

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**PROCESOS DE INUNDACIÓN EN
CIUDADES RIBEREÑAS**

Jorge D. Bacchiega, María C. Lopardo y Héctor D. Barrionuevo

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, CC 21, Ezeiza, Argentina

dbacchiega@ina.gov.ar, clopardo@ina.gov.ar, dbarrionuevo@ina.gov.ar

RESUMEN:

El presente trabajo tiene como objetivo exponer, en términos generales, la problemática de las ciudades ribereñas, muy comunes en América Latina en general y en la República Argentina. Se analizan las causas y consecuencias que se generan a partir de la progresiva ocupación de valles de inundación de los ríos y arroyos. Se establece una metodología para un análisis integral de la problemática, estableciéndose pautas para el desarrollo de un diagnóstico que permite la identificación de sectores de riesgo y la valoración de aspectos vinculados a distintos niveles de afectación, desde la vida humana hasta procesos de contaminación asociados. Se establecen pautas para la planificación de medidas de mitigación tanto estructurales como no estructurales, considerándose, como caso testigo, la aplicación de la metodología presentada a los procesos de inundación sufridos por la ciudad de Pergamino, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

ABSTRACT:

The main objective of this paper is to expose the problematic of the riverside cities, very common in Latin America in general and in Argentina specially. There are analyzed the causes and consequences that are generated from the progressive occupation of flood valleys of the rivers and creeks. A methodology is established for an integral analysis of the problematic, guidelines being established for the development of a diagnostic that allows the identification of risk sectors and the valuation of aspects linked to different levels of affectation, from the human life up to associate processes of pollution. Guidelines are established for the planning of measures of mitigation both types, structural and not structural, it is considered as a witness case, the application of the methodology presented to the processes of flood suffered by the city of Pergamino, Province of Buenos Aires, Argentina.

PALABRAS CLAVES: *Inundaciones urbanas, Pergamino.*

INTRODUCCIÓN

El presente artículo constituye un planteo general de la problemática de las inundaciones que afectan a las ciudades ubicadas en forma linderas a cursos de aguas, ocupando gran parte sus planicies de inundación. En la República Argentina, este tipo de casos afecta a un gran número de localidades, desde la propia Capital del país (Buenos Aires) hasta ciudades de distinto tamaño e importancia como Santa Fé, Córdoba, Resistencia, Pergamino, entre muchas otras.

En la mayor parte de los casos, la falta de planificación territorial y el progresivo uso de los valles de inundación, en particular en los períodos de aguas bajas, incrementan los riesgos sobre la población hasta puntos en los cuales la adopción de medidas estructurales de protección resulta una solución impostergable. Para abordar la temática se ha considerado un caso testigo, la ciudad de Pergamino, en la provincia de Buenos Aires, que fuera estudiada por el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua, a lo largo de un estudio de más de tres años.

La ciudad de Pergamino se encuentra ubicada al NO de la provincia de Buenos Aires, es una ciudad que alberga una población de casi 100000 habitantes. Dicha ciudad se encuentra dividida en dos partes por el arroyo Pergamino, ubicándose en la parte norte el centro comercial y cívico y en la parte sur el hospital de la ciudad. El arroyo es atravesado por una serie de puentes que comunican ambos sectores de la ciudad, produciendo a su vez restricciones al escurrimiento natural del arroyo. Por otro lado este arroyo cuenta con sendos terraplenes de defensa en ambas márgenes.

OBJETIVOS

Se consideran como *objetivos generales* del presente trabajo:

- Evaluar los principales factores que inciden en los procesos de anegamiento en ciudades linderas a cursos de agua.
- Identificar la importancia de la ejecución de estudios integrales que contemplen la acción combinada de medidas estructurales y no estructurales en la mitigación de los efectos.
- Efectuar un análisis de los trabajos desarrollados para el tratamiento, evaluación y planteo de soluciones para la ciudad de Pergamino, describiéndose la problemática específica, la metodología de análisis implementada para la elaboración de un diagnóstico integral y las acciones estructurales y no estructurales adoptadas.

PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA

Existen numerosas ciudades, en América Latina en general y en la República Argentina en particular, que nacieron a orillas de arroyos y ríos de relativa magnitud, con el antiguo concepto de establecer los poblados en proximidades del recurso hídrico. El crecimiento demográfico acompañado del desarrollo urbano, no regulado ni planificado, ha ido ocupando y modificando sustancialmente el paisaje natural de otros tiempos y ocupando valles de inundación de los ríos en períodos de aguas bajas sin considerar sus peligrosas consecuencias.

Las presiones para la ocupación del espacio urbano y la rápida expansión de los sectores más carenciados generalmente torna difícil el control de todos los aspectos asociados al crecimiento. En ese marco, la falta de planificación territorial impide un crecimiento urbanístico ordenado y da lugar a la ocurrencia de inundaciones urbanas que, normalmente, se asocian a importantes pérdidas sociales y económicas. Esta falta de planificación se vincula también, a la inexistencia de medidas de contingencia, entre las cuales, la elaboración de mapas de riesgo y el establecimiento de leyes adecuadas, entre otras, constituyen elementos esenciales para evitar el agravamiento del problema planteado.

A la problemática planteada debe agregarse el notable incremento de la impermeabilización de las zonas de aporte urbanas, debido a una mayor edificación y pavimentación de las calles. Debe considerarse además, la falta de mantenimiento y actualización de las redes de drenaje de las ciudades, los cuales mantienen capacidades de conducción limitadas, definidas a partir de condiciones de sus cuencas de aporte que no representan el marco de creciente impermeabilización que trae aparejado el crecimiento urbano.

Por otro lado, la acción antrópica sobre las áreas rurales, a través de la construcción de canales de drenaje, los cambios en el tipo y forma de la explotación agropecuaria y la disminución de la actividad ganadera en pos de una mayor actividad agrícola, han producido fuertes cambios en la respuesta hidrológica de las cuencas. Estos cambios, sumados a la existencia de un ciclo húmedo de más de 30 años de duración, han generado un incremento en las escorrentías superficiales que generan a su vez un aumento en los riesgos de inundación de las diferentes ciudades ribereñas.

En el marco planteado, las inundaciones urbanas reconocen distintos factores que contribuyen a su ocurrencia, así como al incremento de la magnitud y niveles de pérdidas ocasionadas en las mismas: *(i) Progresiva ocupación de valles aluviales de cursos naturales, (ii) Crecimiento urbanístico no planificado, con el consecuente incremento en los niveles de impermeabilización y falta de readecuación de sistemas de drenaje, y (iii) Alteraciones en las condiciones de uso del suelo en áreas rurales, situación que incrementa los niveles de escorrentía que acceden a los cursos naturales.*

En particular, podría señalarse como causas básicas de las inundaciones de origen urbano, las siguientes:

- a. falta de restricciones municipales sobre el loteo de áreas con alto riesgo de inundación;
- b. secuencias de años relativamente secos, que provocan el olvido de empresarios, autoridades y población en general;
- c. reducción de la capacidad de conducción de los cursos de agua como resultado de la ejecución de obras de infraestructura en las cuales se desestima la importancia del escurrimiento pluvial y/o fluvial;
- d. falla (o sobrepaso) de diques laterales de defensa ejecutados generalmente en las áreas naturalmente inundables que, en definitiva, transmiten una (falsa) sensación de seguridad que es asumida por la población;
- e. ocupación supuestamente temporaria por parte de la población más carenciada por tratarse de áreas pertenecientes al poder público o despreciadas por el sector privado.

- f. en algunos casos, como el que se analiza en particular en el presente trabajo, a la ocupación temporal antes señalada, se suma la ocupación permanente de sectores de mayores recursos que ocupan zonas aparentemente recuperadas de los valles aluvionales.

En todos los casos, los problemas vinculados a las inundaciones urbanas se tornan críticos cuando se combinan todos los elementos señalados, incluyendo las alteraciones en el uso del suelo en zonas rurales, dando lugar a *inundaciones ribereñas* (de origen fluvial), asociadas con *inundaciones urbanas* (de origen pluvial).

Por lo general estos dos tipos de inundaciones se diferencian también por la magnitud de la problemática que generan. Las características de las inundaciones ribereñas dependen, entre otros factores, de la fisiografía de la cuenca hídrica de aporte, de las precipitaciones ocurridas y del grado de cercanía de la ciudad con el curso de agua. Por lo general la magnitud de sus consecuencias es varias veces superior a aquellas de origen pluvial, asociadas al crecimiento urbano. En ese marco es importante establecer que la inundación de un casco urbano termina “reemplazando” un proceso natural que era la ocupación del valle de inundación cuando las crecidas sobrepasan las capacidades de cauce. Este proceso natural tiene, como consecuencia adicional, absorber parte de las crecidas en forma de almacenamiento en bajos y depresiones. La ocupación de los valles aluviales elimina este proceso natural, impidiendo, en cierta forma la atenuación de los caudales e incrementando los riesgos en sectores ubicados aguas abajo.

Frente a esta problemática, el planteo convencional de soluciones tiende a sostener, como única vía de remediación, la implementación de obras de ingeniería que, normalmente, se planifican y ejecutan durante períodos críticos o como respuesta inmediata a eventos relativamente importantes de inundaciones. Este comportamiento en el planteo de soluciones responde, en cierta forma, a presiones sociales que tienden a buscar soluciones inmediatas a los problemas planteados, estableciéndose un marco de solución que rara vez resulta sustentable y eficiente en la mitigación del fenómeno.

Es por ello que resulta imprescindible la ejecución de estudios integrales que interpreten las totalidad de las causas y factores que condicionan la existencia de inundaciones a los fines de alcanzar una planificación adecuada de medidas para controlar y manejar las crecidas. Este marco debería contemplar la adopción de *medidas estructurales y no estructurales*. Las primeras, en un marco integral de solución, se vinculan con la materialización de obras en las áreas rurales, en los cursos de agua y en los sistemas de drenaje urbano. Estas medidas tienden a modificar el sistema hídrico natural intentando adecuar su comportamiento a la realidad que impone la existencia de sectores urbanizados.

Por otra parte, las medidas no estructurales se vinculan con acciones preventivas y de contingencia, intentando lograr una adecuada convivencia de la población con las consecuencias residuales que se generan en los procesos naturales de inundación, aún cuando se desarrollen medidas de mitigación estructurales. En efecto, las obras estructurales producen una reducción del riesgo pero no su eliminación. Por ende, la convivencia de la población con los procesos de inundación resulta inexorable a partir de la ubicación relativa de los centros urbanizados en los valles aluviales de los ríos. En ese marco, la elaboración de mapas de riesgo, la zonificación de áreas inundables, la implementación de sistemas de alerta y la elaboración de planes de contingencia, resultan medidas imprescindibles a los fines de alcanzar una solución sustentable a los procesos de inundación en ciudades ribereñas.

La ciudad de Pergamino es una ciudad que se ha tomado como ejemplo de la convergencia de los factores mencionados anteriormente. La misma ha sufrido las consecuencias de los desbordes producidos por el arroyo que la atraviesa, provocando innumerables daños materiales. La ciudad de Pergamino, como se planteara, se encuentra dividida en dos por el Arroyo Pergamino, ocupando el valle de inundación del mismo. La ciudad cuenta con terraplenes de defensa longitudinales que disminuyen los riesgos de desbordes por un lado, al tiempo que incrementan la falsa sensación de seguridad de la población, con el consecuente aumento del nivel de vulnerabilidad de la misma. En la Figura 1 se puede observar la problemática mencionada, donde se pone de manifiesto la restricción producida en el valle de inundación por el crecimiento urbano desmedido y los límites impuestos por la presencia de terraplenes de defensa. Para la situación planteada, el ancho del río aguas arriba de la ciudad ocupa anchos del orden de los 600 m a 800 m, restringiéndose solo a 100 m en el sector urbano.

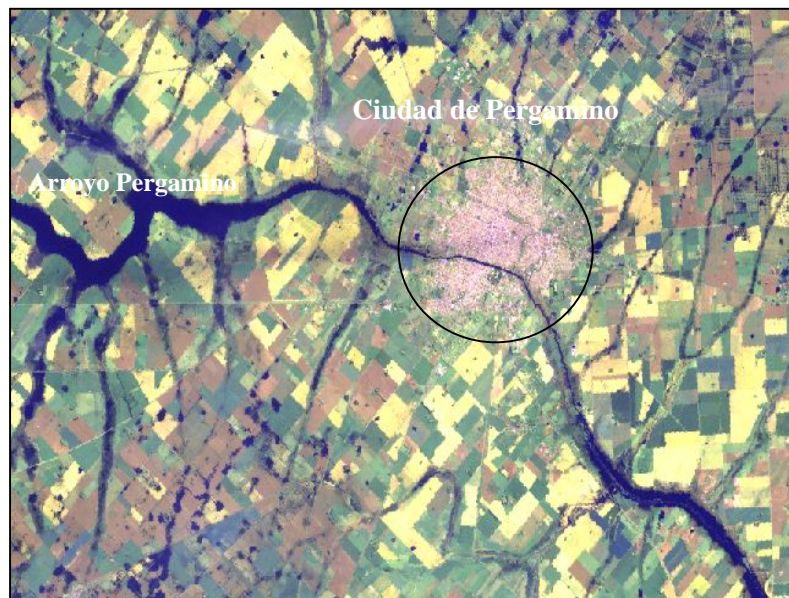


Figura 1.- Ubicación de la ciudad de Pergamino

La ciudad ha sufrido periódicamente las consecuencias de los desbordes producidos por el arroyo que la atraviesa, provocando innumerables daños materiales. A estos efectos se suma la insuficiencia en la red de drenaje pluvial, cuyos efectos más evidentes se ponen de manifiesto en períodos donde se combinan crecidas del arroyo con lluvias intensas en el casco urbano.

A los efectos de analizar los factores que influyen en el origen, desarrollo y consecuencias de la excesiva urbanización en zonas ribereñas, se describirán los aspectos metodológicos y principales resultados obtenidos en el análisis de los procesos de anegamiento de la ciudad de Pergamino. Tal como se dijo anteriormente, la misma constituye un ejemplo que presenta numerosos factores comunes con gran parte de las ciudades y localidades desarrolladas en los valles aluviales de cursos naturales.

METODOLOGÍA DE ANALISIS EMPLEADA

El planteo de solución adoptado contempló un análisis integral de los aspectos principales, urbanos y rurales, que condicionan el comportamiento hidrológico e hidráulico de los excedentes que acceden a la ciudad.

Se aplicaron modelos matemáticos, tanto hidrológicos como hidrodinámicos, a los fines de establecer un diagnóstico global de los procesos de anegamiento en la ciudad, identificándose los elementos que condicionan la aplicación de medidas estructurales para la mitigación de los efectos. La modelación hidrodinámica contemplo la simulación de la doble red de drenaje conformada por la red de calles y la red de conductos existentes, combinada con un modelo hidrodinámico del curso natural de arroyo Pergamino. Ambos modelos fueron validados mediante su comparación con niveles y alcances de la inundación relevados en distintos eventos ocurridos en la ciudad.

Las herramientas de análisis empleadas permitieron establecer un diagnóstico de las causas y consecuencias de distintos eventos asociados a crecidas del arroyo combinadas con lluvias intensas en el casco urbano de la ciudad. El diagnóstico fue complementado con la realización de encuestas y talleres temáticos con la población ribereña, situación que permitió complementar la información de campo obtenida a la vez que se cumplió uno de los objetivos principales del estudio integral que es informar a la población de la problemática que los afecta, sus causas y el compromiso que la misma debe asumir en la reducción de los niveles de vulnerabilidad.

Modelación de los sistemas de desagües urbanos

La simulación de los sistemas de drenaje de la ciudad se efectuó mediante la elaboración de un modelo matemático mediante el empleo del software MOUSE del Danish Hygraulic Institut (DHI), evaluándose el comportamiento tanto del sistema de calles como del sistema de conductos que conforman la red existente del ejido urbano. Este análisis se efectuó para eventos intensos de 2, 5 y 10 años de recurrencia, evaluándose la eficacia de los desagües existentes, los sectores con insuficiencia de drenaje, así como las zonas con incapacidad de las obras de captación superficial.

La modelación efectuada considera una doble red vinculadas entre sí: el sistema mayor, conformado por la red de calles y el sistema menor materializado por la red de conductos subterráneos. En la Figura 2 se muestra el esquema de modelación adoptado.

La simulación de los sistemas de vinculación entre calles y conductos se realizó mediante la incorporación de vertederos laterales y conductos circulares que se vincula directamente a la red de desagüe. Un esquema de dicha modelación se puede observar en la Figura 3.

La modelación se realizó con una discretización de un nodo por esquina en los sectores más vulnerables de la ciudad, considerándose un total 703 nodos de calles, 326 nodos de cámara, 249 nodos de conducto, 222 vertederos, 61 nodos de salida, 614 cuencas de aporte directo en la ciudad (con un tamaño promedio de 3 ha) y 10 cuencas de aporte rural.

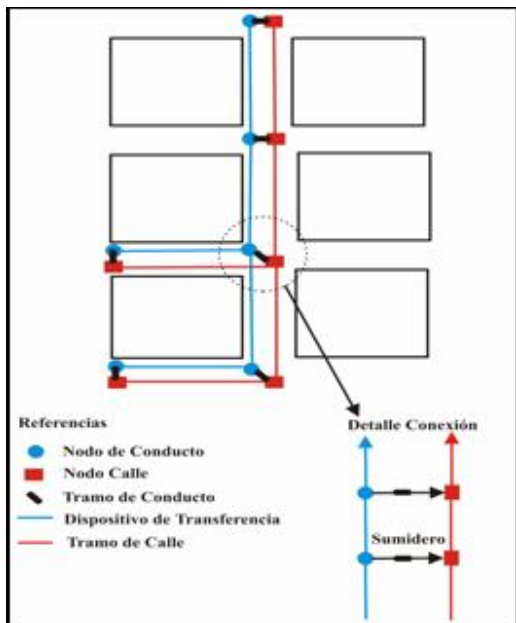


Figura 2.- Esquema de modelación de la doble red

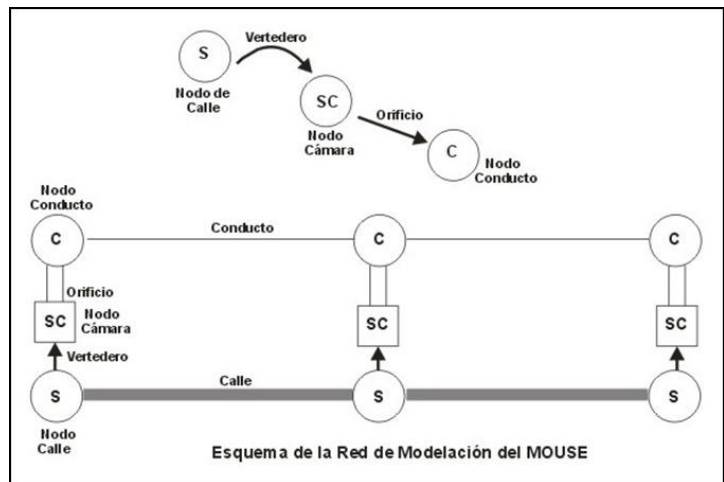


Figura 3.- Esquema de modelación de las bocas de tormenta

Mediante la aplicación del modelo de simulación elaborado, se pudieron calibrar distintos eventos ocurridos en la ciudad, encontrándose una adecuada consistencia en la representación del comportamiento hidrodinámico de ambos sistemas. En la Figura 4 se observa, a modo de ejemplo, los alcances de la inundación obtenidos en el modelo con relación a la situación registrada para un evento ocurrido en febrero de 1984.

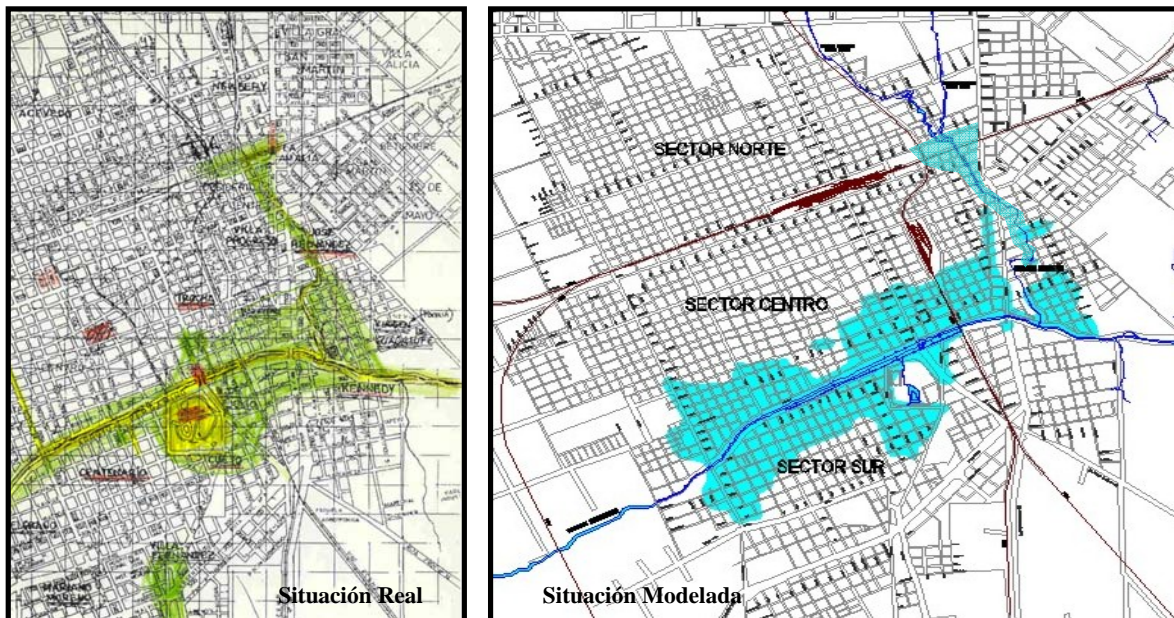


Figura 4.- Calibración del modelo hidrodinámico de los desagües urbanos

Modelación del cauce natural del arroyo

Los procesos de crecidas del arroyo Pergamino son producidos por eventos de tormenta que se desarrollan a partir de una cuenca de aporte rural de 900 Km² y una longitud del orden de los 45 Km. Para su simulación se elaboró un modelo hidrodinámico a partir de la utilización del software Mike11, utilizándose como condiciones de borde los hidrogramas generados por el modelo hidrológico ArHymo mediante el cual se simularon los aportes de las cuencas rurales. En la Figura 5 se muestra la distribución de cuencas adoptadas.

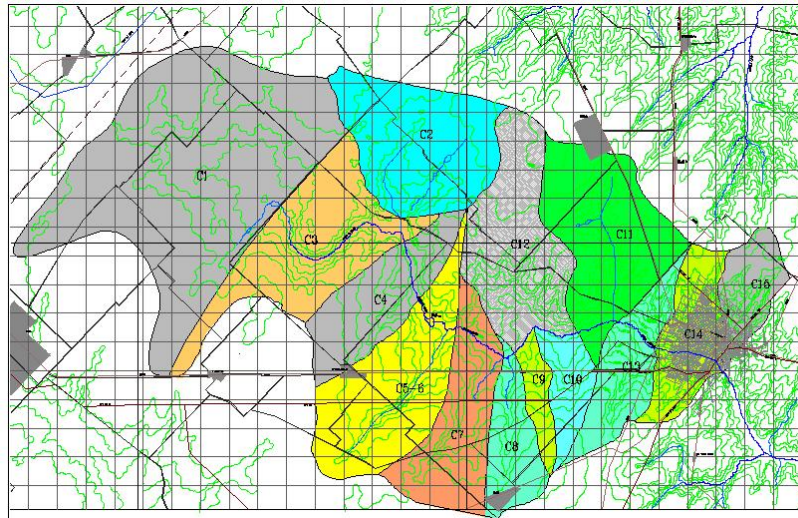


Figura 5.- Cuencas de aporte rurales

Para la modelación hidrodinámica se utilizaron secciones transversales del río desde sus orígenes, considerándose 39 secciones extendidas 18.1 km aguas arriba y secciones que abarcaron hasta 16.5 km aguas abajo, incluyéndose un sector de 4,5 Km de la zona urbana. En total se modelaron 39 Km del curso natural.

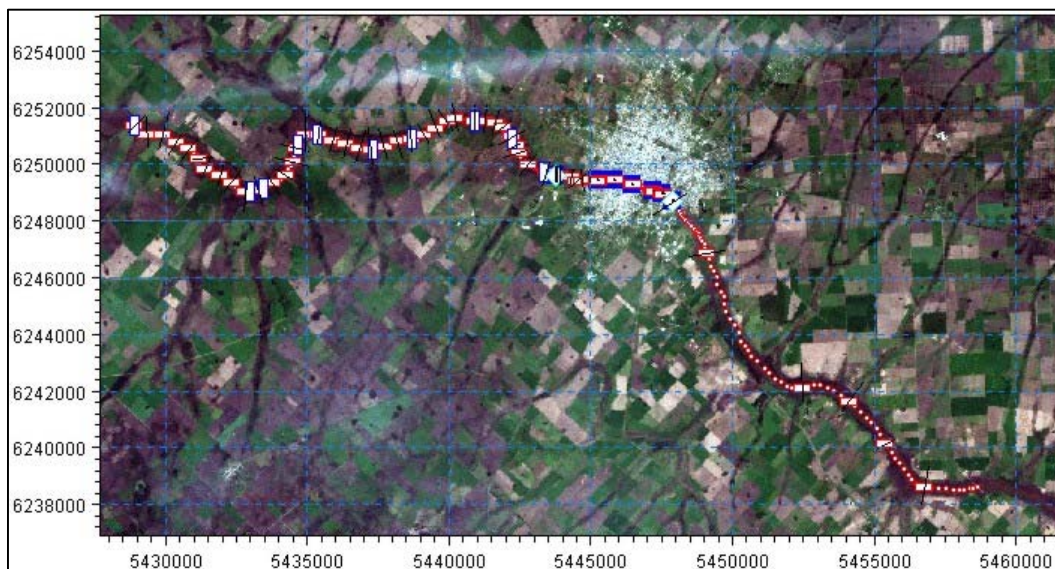


Figura 6.- Esquema de modelación del Arroyo

Parte de la validación del modelo hidrodinámico se efectuó mediante comparación con niveles medidos y utilizándose imágenes satelitales para la verificación de anchos superficiales de escurimiento. En la siguiente Figura 7 se muestran los resultados obtenidos del proceso de validación.

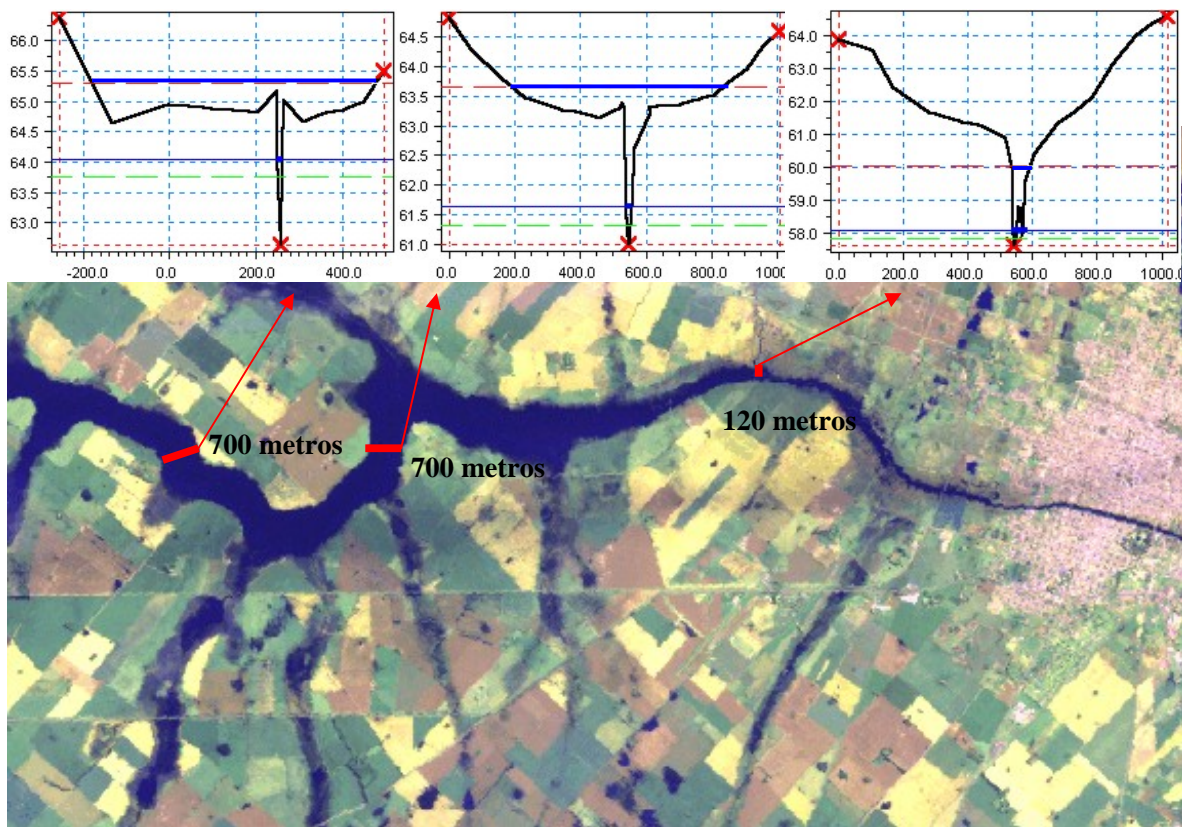


Figura 7.- Validación del modelo hidrodinámico

Diagnóstico y elaboración de mapas de riesgo

La aplicación de las herramientas de cálculo implementadas permitió elaborar un diagnóstico integral de las causas y consecuencias de los procesos de inundación en las zonas ribereñas, aledañas al cauce natural del arroyo. En ese marco, se estableció que la existencia de los terraplenes de defensa limita la capacidad de conducción natural, generándose riesgos de desbordes para eventos cercanos a los *10 años* de recurrencia. Este nivel de protección resulta insuficiente frente a las consecuencias generadas a partir del sobrepaso teniendo en cuenta la densidad de población existente a pocos metros del terraplén y con la generación de niveles de inundación superiores a los 4 m.

Para la determinación de los niveles de riesgo de la ciudad, se plantearon escenarios que ponderaban el comportamiento del sistema para eventos de lluvias intensas en la ciudad de 2, 5, 10 y 20 años de recurrencia, producidos en forma aislada o bien combinados con crecidas del arroyo de 10, 20, 50 y 100 años.

Para niveles bajos del arroyo, se determinaron los alcances de la inundación producida por la insuficiencia de los conductos de desagüe existentes, estableciéndose, además, la incapacidad o falta

del sistema de sumideros. La situación planeada para eventos de lluvia de 5 años de recurrencia en la ciudad se muestra en la siguiente Figura donde se aprecian los niveles piezométricos obtenidos en conductos existentes:

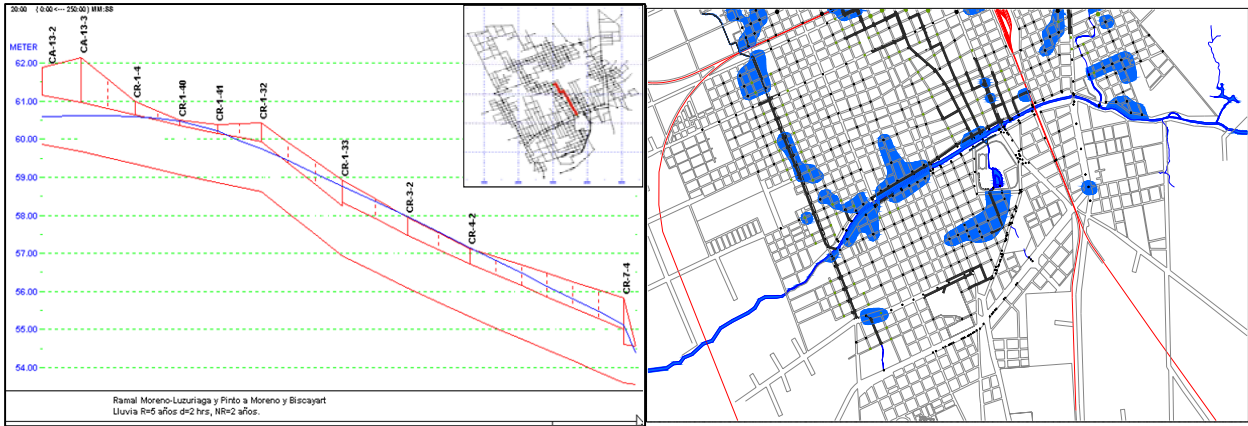


Figura 8.- Niveles de inundación y comportamiento de conductos existentes: Tr= 5 años

Las condiciones más críticas se producen para crecidas con desborde del arroyo y, principalmente, cuando se producen eventos combinados a los que se suman lluvias intensas en el casco urbano.

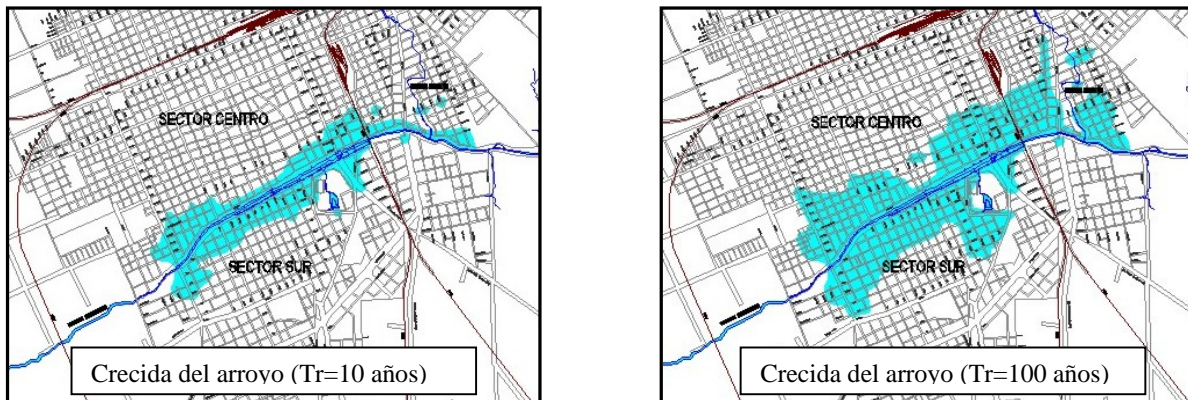


Figura 9.- Alcances de la inundación para desbordes del arroyo

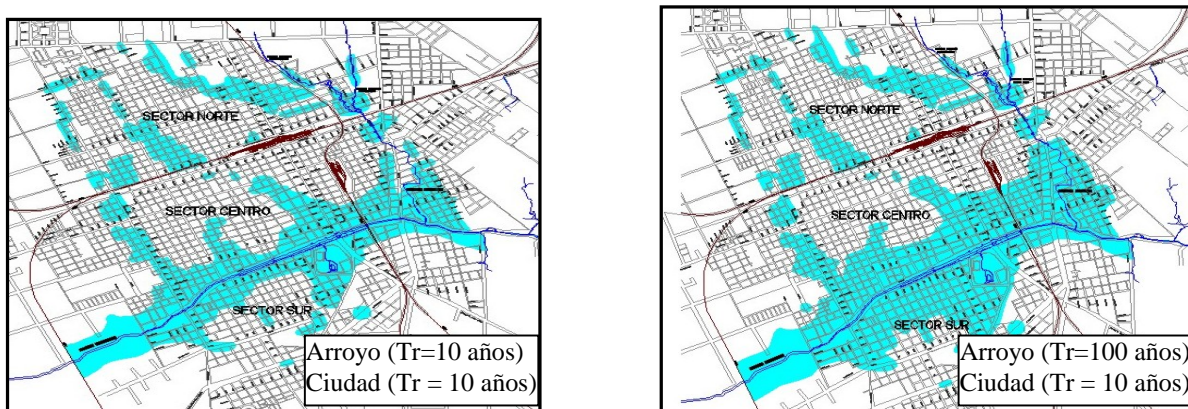


Figura 10.- Alcances de la inundación para eventos combinados

Asimismo, a los fines de establecer un diagnóstico integral y valorar no solo los riesgos de vida inducidos por la existencia de niveles elevados (superiores a los 3 m en lo casos señalados), sino también los riesgos de contaminación, se efectuó una superposición de los alcances máximos de la inundación con la red de cloacas existentes. Esta circunstancia permitió establecer los sectores de la ciudad que se encuentran en riesgo debido a la carencia de un sistema colector y a la probabilidad que dichas zonas se produzcan niveles elevados de anegamiento:

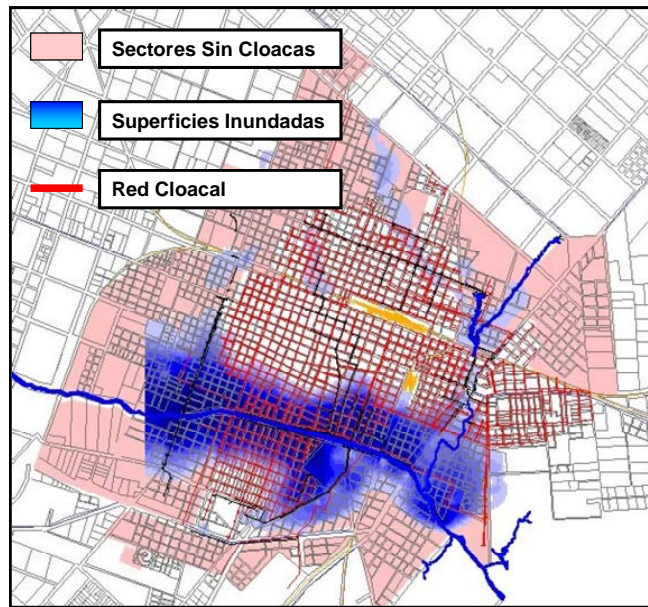
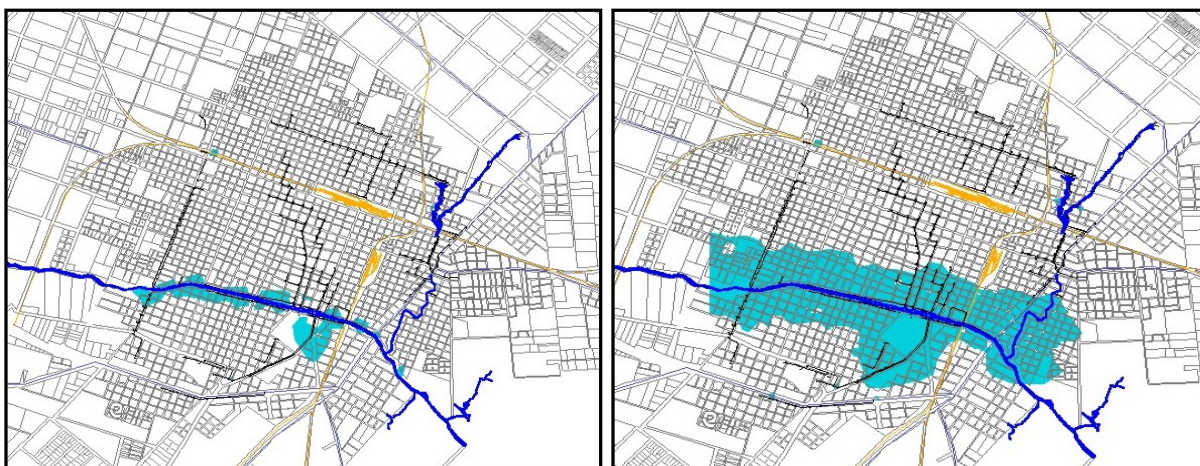


Figura 11.- Zonas de riesgo de contaminación por carencia de sistemas colectores

Se ponderaron, además, otros factores que inciden en el riesgo a la integridad de la población y al normal desenvolvimiento de la vida urbana. En tal sentido, se establecieron mapas para la identificación de los sectores más críticos considerando tirantes (h) y velocidades (v) de escurrimiento. Para ello se registraron los sectores del casco urbano para los cuales la *relación* $v.h > 0.5$.



Ciudad (Tr=10 años) – Arroyo (Tr=10 años)

Ciudad (Tr=10 años) – Arroyo (Tr=100 años)

Figura 11.- Zonas críticas de inundación ($v.h > 0.5$) colectores

Finalmente, a partir del análisis crítico de los resultados obtenidos en la etapa de diagnóstico, se elaboró un mapa de vulnerabilidad, considerándose niveles de inundación, velocidades de escurrimiento, densidad de la población, existencia de servicios básicos, pavimentación, entre otros factores preponderantes.

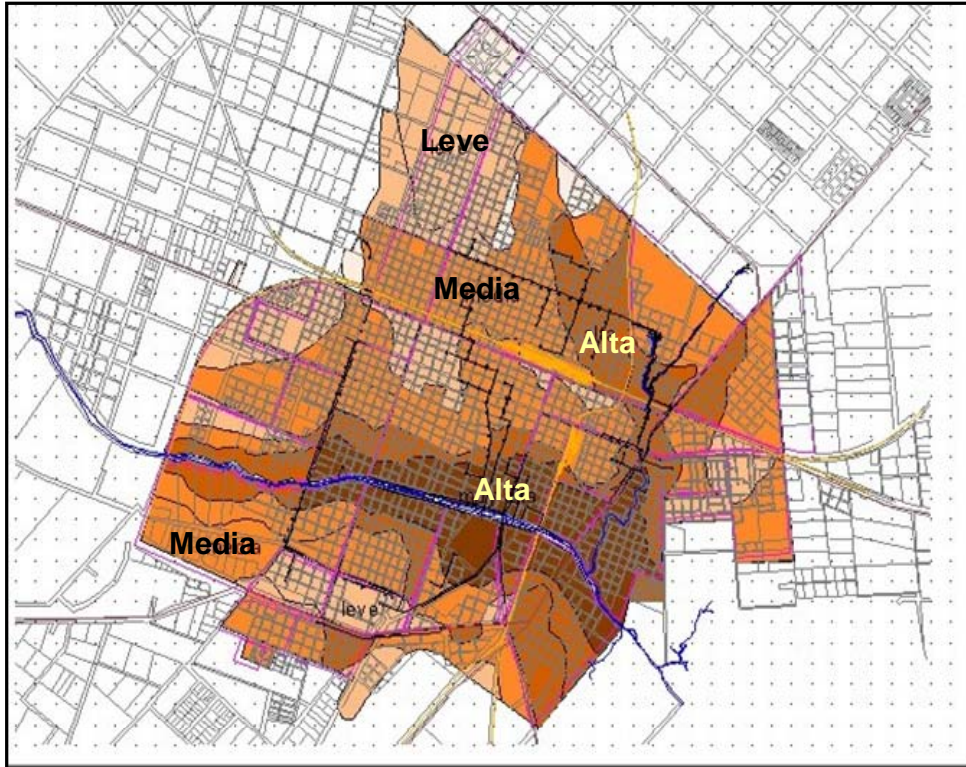


Figura 12.- Mapa de Vulnerabilidad de la Ciudad de Pergamino

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Una vez realizado el diagnóstico y conocidas las causas, magnitudes y frecuencias de las inundaciones se procedió a elaborar una plan integral de soluciones para mitigar las mismas y sus efectos. Tal como fue señalado, resulta imprescindible en estos casos, considerar una adecuada combinación de medidas estructurales y no estructurales para garantizar niveles de protección adecuados a la población.

El caso analizado resulta testigo de los efectos colaterales que conlleva la progresiva ocupación de los valles aluviales de los cursos naturales. Esta ocupación no planificada incrementa los niveles de vulnerabilidad de la población ribereña, dando como resultado situaciones dramáticas como las planteadas en el presente trabajo. Pero esta consecuencia primaria se suma a un segundo efecto dado por la necesidad de proyectar y construir grandes obras de infraestructura que, llegado a los límites en los que se encuentra la ciudad de Pergamino, no pueden ser despreciados a los fines de reducir los riesgos de la población.

El abanico de medidas estructurales contempladas abarcó, inicialmente, la simple readecuación de los conductos pluviales existentes y la implementación de estaciones de bombeo. La solución de las inundaciones producidas dentro del casco urbano por las lluvias ocurridas en el mismo se resolvió mediante ampliaciones de la red de desagües actuales. La misma contempla el aumento de

dimensiones en conductos existentes, la implementación de nuevos conductos en zonas que carecían de los mismos, el aumento y densificación de bocas de tormenta y la implementación de reservorios. Estos reservorios se ubicaron estratégicamente para evitar el sobredimensionamiento de los conductos a partir de las aguas que aportan las zonas rurales directamente a la ciudad.

Como se mencionara anteriormente, los desagües urbanos descargan directamente en el arroyo a diferentes cotas, todas poseen válvulas clapetas que no permiten el ingreso del agua del arroyo a los conductos. Ante un crecimiento del arroyo, los desagües pluviales no pueden descargar el agua que llevan con el consiguiente aumento del nivel piezométrico en los mismos y la posibilidad de que el agua no pueda ingresar a las bocas de tormenta y provocándose, además, la salida de agua por las mismas con el consecuente aumento del agua en las calles. Para la solución de dicho problema se ha planteado la implementación de estaciones de bombeo ubicadas en diferentes sectores de la ciudad que permiten que los conductos de desagüe funciones correctamente.

Las medidas preliminares planteadas, aún cuando resultan adecuadas, brindan niveles de protección relativamente bajos frente a los riesgos existentes ($Tr \leq 10$ años). Es por ello que se planteó, como solución más conveniente, la implementación de una presa de regulación aguas arriba de la ciudad, aproximadamente 3 kilómetros aguas arriba de la misma. La misma permite, mediante un cierre de materiales sueltos y un orificio de fondo de 3.6 m de ancho y 1.6 m de altura, regular crecidas de hasta 100 años de recurrencia. La altura de la presa es de 14 m y posee un vertedero de evacuación de crecidas diseñado para erogar los caudales máximos producidos por eventos de 10000 años de recurrencia. Teniendo en cuenta la función primaria de la obra, dada por la regulación de crecidas, no se consideró la existencia de un embalse permanente. No obstante, frente al riesgo de generación de crecidas importantes, el área de afectación temporal resulta importante, tal como se muestra en la siguiente figura donde se aprecia la ubicación relativa de la obra proyectada.

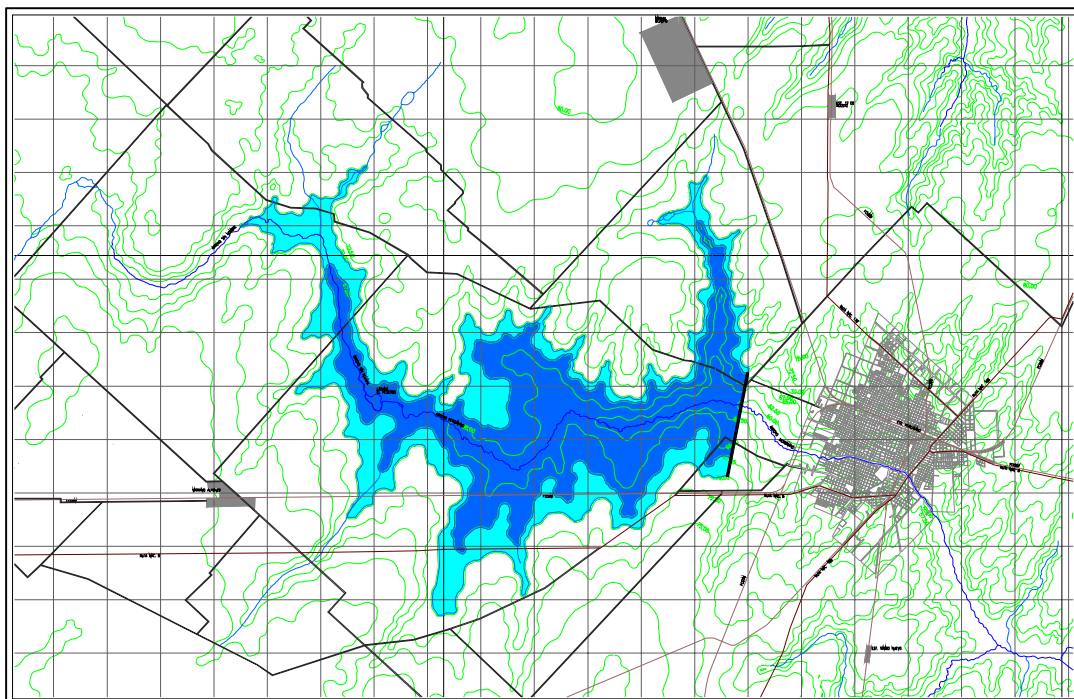


Figura 13.- Área de afectación por el embalse temporario

Este tipo de soluciones brinda niveles de seguridad importantes, aún cuando para su materialización y funcionamiento realizarse inversiones importantes y restringirse el uso de importantes sectores productivos. En el caso analizado, los embalses temporarios afectan una superficie del orden de las 5000 has las cuales deberán sacrificarse en pos de incrementar los niveles de resguardo de la población ribereña.

En la siguiente Figura 14 se muestran los efectos producidos por la materialización de la presa, lográndose disminuir los picos de los hidrogramas de crecida de aproximadamente 1200 m³/s a valores cercanos a 100 m³/s, los cuales resultan compatibles, para las condiciones de diseño adoptadas, con las capacidades actuales del curso natural en su tramo urbano.

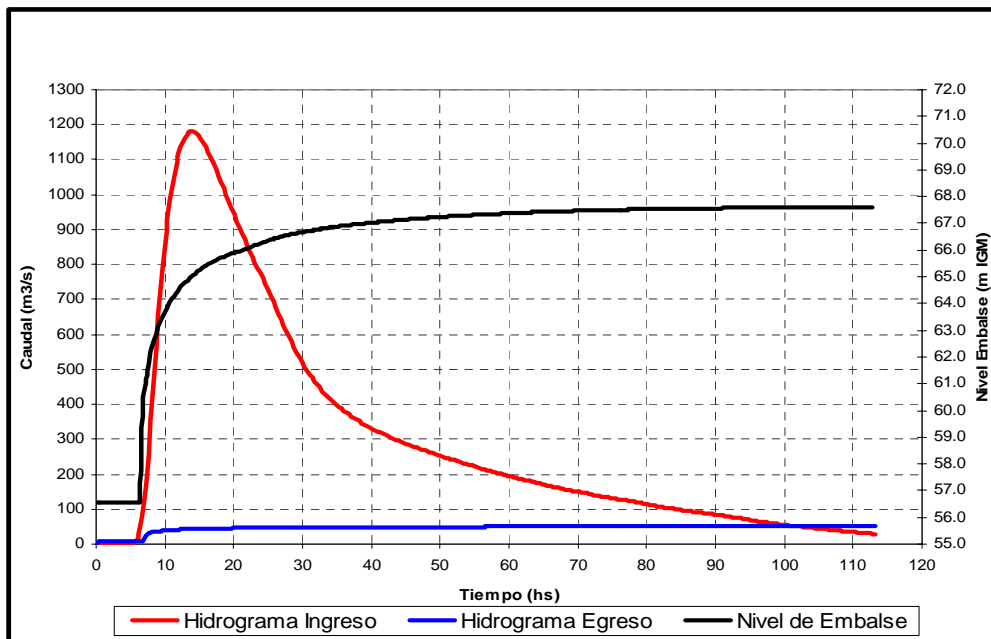


Figura 14.- Condiciones de Regulación de la Presa

Del análisis realizado debe destacarse, tal como fue señalado, que la implementación de obras de ingeniería como único elemento de mitigación de los efectos de inundaciones en ciudades ribereñas no resulta una medida sustentable si no se la acompaña con medidas del tipo no estructurales. Estas últimas deben garantizar una adecuada convivencia de la población con la existencia de la principal causa de inundación que es la ocupación del valle aluvial del río. Es por ello que, aún cuando las obras estructurales resultan imprescindibles, en el caso testigo analizado se elaboraron y desarrollaron, a partir de la metodología de trabajo empleada, pautas básicas para la materialización de un sistema de alerta temprana y la definición de un plan de contingencia que contemplara potenciales eventos que superen las condiciones de diseño de las obras estructurales.

Cómo se ha observado la ciudad es muy vulnerable a las inundaciones y cualquier medida de tipo estructural sólo genera niveles de protección adecuados para un determinado nivel de recurrencia. No obstante, deben considerarse en la elaboración de planes integrales, que este concepto no resulta adecuadamente comprendido por funcionarios y por la población en general, generándose la falsa sensación de seguridad de que la existencia de medidas estructurales, tales como una presa de regulación, reduce los riesgos a cero.

Para la materialización de las medidas no estructurales, y en particular de los planes de contingencia,

resulta importante la participación de instituciones municipales, sociedades y organismos no gubernamentales y de la población en general. En el trabajo desarrollado en la ciudad de Pergamino se percibió la necesidad de la intervención de los distintos actores que conviven con la problemática planteada, estableciéndose que los mismos deben comprender y asumir los riesgos, al tiempo de alcanzar un compromiso participativo que garantice el éxito de las soluciones planteadas.

El plan de contingencia resulta una medida central, principalmente en casos como el analizado donde los tiempos de respuestas de las cuencas resultan no tan elevados. En el caso de Pergamino, el tiempo de llegada del pico de la crecida a la ciudad no supera las 18 hs. La población debe tener conciencia, entonces, que puede inundarse si las medidas estructurales fallan o las recurrencias de las lluvias son superiores a las de diseño de las mismas. La población debe estar preparada y concientizada para que las medidas de evacuación resulten eficaces. Es por ello que la elaboración de mapas de riesgo resulta una herramienta básica e imprescindible, no sólo para la futura planificación territorial, sino también para la definición de una estrategia de evacuación.

CONCLUSIONES

Los niveles de vulnerabilidad a los que se encuentran sometidas gran parte de las poblaciones emplazadas en el entorno de ríos y arroyos deriva de una compleja combinación de factores que deben ser abordados en forma integral para alcanzar niveles de seguridad adecuados al normal desarrollo de la vida urbana.

En ese marco, la elaboración de adecuados diagnósticos mediante la utilización de herramientas de cálculo adecuadas, resulta importante a los fines de definir lineamientos para el planteo de medidas estructurales que disminuyan los niveles de riesgo. No obstante, en todos los casos, resulta de suma importancia lograr la concientización de las poblaciones urbanas ribereñas de los riesgos que poseen debido a su emplazamiento, así como de la incapacidad de las medidas estructurales para eliminar completamente los mismos.

La metodología aplicada permitió abordar en forma integral el conjunto de factores que intervienen los procesos de inundaciones que sufre la ciudad de Pergamino, estableciendo pautas para disminuir los niveles de vulnerabilidad de la población. Más allá de los aspectos particulares del análisis se establecen pautas generales para el planteo y solución de este tipo de problemáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Civil Engineers, ASCE (1992), "Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems", *ASCE Manuals and Report of Eng. Practice N° 77, WEF Manual of Practice FD-20. U.S.A*

Berga, L. "Dams and Floods". ICOLD Bulletin. Paris, 2002.

Bertoni, J.C. (1996), "Inundaciones Urbanas - La Necesidad de Conjugar Acciones Municipales, Provinciales y Nacionales". *XVI Congreso Nacional del Agua, San Martín de los Andes, Argentina.*

IARH; CAI. "Glosario sobre Desastres por Inundaciones. Documento de Trabajo para las Jornadas de Debate sobre Riesgo, Inundaciones y Catástrofes" Buenos Aires, Marzo, 2004