

**XXIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA MÉXICO, 15 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2021
EVENTO VIRTUAL**

**APLICACIÓN DE INDICADORES DE RIESGO EN CUENCAS PARA
EVALUAR MEDIDAS ESTRUCTURALES – APLICACIÓN EN LA CUENCA
MATANZA RIACHUELO**

Ing. Facundo Ortiz, Ing. José Luis Carner, Ing. Sergio O. Liscia

*UIDET Hidromecánica – Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata – Calle 47 N°
200 (1900) La Plata, Argentina – E-mail: lab.hidromecanica@ing.unlp.edu.ar, jlcarner@gmail.com*

RESUMEN

El análisis del riesgo de inundación no sólo implica conocer el peligro de una cuenca sino lo expuesto a ese peligro. Existen normativas que distinguen zonas de la cuenca donde los peligros se ponderan en función de la severidad del mismo (Australian Institute for Disaster Resilience, 2017). Con esta metodología de evaluación del daño, aplicada a toda la red fluvial de la cuenca Matanza – Riachuelo, se realizaron los análisis de las bondades de implementar medidas estructurales, para diferentes escenarios de tormentas, cuantificados y mapeados. Entre las medidas estructurales analizadas se consideraron la ejecución de reservorios de atenuación de crecidas, dragado y limpieza del Río Matanza (cuenca media y alta), prolongación de la canalización del Matanza y restricciones al escurrimiento sobre planicies de inundación como terraplenes laterales. Los mapeos y la información censal, permitieron cuantificar los daños y peligros a personas, en términos de áreas inundables y población afectable. Como resultado se ha obtenido una valoración de cada obra definida en términos de daños potenciales cuantificables y discretizada según probabilidad de ocurrencia de los eventos.

ABSTRACT

Flood risk analysis not only implies knowing the danger of a basin but also what is exposed to that danger. There are regulations that distinguish areas of the basin where hazards are weighted according to their severity (Australian Institute for Disaster Resilience, 2017). With this damage evaluation methodology, applied to the entire fluvial network of the Matanza - Riachuelo basin, analyzes of the benefits of implementing structural measures were carried out for different storm scenarios, quantified and mapped. The structural measures analyzed included the implementation of flood attenuation reservoirs, dredging and cleaning of the Matanza River (middle and upper basin), prolongation of the Matanza canalization and restrictions to runoff over flood plains such as lateral embankments. The mappings and census information made it possible to quantify the damages and dangers to people, in terms of flood areas and affected population. As a result, a valuation of each work has been obtained, defined in terms of quantifiable potential damages and discretized according to the probability of occurrence of the events.

PALABRAS CLAVE

Río Matanza, Riesgo Hídrico, Peligrosidad

INTRODUCCIÓN

En el Marco de un convenio entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, UNLP, y la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, ACUMAR, para realizar el “Diagnóstico Preliminar para el Plan Maestro de Gestión y Drenaje Pluvial” correspondiente a la mencionada cuenca, se realizaron estudios, modelaciones e investigaciones, tendientes a conocer la problemática del Riesgo Potencial por Inundación en toda la cuenca.

El área de análisis corresponde a toda la red fluvial, áreas que se pretende definir en extensión y ubicación; se busca caracterizar la peligrosidad física del territorio ya sea por la actual o por la potencial ocupación urbana.

Definido al riesgo de inundación como el producto de una amenaza, de origen pluvial y asociada a su probabilidad, por la vulnerabilidad del medio, el análisis del riesgo no sólo implica conocer el peligro de la cuenca sino lo expuesto a ese peligro. Existen normativas que distinguen zonas de la cuenca donde los peligros se ponderan en función de la severidad del mismo (Australian Institute for Disaster Resilience, 2017), que vinculan las profundidades o calados del agua, en cada punto de la cuenca, y su velocidad asociada. Responden el interrogante ¿para quién es riesgoso?

Se generaron mapas de profundidades y velocidades asociadas en cada punto de la cuenca, en diversos escenarios de tormentas que permitieron definir el peligro y asumir un riesgo por vulnerabilidad de la zona. Los mapeos y la información censal, permitieron cuantificar los daños y peligros a personas, en términos de áreas inundables y posible población afectada.

La cuenca del Río Matanza Riachuelo, cuya extensión es de 2338 Km², se ubica en el Noreste de la Provincia de Buenos Aires y en su extensión la cuenca abarca el territorio de 15 municipios diferentes (Figura 1), con una población que asciende a casi 5 millones de habitantes. En esta cuenca se pueden diferenciar como rasgos topográficos dominantes, tres terrazas o planicies bien definidas, que descienden hacia el Río de la Plata: 1.- Planicie o terraza alta que es la llanura que contornea la cuenca desde la cota 38 m hasta aproximadamente 20 m sobre el nivel del mar; 2.- Planicie o terraza intermedia que es la llanura que posee límites definidos entre los 20 y los 5 m sobre el nivel del mar; y por último 3.- Planicie o terraza baja, que llega hasta los 5 m sobre el nivel del mar. Las Planicies altas y medias tienen características rurales y semi-rurales, con zonas urbanas de baja incidencia, mientras que la planicie baja está fuertemente urbanizada con índices demográficos elevados.

La red fluvial se desarrolla escurriendo en dirección SO a NE, donde el Río Matanza nace a partir de la confluencia de los arroyos Rodríguez y Cebey, y luego recibe el aporte de distintos cursos de agua de los cuales se destacan el arroyo Cañuelas por margen derecha y el arroyo Morales por margen izquierda, como principales afluentes.

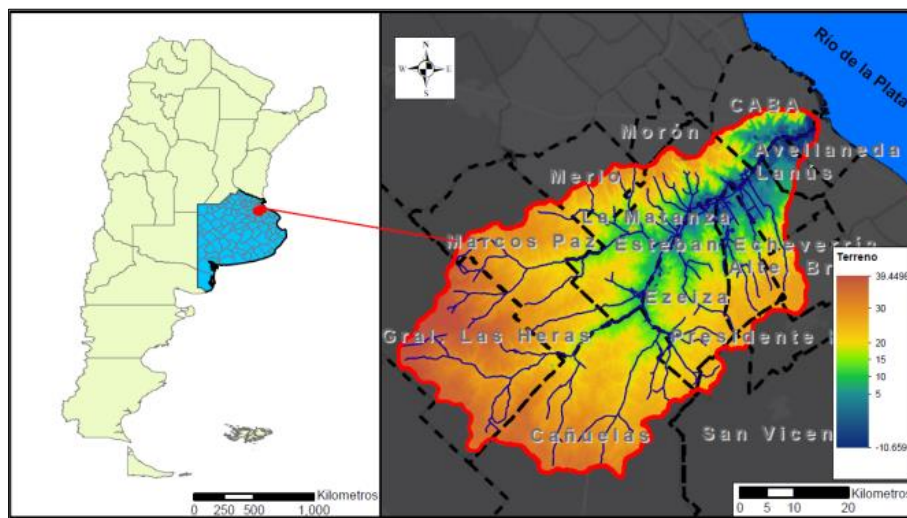


Figura 1.- Área de estudio y ubicación de la cuenca.

En su tramo final el Río Matanza atraviesa una zona originalmente de meandros, completamente urbanizada, donde se encuentra canalizado y rectificado, con un endicamiento lateral en sus márgenes, y adopta el nombre de Riachuelo.

Las inundaciones estudiadas son del tipo fluvial, producidas por desbordes de los cursos de agua a falta de capacidad. La inundación de tipo pluvial se reserva en forma específica para las zonas urbanas, (Universidad Politécnica de Valencia, 2011).

Las problemáticas sociales han afectado y lo hacen actualmente a los grandes ejidos urbanos y repercuten en un desarrollo desordenado del territorio, en particular el conurbano bonaerense, haciendo que se vuelva inviable el uso exclusivo de las medidas destinadas al reordenamiento urbano del territorio como solución a tal problemática (medidas no estructurales). Sin embargo, existen otras medidas como las alertas y cambios en el tipo de edificación que atienden a salvaguardar vidas y bienes.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo consistió en analizar la factibilidad de medidas estructurales para la mitigación del riesgo hídrico de inundaciones a partir de la utilización de indicadores de peligrosidad, complementando a los mapas de áreas inundables. Se obtuvo soporte técnico para discernir sobre la conveniencia de cada una de las alternativas de obras, al hacerse evidente las potencialidades de cada una de ellas como medidas de mitigación (medidas estructurales) y sus ventajas en las medidas de gestión del riesgo de inundaciones y de la gestión integrada de cuencas.

La hidráulica y la hidrología por sí solas no alcanzan para definir el riesgo, pero sí establecen qué peligro y riesgo predomina actualmente en la cuenca, considerando territorio, población y edificaciones. En consecuencia, se pueden determinar las bondades de aplicar medidas tanto estructurales como no estructurales, aunque las primeras complementarias de las segundas.

METODOLOGÍA

Para conocer los riesgos fue necesario implementar modelos matemáticos hidrológicos (HEC-HMS) e hidrodinámicos (HEC-RAS) (Centro Hidrológico de Ingeniería del Ejército de los EE.UU.), en particular modelos de uso libre, para representar los caudales derivados de precipitaciones y su escurrimiento por cauces incluyendo a sus planicies de inundación, determinando niveles y velocidades de agua, para cada una de las tormentas estudiadas.

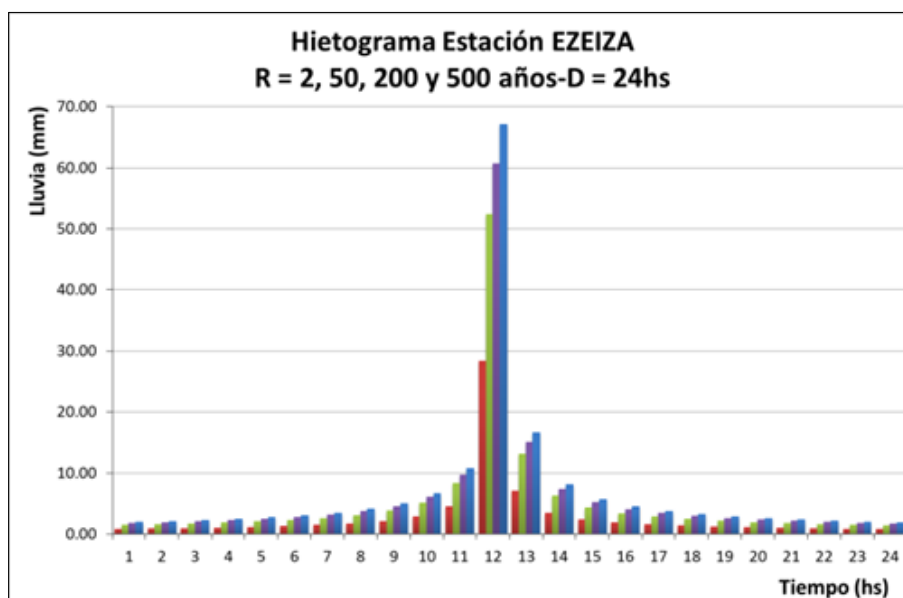


Figura 2.- Hietogramas característicos en la Estación Ezeiza –SMN- para la duración de 24 h y recurrencias de 2, 50, 200 y 500 años.

Las recurrencias pluviales utilizadas fueron las de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, para duraciones de tormentas de 24, 48, 72, 96 y 120 horas.

Estas modelaciones requirieron calibraciones y validaciones, por lo que fue necesario contrastarlos con aforos en el cauce principal y en secciones con registros de niveles. La modelación del fenómeno de crecida consistió en implementar en el modelo hidrodinámico de los cauces principales y sus planicies de inundación en régimen impermanente-unidimensional, empleando las ecuaciones de Saint Venant y considerando pérdidas de tipo friccional y aquellas derivadas de la expansión o contracción del flujo, así como de las distintas singularidades presentes. En éste se modelan los caudales de los hidrogramas resultantes de la modelación hidrológica, de todos los escenarios analizados y aplicados a cada punto de aporte en los distintos cursos de cada una de las subcuencas consideradas. Todos estos escenarios definieron, para cada una de las probabilidades asociadas, una situación crítica de altura y velocidad del agua.

La modelación matemática requirió implementar áreas de almacenamientos laterales, para representar la hidrodinámica característica de la zona, en particular en secciones donde coexisten tramos de cauce natural y rectificado, con niveles diferentes para la misma sección integrada y leyes de partición de caudales variable conforme los calados alcanzados.

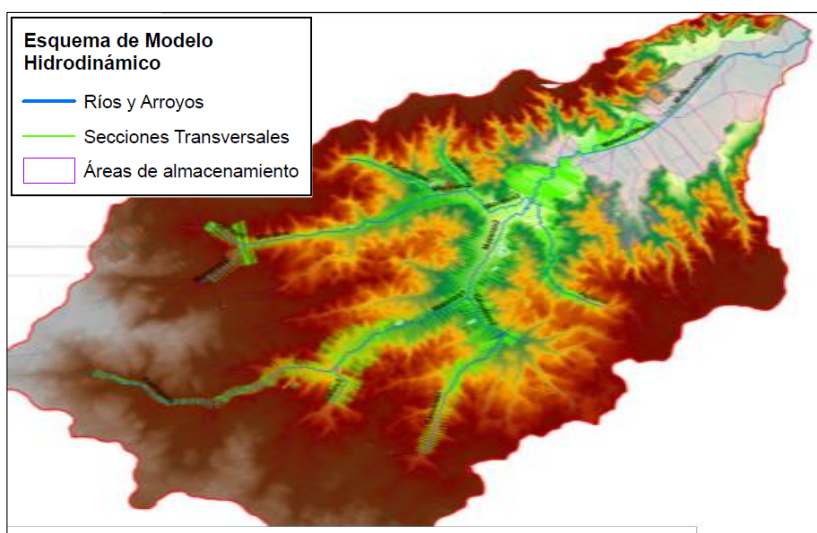


Figura 3.- Cuenca Matanza-Riachuelo. Secciones y áreas de almacenamiento lateral modeladas sobre el Modelo Digital del Terreno.

Las medidas estructurales implementadas fueron:

- Ejecución de reservorios de atenuación y/o retardo de crecidas
- Dragado y limpieza / perfilado, no rectificación, del Río Matanza.
- Restricciones al escurrimiento. (Ejecución de terraplenes en planicie de inundación)
- Escenarios combinados, distintas medidas en conjunto.

La georeferenciación con que han sido desarrollados los modelos matemáticos permite la obtención de sus resultados con esta misma propiedad. A partir de estos es posible la construcción de mapas que describen la dinámica del fenómeno que pudiese producir un daño, la crecida, a partir de su frecuencia, intensidad y distribución, es decir, describen su peligrosidad.

Con esta metodología de evaluación del daño se realizaron los análisis de las bondades de las medidas estructurales propuestas para los diferentes escenarios de tormentas, modelados y mapeados. Como resultado se ha obtenido una valoración de cada obra definida en términos de daños potenciales cuantificables y discretizada según probabilidad de ocurrencia de los eventos. Además, se ha definido un orden de prioridad entre las alternativas analizadas ya sea en forma separada o conjunta.

NORMATIVA APLICADA

Con los resultados del modelo para la situación existente en la cuenca, se calcularon la cantidad de personas afectadas según el rango etario y características físicas. Fue de aplicación la normativa australiana (Australian Institute for Disaster Resilience, 2017), donde se establecen combinaciones de calado o profundidad del agua y las velocidades asociadas para determinar las zonas de riesgo según dichos resultados.

Los grupos etarios se discretizaron como riesgoso para niños (y adultos mayores a 65 años), o riesgosos para adultos con distintos grados de severidad.

La misma normativa también tiene estudios y gráficos para vincular las alturas y velocidades del agua con el riesgo a vehículos y el riesgo a estructuras y viviendas. O se pueden presentar todos combinados. En las tablas siguientes se indica los riesgos asociados, clasificados según su Peligrosidad:

Tabla 1.- Descripción conceptual de Peligrosidad Combinada, para personas, vehículos y estructuras.

CURVAS COMBINADAS DE PELIGROSIDAD - UMBRALES DE VULNERABILIDAD	
Clasificación Riesgo / Peligro Vulnerabilidad	Descripción
H 1	Generalmente segura para vehículos, personas y construcciones
H 2	Inseguro para vehículos pequeños
H 3	Inseguro para vehículos, niños y ancianos
H 4	Inseguro para vehículos y personas
H 5	Inseguro para vehículos y personas. Todas las construcciones son vulnerables a daños estructurales. Algunas construcciones son vulnerables a rotura o falla.
H 6	Inseguro para vehículos y personas. Todos los tipos de construcciones se consideran vulnerables de rotura o falla.

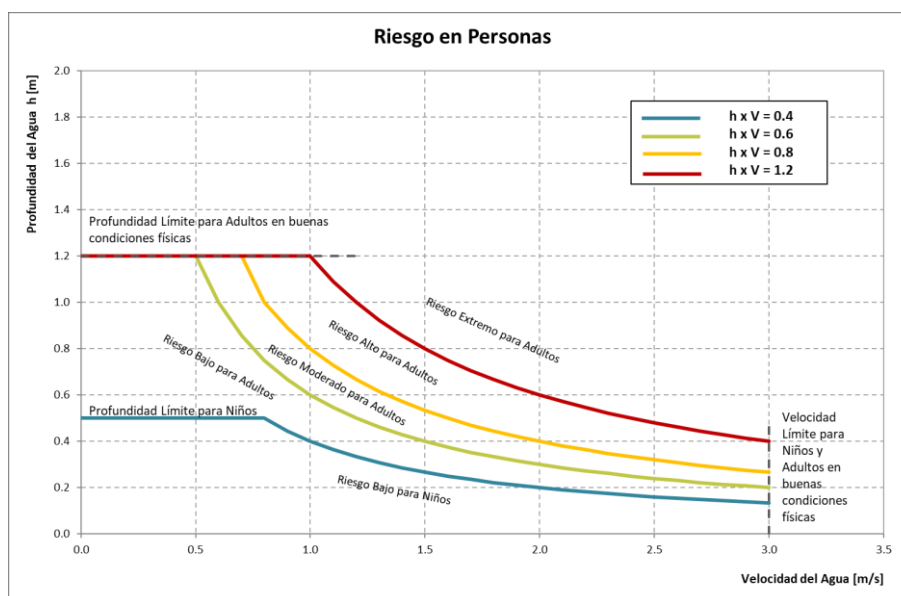


Figura 4.- Umbrales de Riesgo en Personas en función de la profundidad h y de la velocidad v en zonas anegables de la red hídrica.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Dada la influencia de la recurrencia de diseño de las medidas estructurales adoptadas y su efecto sobre la cuenca, se presentan a continuación los valores más representativos, correspondientes a las recurrencias de 2, 10 y 100 años; el resto de escenarios es consecuente con los resultados aquí presentados.

Tabla 2.- Áreas parciales con riesgo en la Situación Actual.

ÁREAS PARCIALES INUNDADAS POR ESTABILIDAD AIDR [Ha]							
SITUACIÓN ACTUAL							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Área Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	2444	1762	27	28	1293	5554
10	10	4227	2938	66	46	3096	10373
100	1	5178	3939	120	86	5773	15096

Tabla 3. Áreas parciales con riesgo en la Situación con Dragado, rectificación y conformación de nueva embocadura al Riachuelo.

ÁREAS PARCIALES INUNDADAS POR ESTABILIDAD AIDR [Ha]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Área Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	2248	1520	24	27	572	4391
10	10	3908	2547	56	58	2548	9117
100	1	5077	3731	120	113	5144	14185

Tabla 4.- Áreas parciales con riesgo en la Situación con Dragado, rectificación, conformación de nueva embocadura al Riachuelo y con terraplenes de protección.

ÁREAS PARCIALES INUNDADAS POR ESTABILIDAD AIDR [Ha]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN + TERRAPLENES DE PROTECCIÓN							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Área Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	2064	1375	24	27	613	4103
10	10	3854	2209	45	49	2477	8634
100	1	4760	3263	112	104	4831	13070

Tabla 5.- Áreas parciales con riesgo en la Situación con Dragado, rectificación, conformación de nueva embocadura al Riachuelo con terraplenes de protección y con reservorios de laminación de crecidas.

ÁREAS PARCIALES INUNDADAS POR ESTABILIDAD AIDR [Ha]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN + TERRAPLENES DE PROTECCIÓN + RESERVORIOS							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Área Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	1868	1214	21	26	491	3620
10	10	2720	1825	46	35	1475	6101
100	1	4311	2587	42	44	3193	10177

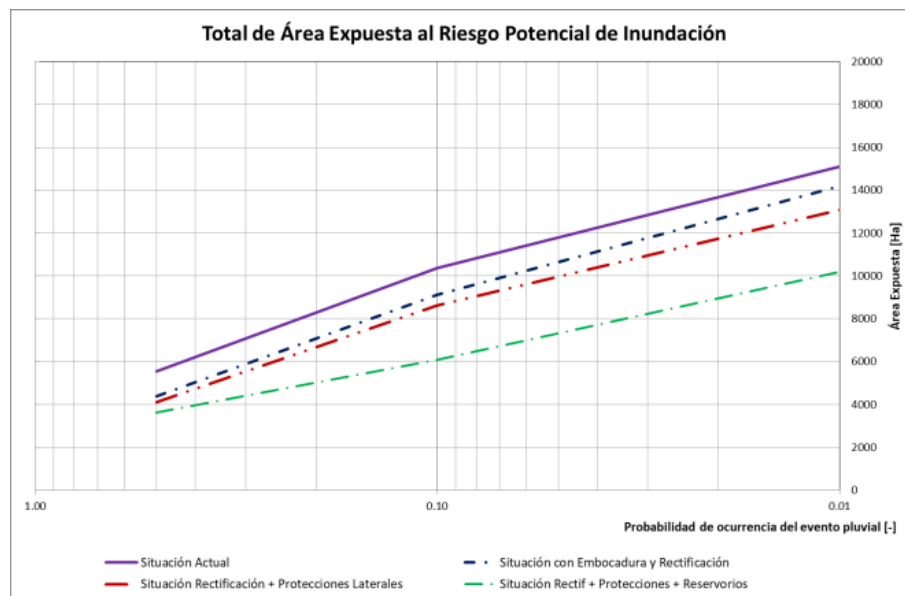


Figura 5.- Curvas de Áreas expuestas al Riesgo Potencial de Inundación en función de la probabilidad de tormentas.

Tabla 6.- Población expuesta al riesgo en la Situación Actual.

POBLACIÓN EXPUESTA A RIESGO POR ESTABILIDAD AIDR [Hab]							
SITUACIÓN ACTUAL							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Población Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	54882	13875	54	91	9967	78869
10	10	148802	48330	424	187	21247	218990
100	1	211160	118737	561	524	60029	391011

Tabla 7.- Población expuesta al riesgo en la Situación con Dragado, rectificación y conformación de una nueva embocadura al Riachuelo.

POBLACIÓN EXPUESTA A RIESGO POR ESTABILIDAD AIDR [Hab]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Población Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	50421	7931	81	87	7145	65665
10	10	125648	38487	243	247	16359	180984
100	1	220310	113316	861	895	56631	392013

Tabla 8.- Población expuesta al riesgo en la Situación con Dragado, rectificación y conformación de una nueva embocadura al Riachuelo y con terraplenes de protección.

POBLACIÓN EXPUESTA A RIESGO POR ESTABILIDAD AIDR [Hab]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN + TERRAPLENES DE PROTECCIÓN							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Población Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	44723	6473	73	72	7130	58471
10	10	112760	25787	160	180	13563	152450
100	1	191189	96638	834	848	30662	320171

Tabla 9.- Población expuesta al riesgo en la Situación con Dragado, rectificación y conformación de una nueva embocadura al Riachuelo, con terraplenes de protección y con reservorios de laminación de crecidas.

POBLACIÓN EXPUESTA A RIESGO POR ESTABILIDAD AIDR [Hab]							
SITUACIÓN DRAGADO + PROLONGACIÓN EMBOCADURA / RECTIFICACIÓN + TERRAPLENES DE PROTECCIÓN + RESERVORIOS							
Recurrencia [años]	Probabilidad [%]	Peligrosidad					Población Total
		Baja para niños	Baja para adultos	Moderada para adultos	Alta para adultos	Extrema para adultos	
2	50	40567	5712	49	94	6528	52950
10	10	84433	16882	232	151	10083	111781
100	1	176552	53861	132	171	16448	247164

Cada una de las medidas estructurales propuestas disminuyó el área total expuesta al riesgo potencial de inundación, y disminuyó en consecuencia a la Población total expuesta.

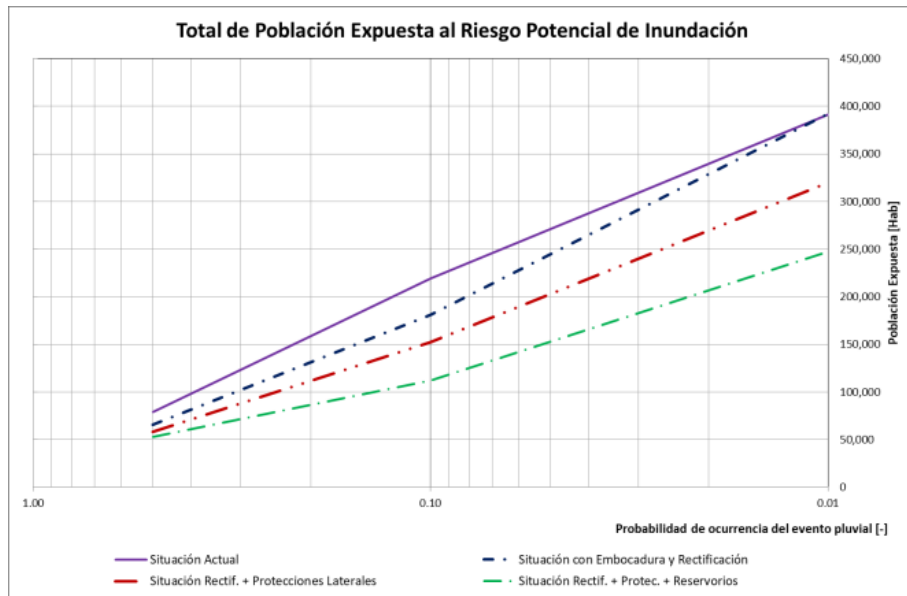


Figura 6.- Curvas de Población expuesta al Riesgo Potencial de Inundación en función de la probabilidad de tormentas.

Estas obras aportan cambios al escurrimiento sea por configurar y extender una mejor embocadura a la canalización, sea por el mejoramiento al dragar y perfilar los cauces, sea por restringir lateralmente el escurrimiento con protecciones o terraplenes o sea por la laminación de crecidas (Áreas de Retención Temporal de Excedentes Hídricos ARTEH). El proceso de disminución del riesgo estuvo vinculado a disminuir los calados del agua sobre el terreno, dado que en esta cuenca las alturas son predominantes sobre las velocidades en la concepción del Riesgo. En la Figura 7.- se indica el proceso según la situación precedente.

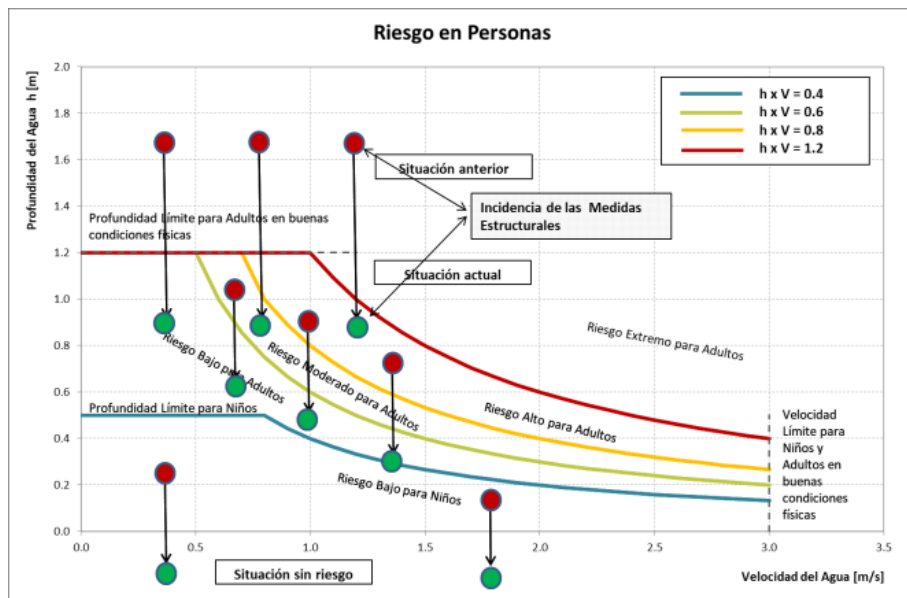


Figura 7.- Proceso de disminución del riesgo por disminución de las profundidades del agua sobre el terreno.

MAPEO DEL RIESGO PARA LOS ESCENARIOS PREVISTOS

Se presentan en las Figuras 8, 9 y 10 los escenarios para tormentas de 2, 10 y 100 años de recurrencia, tanto para la situación actual como para el total de las obras consideradas, y en la Figura 11 los mapas sobre imagen satelital para recurrencia de 100 años.

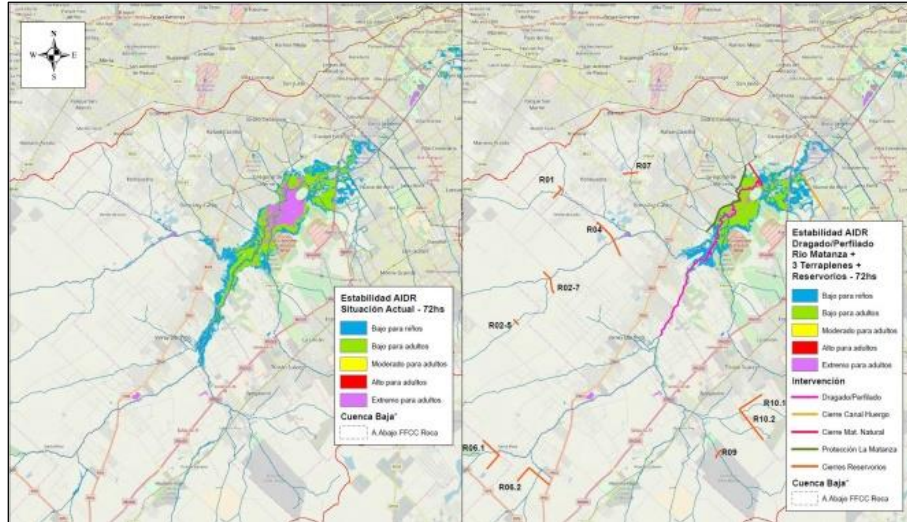


Figura 8.- Mapas de Peligrosidad - Estabilidad de las Personas (AIDR). Situación Actual (Izq.) y Con Medidas Estructurales (Der). Recurrencia 2 años. Evaluados por áreas de afectación.

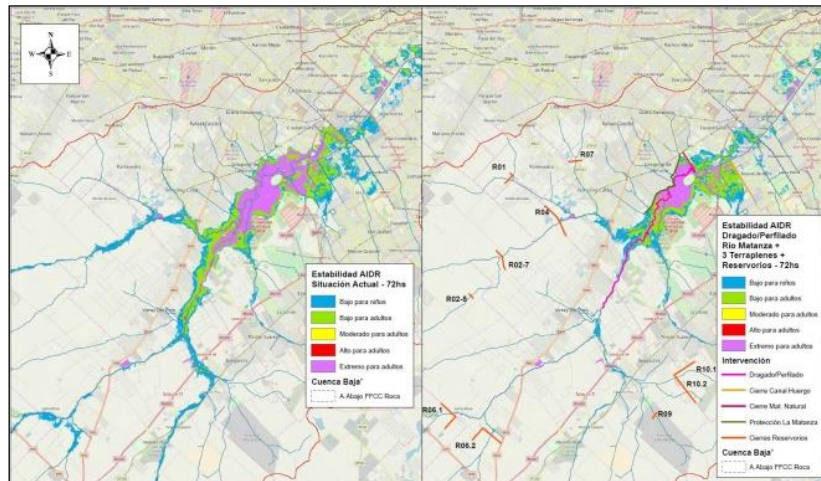


Figura 9.- Mapas de Peligrosidad - Estabilidad de las Personas (AIDR). Situación Actual (Izq.) y Con Medidas Estructurales (Der). Recurrencia 10 años. Evaluados por áreas de afectación.

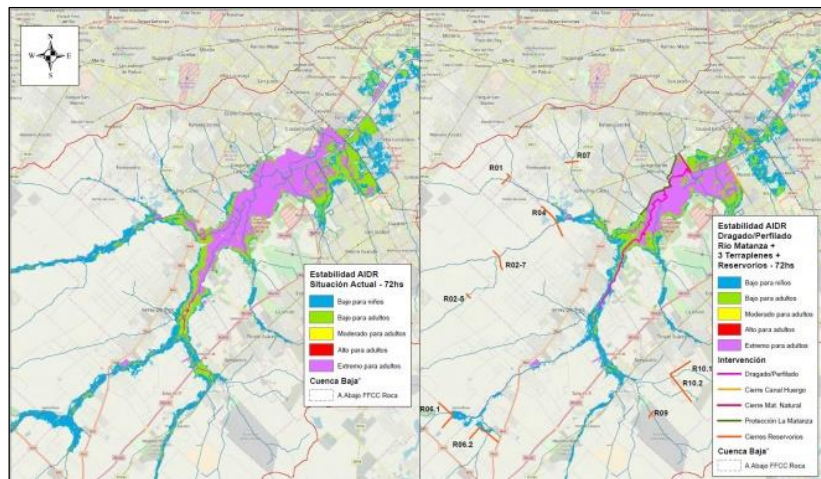


Figura 10.- Mapas de Peligrosidad - Estabilidad de las Personas (ADR). Situación Actual (Izq.) y Con Medidas Estructurales (Der). Recurrencia 100 años. Evaluados por áreas de afectación.

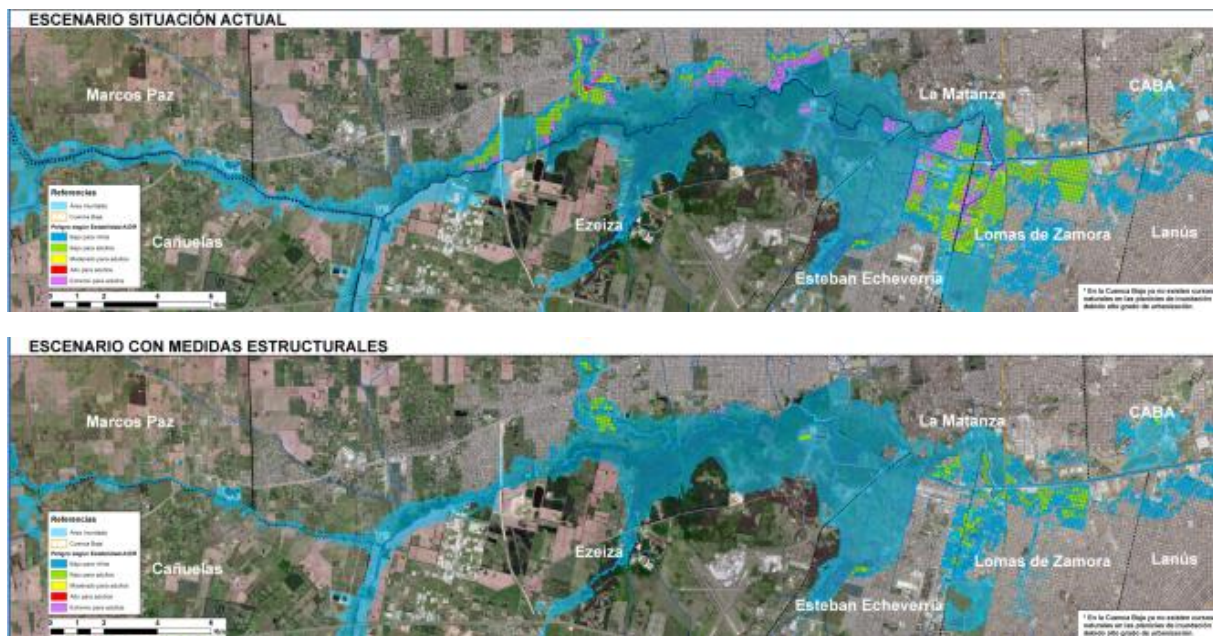


Figura 11.- Mapas de Peligrosidad – Estabilidad de Personas (ADR). Situación Actual y con aplicación de todas las medidas estructurales analizadas. Recurrencia 100 años sobre base imagen satelital. Evaluados por Población afectada, detalle de exposición.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En cuencas tan extensas, con 15 divisiones políticas y territoriales ubicadas a lo largo del cauce fluvial, con normativas de ordenamiento urbano y uso del suelo diferentes, y con densidades demográficas de las características del conurbano bonaerense (elevada demografía en condiciones de vulnerabilidad), se requiere intervenir sobre la cuenca con medidas estructurales manifestadas en obras. Las obras que ejecutarán de acuerdo a presupuestos y prioridades, pueden ser priorizadas con estos métodos de análisis.

Las prioridades deben atender no sólo a la disminución de las áreas inundables sino a disminuir el riesgo potencial que incluye a la población en dichas áreas. Cuantificarla desde los grados del riesgo asociado a las inundaciones es quizás la mayor fortaleza de gestión del riesgo. Los daños

siempre pueden ser cuantificables desde lo material pero no así desde lo social. El procedimiento de análisis del riesgo y de la peligrosidad asociada a la cuenca vinculada a la vulnerabilidad, hace que el cálculo no se realice en forma aislada de los habitantes de la misma. Pero ambas evaluaciones no son independientes: evaluar áreas peligrosas, aunque no estén ocupadas, implica evitar asentamientos en dichas zonas a futuro; evaluar población en riesgo implica conocer dónde actuar ante eventos que pongan de manifiesto a la peligrosidad.

REFERENCIAS

- Australian Institute for Disaster Resilience.** (2017). *Managing the Floodplain: A guide to Best Practice in Flood Risk Management in Australia.*
- Centro Hidrológico de Ingeniería del Ejército de los EE.UU.** (s.f.). *www.hec.usace.army.mil.*
- Carreño M. L., Cardona O. D. y Barbat A.,** (2005). Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos. Monografía CIMSE IS-52.
- Universidad Politécnica de Valencia.** (2011). *SUFRI: Strategies of Urban Flood Risk Management.*