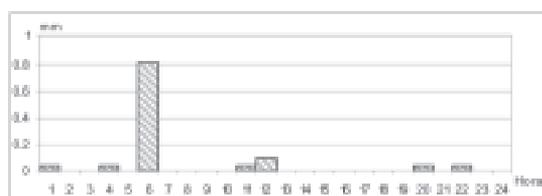
Fig. 5. Precipitaciones (mm) y pleamares máximas (m) registradas por evento.



a



b



c

Fig. 6 a, b, c. a. Valores máximos de precipitación para el evento “S” del 20-02-82 (Observatorio AJN). b. Faja horaria del evento “S” del 20-02-82 (Observatorio AJN). c. Faja horaria del evento “S” del 06-03-85 (Observatorio AJN).

altos se produjeron entre las 23 hs del día 13 y la 1am del día 14.

Es importante hacer una observación respecto a los valores diarios de precipitación obtenidos

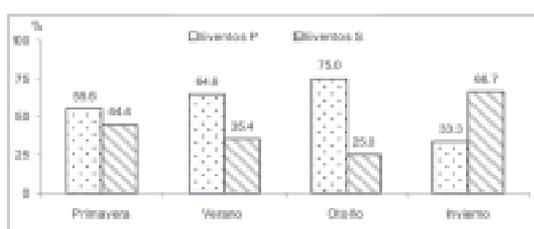


Fig. 7. Distribución del tipo de evento por estación del año.

en el SMN. Dichos valores se obtuvieron a partir de mediciones llevadas a cabo en el Observatorio Central Buenos Aires (OC) y en el Observatorio Aeroparque Jorge Newbery (AJN) situados en el barrio de Villa Ortúzar y de Palermo, respectivamente. Si bien estos datos son precisos, las condiciones meteorológicas pueden dar lugar a la formación de tormentas localizadas que se desarrollen en otras áreas de la ciudad y que no sean registradas por ninguno de estos dos observatorios, dando como resultado valores sesgados de precipitación. Este aspecto se pone de manifiesto en algunos eventos que han sido registrados por las fuentes y que, sin embargo, registran mínimos valores de precipitación en el boletín del SMN, como por ejemplo el evento de tipo “P” del 25 de octubre de 1992, que registra 10 mm en AJN y 17 mm en el OC. En estos casos, la metodología utilizada consistió en analizar las descripciones cualitativas obtenidas en las fuentes hemerográficas consultadas para constatar la ocurrencia del anegamiento y el impacto en la población. En los casos en los que la información cualitativa resultó ser consistente, estos eventos fueron incorporados al registro, no obstante los registros meteorológicos disponibles no hayan reflejado la magnitud del evento.

Las sudestadas representan otro de los factores responsables de las inundaciones en la ciudad. Las ondas de tormenta, producidas por vientos persistentes, de regulares a fuertes de dirección sudeste aumentan la altura del nivel del río por efecto de apilamiento (*setup*) provocando inundaciones en las zonas costeras. Asimismo, este ingreso de agua genera mayor presión en la desembocadura de los desagües pluviales, actuando como un tapón e impidiendo el escurrimiento del agua acumulada en la ciudad. Las sudestadas afectan la costa del estuario del río de la Plata y, por efecto de remanso, al Riachuelo, hasta aguas arriba del puente de La Noria y sus márgenes, así como la desembocadura de los arroyos de la ciudad, por donde ingresa a través de los conductos y sale por los sumideros.

En la Fig. 5 se representan los valores de las pleamareas máximas y precipitaciones totales para cada uno de los anegamientos. Estos datos, conjuntamente con la información hemerográfica y la obtenida en los distintos organismos competentes, permitieron identificar el fenómeno que originó cada uno de los eventos de anegamiento. Del análisis de dicha información surge que el 62.2% de los eventos registrados son causados por precipitación (eventos "P"), y el 37.8% por sudestada (eventos "S"). Es importante destacar, sin embargo, que en muchos casos la diferenciación entre eventos "P" y "S" no es tan clara, pues si bien uno de los dos es el desencadenante, el anegamiento se produce por la superposición de ambos efectos, dando lugar a eventos de carácter mixto. Como ejemplo, en las Figs. 6a y b se presentan los valores máximos de precipitación de un evento de inundación "S" (con fecha 20 de febrero de 1982) y su correspondiente faja horaria, donde se observa que las precipitaciones también han sido importantes. Por otro lado, en la Fig. 6c se muestra la faja horaria de un evento (con fecha 6 de marzo de 1985) originado exclusivamente por sudestada. En ésta se puede apreciar que los valores de precipitación son mínimos.

A su vez, los datos de dirección de vientos obtenidos en el SMN para cada evento, muestran que si bien en un 81% de los casos fueron vientos predominantes del cuadrante SE, no todos provocaron anegamientos por aumento del nivel del río. De dicha proporción, sólo el 53.6% correspondió a eventos "S", mientras que el 46.4% restante fue caracterizado como "P". Los eventos de sudestada registraron vientos con intensidades mayores a 49 km/h (mayores a Fuerza 6 o "vientos fuertes", en la escala de Beaufort) en un 91.1% de los casos. Estos resultados confirman que la intensidad y/o persistencia de los vientos es la que determina que se produzca un evento tipo "S". El 19%

Tabla 1. Frecuencias de Inundación por barrio 1980-2005

Barrio	Frecuencia de Inundación	Categoría
La Boca	101	A
Palermo	97	A
Belgrano	70	B
Villa Crespo	50	B
Barracas	43	B
Nuñez	37	B
Saavedra	29	C
Villa Lugano	22	C
Caballito	19	C
Nueva Pompeya	19	C
Retiro	19	C
Parque Patricios	18	C
Flores	17	C
Balvanera	14	D
San Nicolás	14	D
Almagro	13	D
Villa Soldati	12	D
Devoto	11	D
Montserrat	11	D
Liniers	10	D
Mataderos	10	D
Recoleta	10	D
San Telmo	10	D
Boedo	8	D
Chacarita	8	D
Versalles	8	D
Villa Pueyrredón	8	D
Villa Urquiza	8	D
Colegiales	7	D
Floresta	7	D
Constitución	6	E
Paternal	6	E
Pque Avellaneda	6	E
San Cristobal	5	E
Villa del Parque	5	E
Villa Luro	5	E
Agronomía	4	E
Coghlan	4	E
Pque. Chacabuco	4	E
V.Sarsfield	4	E
Parque Chás	4	E
Villa Gral Mitre	3	E
Villa Riachuelo	3	E
Villa Santa Rita	3	E
Villa Real	2	E
Puerto Madero	1	E
Villa Ortuzar	1	E
Monte Castro	1	E

restante de los eventos totales, presentó vientos de los cuadrantes SO, NO y NE.

Asimismo, se analizó la distribución de eventos de sudestada y precipitación en las cuatro estaciones del año (Fig. 7) para observar si alguno de estos fenómenos produce inundaciones con

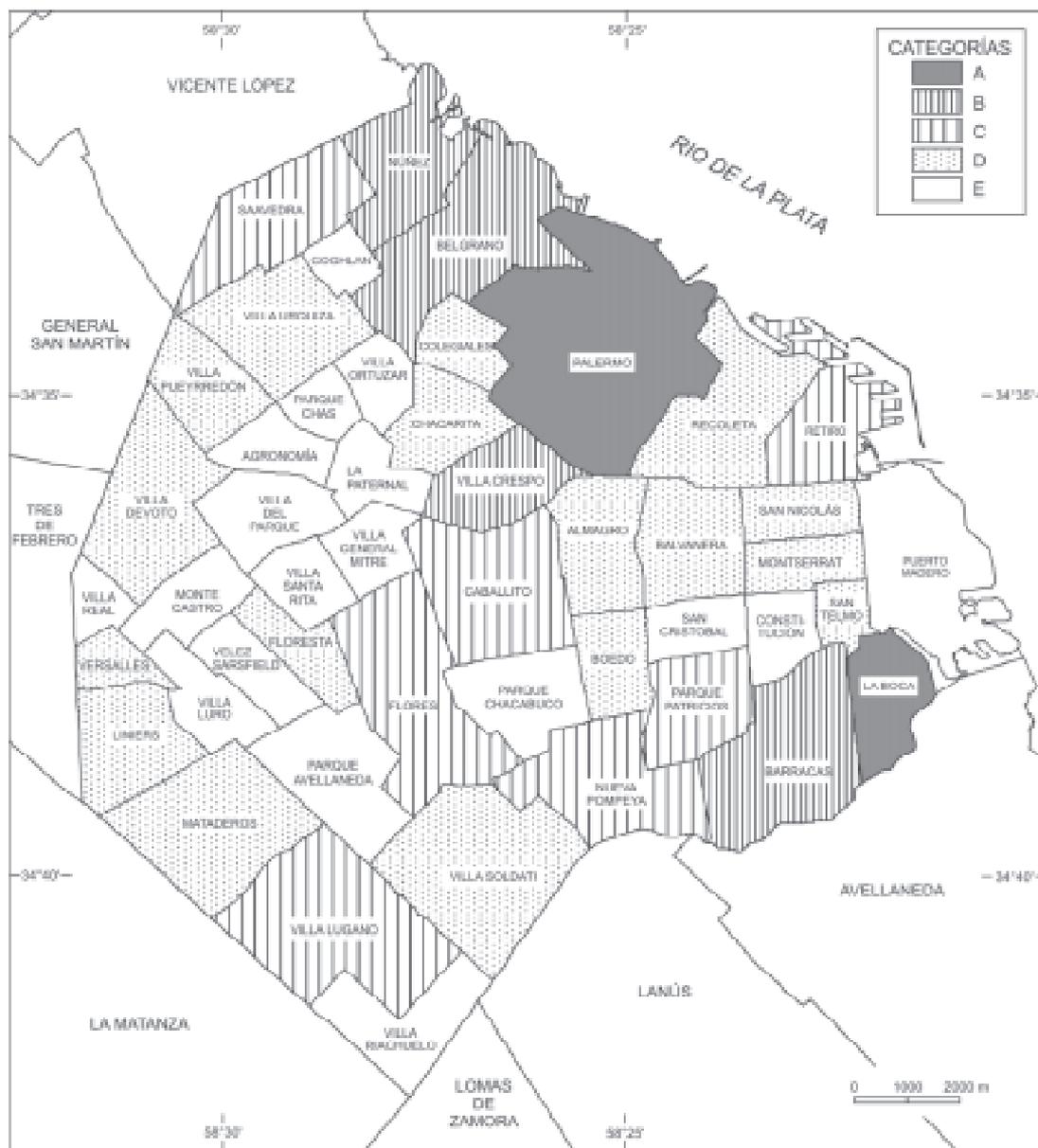


Fig. 8. Mapa de frecuencias de inundación.

mayor frecuencia en alguna época del año en particular. Los resultados muestran que las sudetas son claramente predominantes en invierno causando un 66.7% de los eventos registrados, en contraste con un 33.3% causado por precipitaciones. Durante el resto del año predominan las inundaciones desencadenadas por precipitaciones. Estos resultados son consistentes con la disminución del promedio de precipitaciones para los meses de invierno que se observa en la Fig. 3.

La extensión y dimensión de los anegamientos están directamente relacionadas con la geología, la geomorfología y la red de drenaje, que se hallan severamente modificadas por la urbanización. Al mismo tiempo, las obras de infraestructura vial y de canalización de los arroyos, así como su mantenimiento, también condicionan el alcance areal de estos eventos. Del análisis de la información recopilada se pudieron determinar las zonas anegadas en 129 de los 148 casos registrados, mien-

tras que los 19 restantes no mostraron información al respecto. En función de las fuentes consultadas y del tipo de datos obtenidos, se decidió elegir al “barrio” como unidad de muestreo, pues reduce el margen de error en la identificación del lugar afectado y maximiza la expresión de las referencias encontradas. Como resultado del procesamiento y estandarización de dicha información, se obtuvieron valores de frecuencia de inundación para cada uno de los 47 barrios de la ciudad (Tabla 1). Mediante el método de clusters *k-means* se probaron diferentes alternativas de agrupamiento de datos para su visualización en un mapa. La clasificación de frecuencias en 5 categorías (A a E) resultó ser la más clara. Los resultados se presentan en el mapa de la Fig. 8. La categoría A representa a los barrios con altos valores de frecuencia y la categoría E a los barrios con frecuencias más bajas.

Como se puede observar en el mapa, los barrios que registraron mayor número de inundaciones en el periodo de estudio son La Boca y Palermo (categoría A).

El análisis de la recurrencia de los anegamientos en la ciudad debe considerar la incorporación de las modificaciones antrópicas realizadas sobre las geformas originales. Los cursos fluviales y arroyos de la ciudad han sido objeto de rellenos, entubamientos y canalizaciones a lo largo de la historia de la ocupación del terreno, por lo que su comportamiento no puede ser analizado como el de los cursos fluviales libres. La impermeabilización de la superficie por un lado y el escurrimiento canalizado en las obras de alcantarillado por el otro, han modificado el cauce de las aguas superficiales y su derivación hacia las diferentes cuencas hídricas, incluso hasta la desaparición de algunos cursos menores.

Con el fin de analizar el patrón espacial de la distribución de los anegamientos, hemos comparado el mapa histórico de registros de la Fig. 8, con el mapa geomorfológico de la ciudad de Buenos Aires (Fig. 9) elaborado en Nabel *et al.* (en prensa). Las cuatro unidades geomórficas que se presentan en la Fig. 9, definidas sobre la base de variables topográficas (entre ellas altura y pendiente) son las siguientes: *Interfluvios*, *Laterales de valle*, *Planicies de inundación* y *Planicie estuárica*. En él se pueden distinguir, de norte a sur, los valles de inundación de los arroyos Medrano, White, Vega y Maldonado; y el valle del Riachuelo.

De la comparación de ambos mapas es posible distinguir una correspondencia entre la *Planicie de inundación* y los valores altos y medios de frecuencia obtenidos en el muestreo (categorías A,

B y C). Esta correspondencia se puede observar para el arroyo Medrano en el barrio de Saavedra, para el arroyo White en Núñez y para el arroyo Vega en Belgrano. En la cuenca del Maldonado se ve reflejada en los barrios de Palermo, Villa Crespo y Caballito, y en la cuenca del Riachuelo en los barrios de Barracas, Nueva Pompeya, Flores y Villa Lugano.

A su vez, los valores más altos obtenidos en el muestreo se observan en la *Planicie estuárica* y las *Planicies de inundación*. Ello se ve en los valores obtenidos para Villa Crespo en las *Planicies de inundación*, para Núñez, Belgrano, Palermo, y Barracas que comparten superficie en ambas unidades geomórficas y para La Boca en la *Planicie estuárica* (categorías A y B, Fig. 8, Tabla 1). Los barrios de Retiro, Recoleta y Puerto Madero situados también en la *Planicie estuárica*, presentan valores de medios a bajos y pertenecen a las categorías C, D y E respectivamente, resultado que se discutirá más adelante.

Respecto a los barrios situados sobre *Interfluvios* y *Laterales de valle*, se reconoce también un alto grado de correspondencia con bajos registros de inundación. Los barrios situados sobre estas unidades geomórficas se ubican en las categorías D y E y presentan los valores más bajos de frecuencia (Fig. 8, Tabla 1). Ellos son: Villa Devoto, Villa Pueyrredón, Villa Urquiza, Coghlan y Colegiales. Villa Ortúzar, Parque Chas, Agronomía y La Paternal. Villa del Parque, Villa Gral. Mitre, Villa Sta. Rita, Monte Castro y Villa Real. Mataderos, Pque. Avellaneda, Pque. Chacabuco, Boedo y San Cristóbal.

La cuenca del Riachuelo posee una *Planicie de inundación* de 3250 ha de superficie. Además de ser la de mayor extensión, es a su vez la única cuenca cuyo curso de agua no se encuentra totalmente entubado (Fig. 9). Los resultados muestran que en dicha planicie los barrios se ubican entre las categorías A (La Boca) y E (Villa Riachuelo). El barrio de La Boca, que presenta el valor más alto obtenido en el muestreo (Tabla 1), si bien está situado mayormente en la *Planicie estuárica*, también pertenece a la cuenca del Riachuelo.

La cuenca del Radio Antiguo se destaca por haber sido particularmente modificada. Los arroyos originales ya no existen pues han desaparecido con antiguos rellenos o han sido entubados en conductos pluviales. De la comparación de ambos mapas, se observa que en el *Interfluvio* y *Laterales de valle* los valores de frecuencia obtenidos son de medios a bajos. Los barrios de Almagro, Balvanera, San Nicolás, San Cristóbal, San Telmo, Constitución y Montserrat, correspondientes a las categorías D y E, presentan valores de entre 14 y 5 eventos de inundación. Por otro

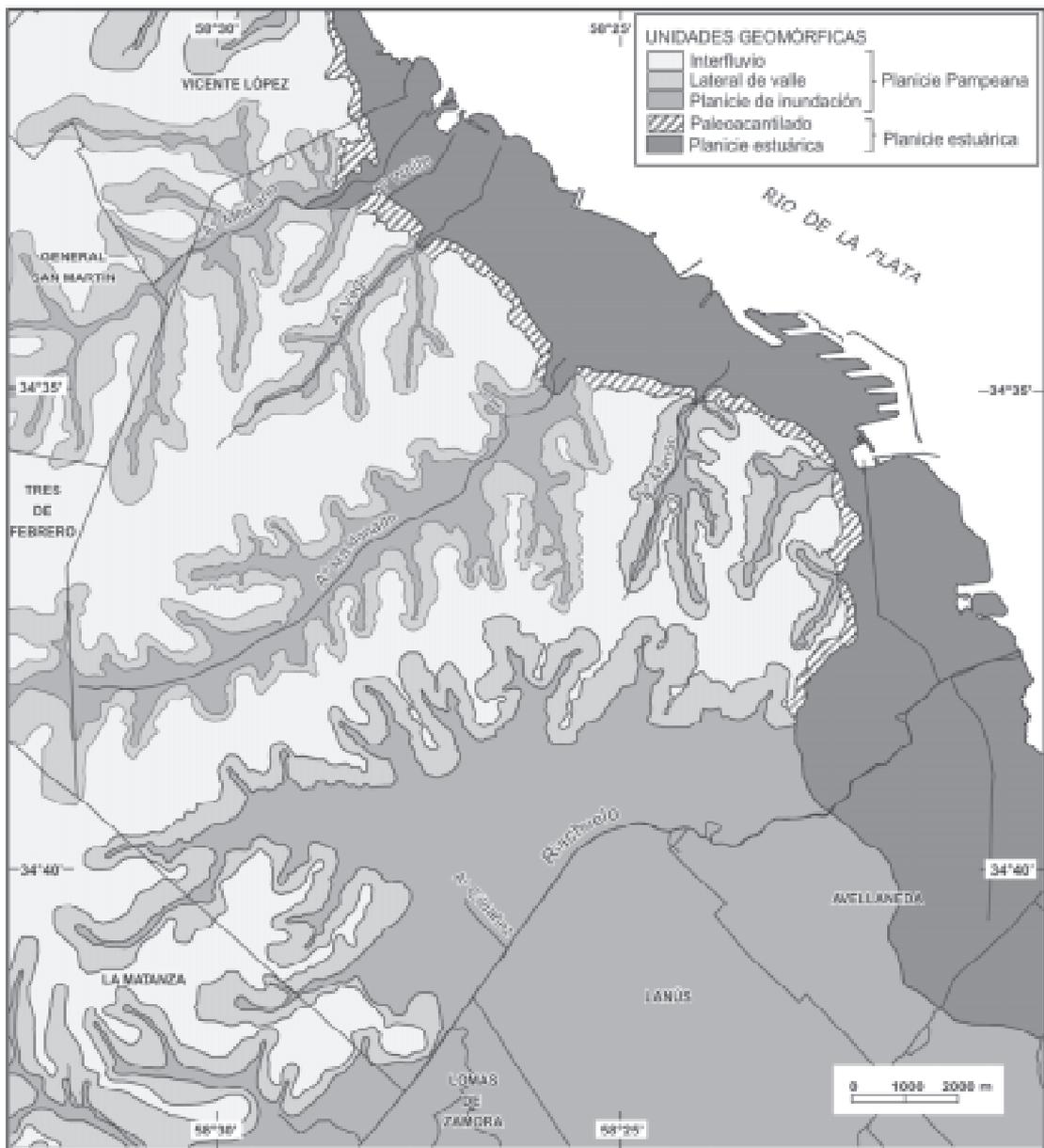


Fig. 9. Mapa de Geoformas.

lado el barrio de Retiro, que posee parte de su superficie en los *Laterales de valle* del Radio Antiguo, pertenece a la categoría C, con un valor de 19 eventos de inundación (Tabla 1).

Las geoformas de la ciudad de Buenos Aires han sido severamente modificadas. El escurrimiento superficial se canaliza actualmente a través del alcantarillado por el sistema de conductos pluviales. En la Fig. 10 se muestran los principales conductos pluviales de dicho sistema y las cuen-

cas hídricas actuales. A partir de la información proveniente de las cuencas modificadas y aplicando modelos hidráulicos de simulación, la Subunidad Provincial de Coordinación para la Emergencia de Buenos Aires (SUPCEBA) elaboró un mapa de riesgo de inundaciones para una tormenta de precipitaciones con recurrencia de 100 años (SUPCEBA, 2002). Como se puede observar en el mapa resultante (Fig. 11), las áreas de mayor riesgo hídrico se sitúan principalmente



Fig. 10. Mapa de la Red Pluvial actual (S.U.P.C.E.B.A.).

sobre el valle de inundación de las cuencas de los arroyos Maldonado y Vega y en algunas áreas del valle de inundación de la cuenca del Riachuelo.

Eventos Extremos

Con el fin de identificar entre los 148 eventos, aquellos que provocaron mayores daños en la población por su alcance catastrófico, se aplicaron criterios de clasificación que contemplan la magnitud y dimensión de los daños materiales causados (Llasat *et al.*, 2005). Sobre la base de estos criterios se definen dos tipos de anegamientos:

Anegamientos simples: episodios de precipitación o sudestada que dificultan el tránsito vehicular y el correcto funcionamiento de los servicios de transporte, luz, teléfono y agua afectando la vida cotidiana de la población.

Anegamientos extremos: episodios de precipitación o sudestada que además de afectar al tránsito vehicular y los servicios básicos, provocan daños en edificios, viviendas y otros bienes particulares.

Además fueron consideradas las siguientes variables meteorológicas para el intervalo de tiempo en el que transcurrió el evento:

Tabla 2. Eventos Extremos 1980-2005.

Nº de evento	Fecha del evento	PP BSAS	PP AJN	Pleamar Máxima	Dir. de viento	Vel. Máx. Viento	Dir. de viento	Tipo	Nº de cuencas viento
13	19-Feb-82	107	100,5	2,78	S	83	S	S	4
21	26-Sep-83	14	4,3	3,55	S/SE	50	S/SE	S	2
25	24-Ene-85	198	45,1	1,92	SE	35	SE	P	6
28	29-May-85	308,5	261,9	2,4	SE	37	SE	P	5
32	12-Nov-85	96,5	98,4	1,66	S	33	S	P	4
37	22-Mar-87	109	78,5	1,69	S	93	S	P	5
41	21-Mar-88	316,8	309,3	1,58	E	37	E	P	5
44	08-Abr-89	171,6	196,8	1,64	SO	67	SO	P	4
46	18-Ago-89	185,5	179,8	3,48	S/SE	67	S/SE	S	6
47	11-Nov-89	27,6	25,6	4,06	S/SE	69	S/SE	S	4
49	28-Ene-90	127	79,5	2,43	O	80	O	P	4
52	14-Abr-90	115	110	1,17	SO	48	SO	P	3
57	19-Nov-90	117,6	152,9	1,46	SO	48	SO	P	4
74	02-Abr-93	81	78	3,7	E/SE	65	E/SE	S	6
80	14-Mar-94	63	142	1,56	E/NE	46	E/NE	P	6
81	03-Abr-94	197	157	3,29	S	57	S	S	6
85	05-Nov-96	95	113	1,49	S	59	S	P	5
99	25-Dic-97	101,6	140	1,37	N/NE	56	N/NE	P	6
102	02-Feb-98	110	104	2,96	E/SE	65	E/SE	S	7
103	09-Mar-98	31	23	3,2	S	41	S	S	4
108	12-Dic-98	77,2	108,4	2,36	SE	85	SE	S	4
112	26-Ene-99	98	107,3	2,79	S/SO	74	S/SO	S	7
113	05-Feb-99	102	70	1,57	S/SE	70	S/SE	P	7
121	06-Abr-00	99	94	1,44	E	54	E	P	3
124	13-May-00	218,7	177	3,59	E/SE	115	E/SE	S	4
130	23-Ene-01	147	73	1,4	S/SE	72	S/SE	P	5
133	20-Mar-01	125	95	3,15	E	87	E	S	2
136	10-Feb-03	198	95	1,85	SE	76	SE	P	4
139	30-Ene-04	200	201	2,65	SE	89	SE	S	4

AJN = Observatorio Aeroparque Jorge Newbery

BSAS = Observatorio Buenos Aires

PP = Precipitaciones

Dir. = Dirección

Vel. Máx. = Velocidad Máxima

N=Norte

E=Este

NE=Noreste

S=Sur

SE=Sureste

SO=Suroeste

O=Oeste

NO=Noroeste

Valor de precipitaciones totales acumuladas

Intensidad de las precipitaciones

Valor de pleamar

Cantidad de días con valores de pleamar superiores a 2 m

Velocidad de vientos del cuadrante SE

Cantidad de cuencas afectadas

Distancia entre cuencas afectadas

La evaluación en conjunto de toda la información disponible permitió determinar la existencia de 29 eventos extremos, de los cuales 16 fueron categorizados como "P" y 13 como "S". Del total de eventos extremos, 22 (el 76%) se produjeron como consecuencia de abundantes precipitaciones

o sudestadas ocurridas en un breve lapso de tiempo (menos de 48 horas), mientras que los restantes 7 tuvieron lugar por el efecto acumulativo de varios días de lluvia y/o sudestada (Eventos N° 32, 41, 46, 81, 102, 112 y 124).

En la Tabla 2 se presentan los 29 eventos extremos, su fecha de inicio, fenómeno que los originó, número de cuencas afectadas y valores de las variables meteorológicas registradas para cada uno.

Las precipitaciones acumuladas registradas en eventos extremos "P", oscilaron entre 99 y 316.8 mm, mientras que sus correspondientes pleamares se mantuvieron siempre por debajo de los 2.50 m. A su vez, los de tipo "S" registraron valores de pleamares máximas entre 2.36 y 4.06 m y veloci-

dades máximas de vientos del cuadrante SE entre 50 y 115 km/h. Las precipitaciones en estos casos presentaron una amplitud mucho mayor con valores de 4.3 mm a 218.7 mm (Tabla 2). De los 13 eventos extremos "S", sólo 2 eventos presentaron valores mínimos de precipitación (eventos N° 21 y N° 47), mientras que 27 eventos registraron simultáneamente valores elevados. A diferencia de aquellos, sólo 2 de los casos extremos "P" fueron acompañados por sudestadas (eventos N° 28 y N° 49). El análisis del registro de eventos históricos pone de manifiesto que los eventos extremos desencadenados por sudestadas suelen estar acompañados por fuertes precipitaciones.

Respecto a la distribución de eventos extremos a lo largo del periodo de estudio, los años 1985, 1989, 1990 y el periodo entre 1998 y 2001, se vieron particularmente afectados, registrando entre 2 y 3 eventos (Fig. 12). Las inundaciones se produjeron principalmente durante el verano y en una sola ocasión durante el invierno (Fig. 13). El análisis del tipo de fenómeno desencadenante muestra que en verano tanto como en primavera las inundaciones fueron provocadas en similar proporción por precipitación o sudestada. En cambio, en otoño son mayoría los eventos "P" y en invierno ocurrió un único evento de tipo "S" (Fig. 14).

Por otra parte, se consideró la posibilidad de relacionar los anegamientos en la ciudad de Buenos Aires con el fenómeno "El Niño". En el periodo que abarca este estudio "El Niño" se manifestó en dos oportunidades, 1982-1983 y 1997-1998, causando grandes inundaciones en el litoral argentino (Camilloni & Barros, 2003). La distribución de los eventos ocurridos en la ciudad (Fig. 1), muestra que si bien en los años 1997-1998 se registraron el máximo de eventos de inundación de todo el periodo, los años 1983 y 1982 no presentan una cantidad de eventos que se destaque respecto de otros años. La distribución de los eventos extremos, cuyos máximos se produjeron en los años 1985, 1989, 1990 y 1998, tampoco guarda una correspondencia con el mencionado fenómeno. Por otro lado, tampoco se observa un aumento en los valores de precipitaciones anuales registrados para ambos periodos: 1982-83 y 1997-98 (Fig. 2). El análisis de los datos históricos no evidencia la existencia de un impacto del fenómeno ENSO en la ciudad de Buenos Aires.

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos permite distinguir una correspondencia entre las zonas anegadas históricamente y las unidades geomórficas de *Planicies de Inundación* y *Planicie estuárica*. Ello se puede observar en las cuencas de los arroyos Medrano y Vega, Riachuelo y parte

de la cuenca del arroyo Maldonado. Particularmente los tres valores más altos de frecuencia de inundación se registran en la "*Planicie estuárica*" en los barrios de La Boca, Palermo y Belgrano, en las categorías A y B (Fig. 8, Tabla 1). A su vez, de los 148 eventos registrados en el muestreo un 62.2% han sido desencadenados por precipitaciones. Este resultado y los valores máximos de frecuencia obtenidos en la *Planicie estuárica* señalan que se produce una sumatoria de efectos en las áreas de mayor afectación: por un lado la *Planicie estuárica* conforma los terrenos más bajos, con cotas por debajo de los 5 m snm, por lo que recibe el escurrimiento de las precipitaciones provenientes de zonas de cota más alta. Por otro lado, en el caso de la ocurrencia de sudestadas con precipitación, se adiciona a este efecto la acumulación de agua por un aumento y desborde del nivel Río de La Plata. En consecuencia, la *Planicie estuárica* recibe una carga por escurrimiento y acumulación mayor a la que se produce en otras áreas de la ciudad que se ve reflejado en los valores obtenidos en el muestreo.

Respecto a los *Interfluvios* y *Laterales de valle*, se distingue también una correspondencia entre estas unidades geomórficas y registros bajos de frecuencia. En las Figs. 8 y 9 se aprecia que los barrios de Constitución, San Cristóbal, Parque Chacabuco, Villa Real, Monte Castro, Villa del Parque, Agronomía, Coghlan, Parque Chás y Villa Ortúzar, todos ellos situados sobre estas unidades geomórficas, pertenecen a la categoría de valores más bajos (E).

Los fenómenos meteorológicos y la geomorfología son aspectos naturales que condicionan la ocurrencia de inundaciones en una región o área determinada. A su vez, los aspectos antrópicos influyen también de manera significativa en el grado de impacto que dichos eventos tienen en la población. El análisis de la información recopilada en este trabajo pone de manifiesto la influencia que aspectos antrópicos tales como la presencia de villas o la importancia de las vías de acceso, tienen en el registro de las zonas afectadas y cómo repercute ello en los resultados obtenidos.

Las principales vías de acceso que conectan el Sur y el Norte de la ciudad atraviesan la *Planicie estuárica* desde el barrio de La Boca hasta Núñez. La orientación de estas vías, en paralelo y próximas a la costa del río de la Plata en una zona de cota baja, genera una elevada afectación ante cualquier acumulación de agua, sea ésta causada por precipitaciones o por sudestada. Dada la intensidad de la circulación vehicular incluso leves anegamientos repercuten en el tránsito y por tanto en la población. Este tipo de disturbio se manifiesta particularmente en los resultados obtenidos.

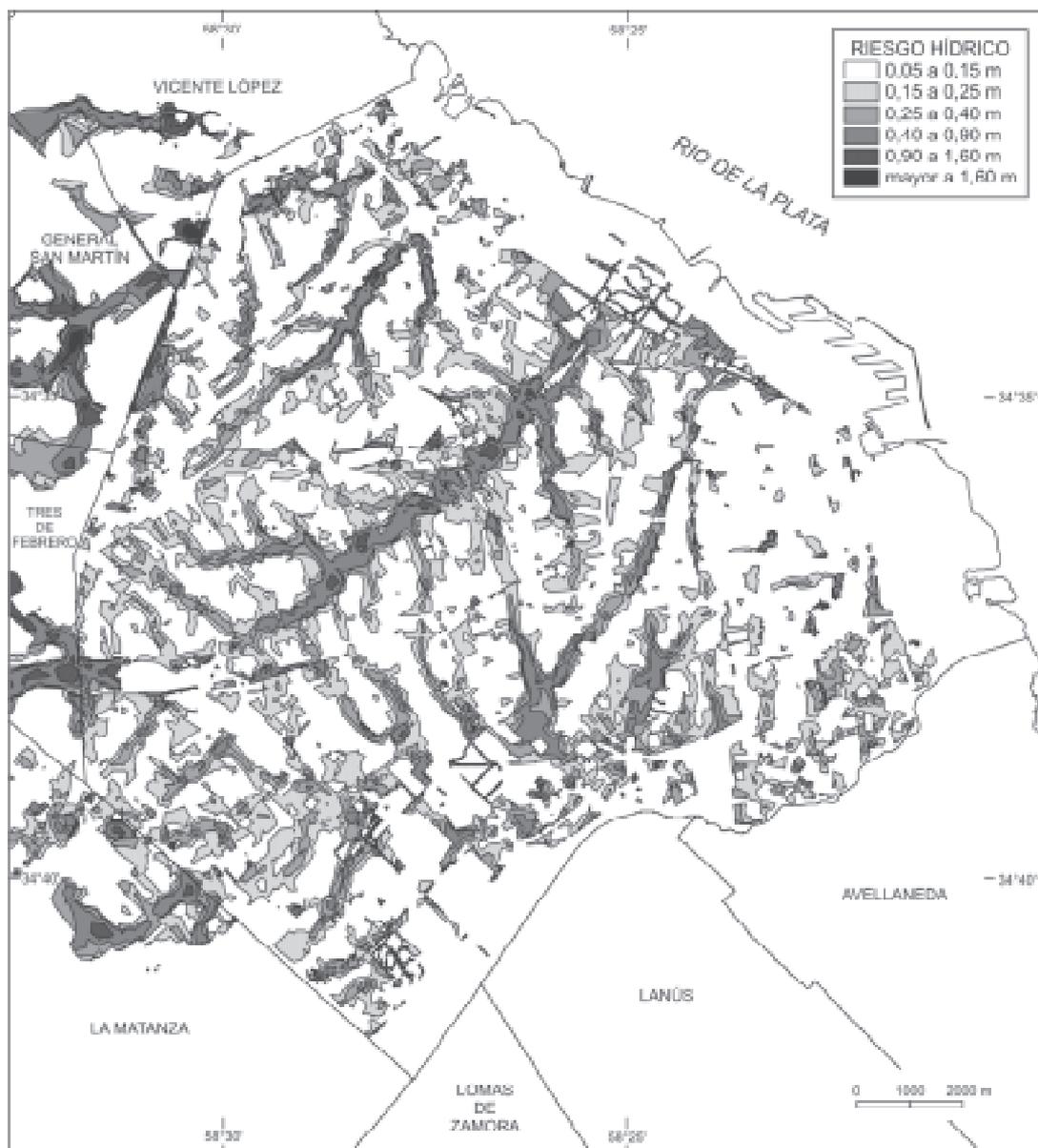


Fig. 11. Mapa de Riesgo Hídrico (S.U.P.C.E.B.A.).

dos para los barrios de Palermo, Belgrano y Núñez, atravesados por la Av. Figueroa Alcorta, Av. del Libertador, Av. Cantilo y Av. Lugones, las cuales son reportadas sistemáticamente por las fuentes hemerográficas durante el periodo estudiado.

Las villas y asentamientos precarios poseen un alto grado de exposición frente a la ocurrencia de anegamientos. Las condiciones deficientes de infraestructura y vivienda aumentan la vulnerabi-

lidad de la población y por tanto también su grado de afectación. Como consecuencia de ello, el impacto que genera en las fuentes hemerográficas se ve reflejado en las noticias publicadas. Esta influencia se ha podido advertir en el muestreo, donde con frecuencia para notificar una zona anegada se mencionan los nombres de las villas en lugar del nombre de los barrios. Al mismo tiempo es posible distinguir un particular énfasis por parte de fuentes

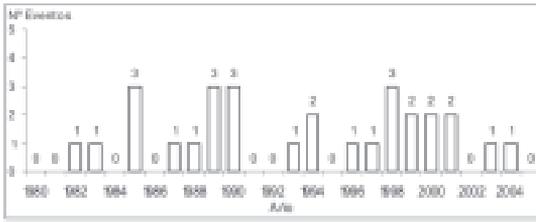


Fig. 12. Número de eventos extremos por año.

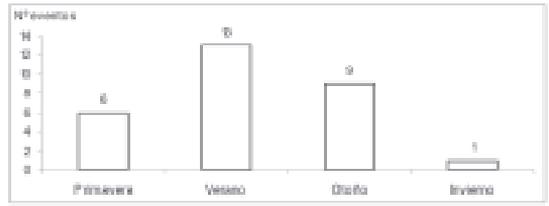


Fig. 13. Número de eventos extremos distribuidos por estación del año

como Defensa Civil en registrar los anegamientos allí ocurridos, respondiendo a la función que desempeña dicho organismo. A su vez, la mayoría de las villas de la ciudad están situadas en zonas anegables, concretamente sobre la *Planicie de inundación* del Riachuelo (Fig. 15), por lo que a la particular vulnerabilidad de la población se le agrega un mayor riesgo de inundación.

Como se mencionó anteriormente, si bien existe una correspondencia generalizada entre valores altos de frecuencia de inundación y las *Planicies de inundación y estuárica* y, entre valores bajos y *Laterales de valle e Interfluvios*, hay barrios que no siguen esta correspondencia. A continuación se analizan los casos en los que los resultados se apartan de esta tendencia.

Los resultados obtenidos para los barrios de Retiro, Recoleta y Puerto Madero, categorías C, D y E respectivamente, difieren respecto de la tendencia observada para la *Planicie estuárica* (véase Fig. 8). En el barrio de Recoleta el área ubicada en la *Planicie estuárica* se encuentra prácticamente deshabitada y ocupada por terrenos ferroviarios y espacios verdes (Fig. 15). Esta situación, a la que se agrega la infraestructura portuaria allí emplazada que atenúa los efectos de sudestada, resulta en un menor número de eventos de inundación y por tanto en valores bajos en el muestreo. Por otro lado, el valor obtenido para Puerto Madero, que registra tan solo un evento (Tabla 1), puede explicarse por su reciente constitución como barrio, en 1997, lo que acota el periodo de estudio a 9 años (1997-2005) en lugar de 26, reduciendo las probabilidades de registrar un evento. En cuanto al barrio de Retiro, con características topográficas similares a Recoleta y que sin embargo pertenece a la categoría C, debe señalarse la presencia de la “Villa 31”, en la cual viven 8.934 personas (Censo 2003, GCBA) (Fig. 15). Esta particularidad determina que, a diferencia de Recoleta donde áreas similares se encuentran deshabitadas, haya población especialmente vulnerable y se refleje en los valores obtenidos.

Otro caso que presenta un sesgo originado por la presencia de asentamientos precarios es el ba-

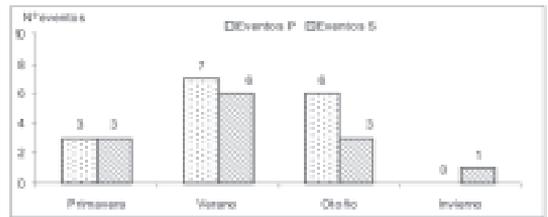


Fig. 14. Distribución del tipo de evento extremo por estación del año.

rrio de Flores. Si bien este barrio posee la mayor parte de su superficie sobre el *Interfluvio* y los *Laterales de valle*, las Villas 1-11-14 y 13bis se asientan sobre el área que ocupa el barrio en la *Planicie de inundación* de la cuenca del Riachuelo (Fig. 15). Como en el caso de Retiro, ello explica la ubicación del barrio en la categoría C, en lugar de D o E que corresponden a la tendencia observada (Fig. 8). No ocurre lo mismo sin embargo en el caso de Parque Avellaneda, cuya situación respecto a las unidades geomórficas es similar y donde además se asienta la villa 6 (Fig. 15). En este caso los valores obtenidos lo ubican en la categoría E (Fig. 8). Una causa posible para este resultado es que la cantidad de habitantes en la villa 6 al ser mucho menor en comparación con la de las Villas 1-11-14 y 13bis en Flores (9.136 y 19.886 habitantes respectivamente (Inst. de Vivienda - GCBA 2006) no repercute de la misma manera en los registros observados.

En lo que se refiere a la *Planicie de inundación* de la cuenca del Riachuelo, el análisis de las Figs. 8 y 9 muestra que allí se encuentran barrios en las categorías más altas como en las más bajas. La amplitud de los valores muestreados, que comprende de 43 eventos en Barracas a 3 en Villa Riachuelo, se debe fundamentalmente a dos aspectos. En primer lugar, en los barrios de Barracas, Flores, Nueva Pompeya y Villa Lugano, de categorías B y C (Fig. 8), se encuentran la villa 1-11-14, las villas 15, 17, 19 y 20 y las villas 21-24 y 26

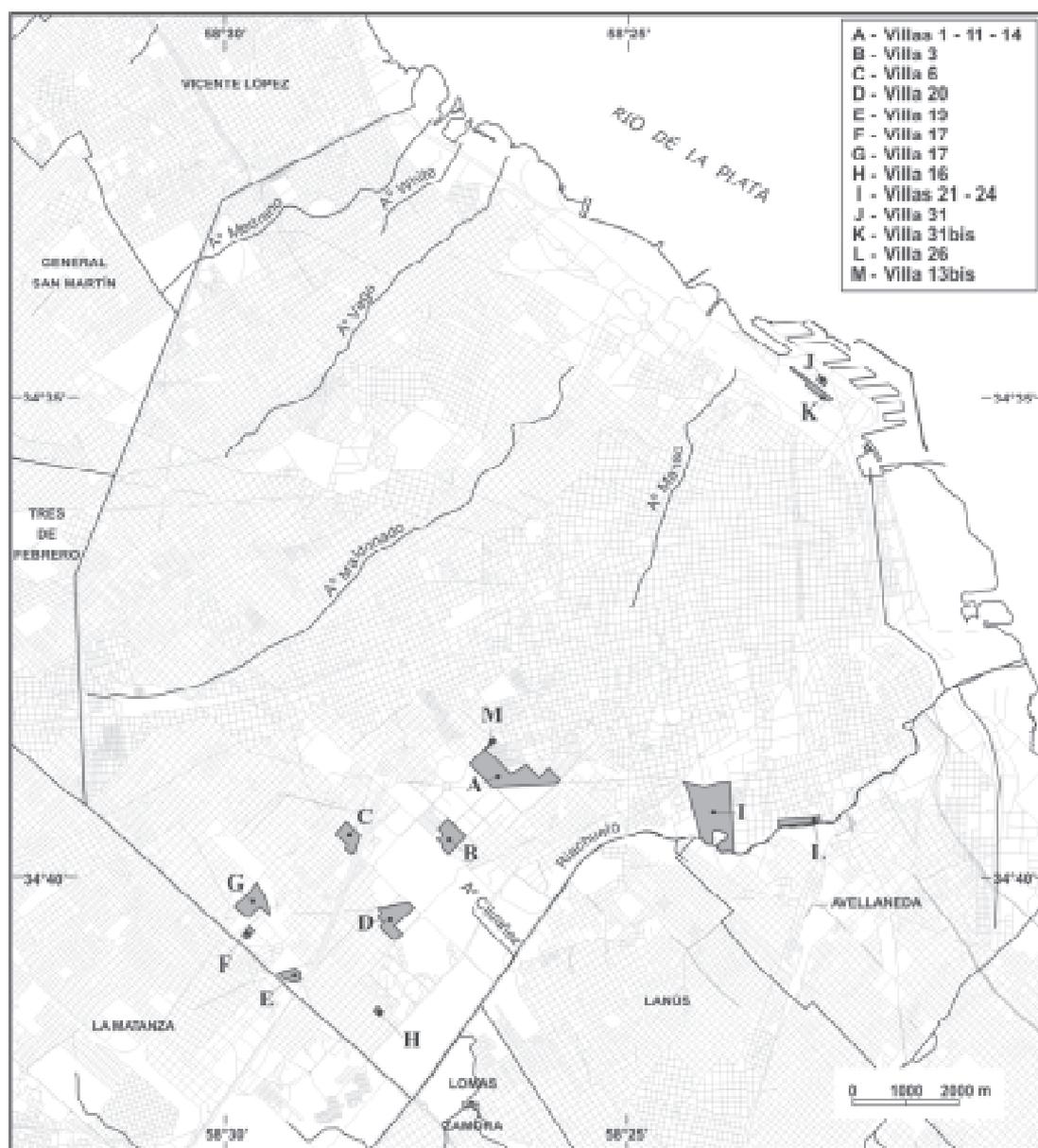


Fig. 15. Mapa de asentamientos precarios. (Fuentes: SUPCEBA, 2002./Inst. de Vivienda. GCBA, 2006).

(Fig. 15). La influencia de dicho aspecto, ya analizada, resulta en un aumento de las frecuencias registradas. Por otro lado, los barrios que se ubican en las categorías más bajas son Villa Soldati y Villa Riachuelo (categorías D y E respectivamente). La superficie ocupada por áreas verdes en estos barrios es considerablemente mayor que la ocupada por viviendas. Dichas áreas no están pavimentadas y permiten la infiltración de agua,

disminuyendo su acumulación en superficie y aliviando la carga en los conductos pluviales. Como consecuencia de ello se produce un efecto atenuante en la ocurrencia de anegamientos que resulta en un menor número de registros (Fig. 8).

Del mismo modo que en la cuenca del Riachuelo, en la *Planicie de inundación* del arroyo Maldonado los registros observados incluyen a barrios desde la categoría A hasta la E. Las dife-

rencias son notables entre Villa Gral. Mitre, Vélez Sarsfield, Villa Luro, Villa Sta. Rita, Versalles y Villa Real, pertenecientes a las categorías D y E, y el grupo conformado por Villa Crespo y Caballito, pertenecientes a la categoría B y parte del barrio de Palermo, en la categoría A. En este caso, es preciso señalar que es notoria la insistente mención, por parte de las fuentes hemerográficas, de los barrios de Palermo, Caballito y Villa Crespo en desmedro de la mención de otros barrios menos conocidos, diferencia que, por otra parte, no se observa en los registros realizados por Defensa Civil. Este aspecto se pone de manifiesto al evaluar la procedencia de los registros citados: del total de veces que se menciona a Villa Gral. Mitre, Vélez Sarsfield, Villa Luro, Villa Sta. Rita, Versalles y Villa Real, un 72% de las veces son registros procedentes de Defensa Civil y un 38% de fuentes hemerográficas. Dichos porcentajes expresan una visible diferencia al momento de mencionar zonas afectadas por parte de las diferentes fuentes.

Por último, el modelado de riesgo hídrico basado en las cuencas modificadas, como se observa en la Fig. 11, sigue evidenciando la influencia de la geomorfología original de la ciudad. Sin embargo el mapa elaborado por SUPCEBA no ha considerado en su análisis el fenómeno de las sudestadas y carece de mediciones tomadas en áreas verdes (plazas y parques) y áreas libres (entre ellas: terrenos propiedad de ferrocarriles, hospitales, clubes deportivos y otras instituciones). En razón de estas carencias, que están claramente explicitadas en el desarrollo del modelo, este mapa difiere sensiblemente del mapa de registros de anegamientos (Fig. 8). Las diferencias se observan principalmente en la *Planicie de inundación* del Riachuelo ya que allí se señalan pequeñas áreas de riesgo y en ella existen grandes extensiones de áreas verdes y libres que no han sido evaluadas. Este es el caso de las áreas verdes ubicadas en los barrios de Villa Soldati, Villa Riachuelo y Villa Lugano. Por otro lado, la exclusión del fenómeno de sudestada en el modelo genera diferencias significativas con respecto a los resultados de frecuencia de inundación. Como se puede ver en la Fig. 8, los barrios de Núñez, Belgrano, Palermo y La Boca que muestran allí un alto grado de afectación, presentan superficies mínimas de riesgo en el mapa de la Fig. 11. El contraste con la información de registros históricos pone de manifiesto que dichas carencias afectan en forma determinante la evaluación del riesgo de inundación en la ciudad.

CONCLUSIONES

Del total de anegamientos que se produjeron en la ciudad de Buenos Aires entre 1980 y 2005, un 61.5% correspondió a eventos desencadenados por precipitaciones y un 38.5% a eventos desencadenados por sudestadas.

Si bien el 81% de los anegamientos registraron vientos predominantes del cuadrante SE, sólo el 53.3% de los mismos produjeron eventos de Sudestada. Dichos eventos registraron intensidades mayores a 49 km/h.

Los eventos de inundación que se registran en invierno son causados en su mayoría por sudestadas (66.7% de los casos) a diferencia de primavera, verano y otoño donde la mayoría de los eventos son provocados por precipitaciones.

Los eventos "El Niño" ocurridos en 1982-1983 y 1997-1998 no se vieron reflejados en los valores de precipitaciones registrados en la ciudad de Buenos Aires, así como tampoco en el número de anegamientos registrados.

Se registraron 29 eventos extremos en la ciudad de Buenos Aires ocurridos entre 1980 y 2005 que representan un 19.6% del total de anegamientos registrados. Un 76% fueron originados por precipitaciones frente a un 24% originados por sudestadas.

Los resultados obtenidos muestran que las áreas con mayor frecuencia de inundación se sitúan en las planicies *Estuárica* y de *inundación*, mientras que las de menor frecuencia se ubican sobre los *Interfluvios* y *Laterales de valles*. Estos resultados señalan que la geomorfología original aún influye sobre la localización de estos fenómenos en la ciudad.

Las discrepancias observadas entre los registros históricos de inundación y el modelo de riesgo hídrico elaborado para la ciudad de Buenos Aires, señalan la necesidad de desarrollar modelos que incluyan el fenómeno de las sudestadas.

Se reitera la necesidad de implementar un registro sistemático de los anegamientos llevado a cabo a través de la coordinación de distintos organismos competentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, al Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y al Ministerio de Medioambiente de la Ciudad Autónoma de Buenos Ai-

res” por apoyar esta investigación a través del proyecto “Atlas Ambiental de Buenos Aires”, y al Ing. Enrique E. D’Onofrio del Servicio de Hidrografía Naval por sus aportes.

BIBLIOGRAFIA

- Barros, V.R., M.E. Castañeda & M. Doyle. 2000. Recent Precipitation Trends in Southern South America East of the Andes: An Indication of Climatic Variability. En P.P. Smolka and W. Volkheimer (eds.), *Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates*. Springer-Verlag, pp 187-206. Berlin.
- Berri, G.J. 2001. Hidrometeorología de las inundaciones en la Argentina y en el AMBA, Inundaciones en el Área Metropolitana de Buenos Aires. En A. Kreimer, D. Kullock, J.B. Valdés (eds.), *Disaster Risk management*. Working Paper Series N° 3: 75-90. The World Bank, Washington.
- Bertoni, J.C.; S. Ambrosino, O. Barbeito, A. Daniele, J.A. Maza, C.U. Paoli, & J.J. Serra. 2004. *Inundaciones urbanas en la Argentina*. Editorial Universitas, 253 pp. Córdoba, Argentina.
- Bouma, J. J., D. François & P. Troch. 2005. Risk assessment and water management. *Environmental Modelling & Software*, 20, 2: 141-15.
- Calenda, G., C.P. Mancini & E. Volpi. 2005. Distribution of the extreme peak floods of the Tiber River from the XV century. *Advances in Water Resources*, 28, 6: 615-625.
- Camilloni, I. A. & V.R. Barros. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. *Journal of Hydrology*, 278 (1-4): 94-106.
- Camilloni, I. 2005. El Cambio Climático en el Río de la Plata. En: V. Barros, A. Menéndez y G.Nagy (eds.), CIMA, pp. 13 – 19, Buenos Aires. Argentina
- Castañeda, M.E. & V.R. Barros. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Revista Meteorológica*, 19 (1-2): 23-32.
- Connell, R.J., C. Beffa & D.J. Painter. 1998. Comparison of observations by flood plain residents with results from a two-dimensional flood plain model: Waihao River, *New Zealand Journal of Hydrology New Zealand*, 37 (2), pp. 55-79.
- Connell, R.J., D.J. Painter & C. Beffa. 2001. Two-dimensional flood plain flow. II: Model validation *Journal of Hydrologic Engineering*, 6 (5), pp. 406-415.
- Correia F. N., M. Fordham, M. Saraiva & F. Bernardo. 1998. Flood Hazard Assessment and Management: Interface with the Public. *Water Resources Management*, 12, 3: 209-227.
- Defensa Civil de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 2001. *Determinación y estudio de zonas que sufren anegamientos por precipitaciones en la ciudad de Buenos Aires*. Defensa Civil de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Inst. de Vivienda. G.C.B.A. 2006. *Mapa de Villas y Asentamientos Precarios*. Julio 2006.
- Llasat M.C., M. Barriendos, A. Barrera & T. Rigo. 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*, 313, 1-2: 32-47.
- McMillan, H.K. & J. Brasington. 2007. Reduced complexity strategies for modelling urban floodplain inundation. *Geomorphology*, 90 (3), p.226-243.
- MacQueen, J.B. 1967. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. Proceeding of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. Berkeley, USA.
- Nabel, P. & F.X. Pereyra. 2000. *El Paisaje Natural, Bajo las Calles de Buenos Aires*, Ed. Museo Argentino de Ciencias Naturales, Buenos Aires.
- Nabel, P.E. & M. Caretti. 2004. Anegamientos en la Ciudad de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 6 (2): 209-225. Buenos Aires.
- 2004. Efecto de las Obras del Riachuelo en los Anegamientos de la Ciudad de Buenos Aires 1993-2003. *VIII Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al medio Ambiente, SINERGIA 2004*. Ciudad de Córdoba, Argentina. 18-23 de octubre de 2004. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.
- Nabel, P.E., R.M. Becerra Serial & M. Caretti. (en prensa). Riesgo de anegamiento por una tormenta extraordinaria en la Ciudad de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*.
- Parikh, P., M.A. Taylor, T. Hoagland, H. Thurston & W. Shuster. 2005. Application of market mechanisms and incentives to reduce stormwater runoff: An integrated hydrologic, economic and legal approach. *Environmental Science & Policy*, 8, 2: 133-144.
- Re, M., & A.N. Menéndez. 2003. Modelo numérico del Río de la Plata y su frente marítimo para la predicción de los efectos del cambio climático. *XIII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, ENIEF'2003*, Bahía Blanca, Argentina.
- Subunidad Provincial de Coordinación para la Emergencia de Buenos Aires (S.U.P.C.E.B.A.). 2002. Informe Diagnóstico, Plan director de ordenamiento Hidráulico y proyecto Ejecutivo del Arroyo Maldonado. *Programa de Protección contra las Inundaciones (PPI)*, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires.

Recibido: 25-IX-2007

Aceptado: 7-IV-2008