



IH cantabria

INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BID



**ESTUDIO INTEGRAL DE ACTUACIONES DE MITIGACIÓN DE
INUNDACIONES EN LA CUENCA DE JUAN DÍAZ**

INFORME FINAL

30 DE SEPTIEMBRE DE 2016



ÍNDICE



ÍNDICE

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	2
3. DATOS DE PARTIDA	3
4. MODELOS Y METODOLOGÍA	4
5. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INUNDACIÓN EN JUAN DÍAZ	7
6. ANÁLISIS DE SITUACION ACTUAL	12
7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	16
7.1. Introducción	16
7.2. Actuaciones en la zona media y alta de la cuenca	16
7.2.1. Definición de corredores fluviales	16
7.2.2. Presas de regulación de crecidas	22
7.3. Actuaciones en la cuenca baja	24
7.3.1. Encauzamiento del río principal	24
7.3.2. Construcción de balsas de laminación	25
7.3.3. Drenajes urbanos	29
7.3.4. Mejora de la capacidad hidráulica del puente del Corredor Sur	33
7.3.5. Otras medidas de mitigación	34
7.3.6. Efectos de las medidas de mitigación	35
8. VALORACION ECONÓMICA DE ACTUACIONES	40
9. PRIORIZACION DE ACTUACIONES	42
10. CONSIDERACIONES FINALES	43



MEMORIA



1. INTRODUCCION

La cuenca del río Juan Díaz constituye en la actualidad una de las zonas de la ciudad de Panamá que sufren mayores problemas de inundación. El desarrollo urbano de la ciudad ha dado lugar en esta cuenca a fuertes cambios en los usos del suelo y a la ocupación de las llanuras de inundación con rellenos, urbanizaciones y vías de comunicación.

Todo ello está originando un aumento en las escorrentías y una reducción drástica de la capacidad hidráulica y de laminación del río. Estos hechos, unidos a la insuficiencia de redes de drenaje en las zonas urbanas y a la influencia de las mareas en las áreas más bajas, tienen como consecuencia que los sucesos de inundación sean cada vez más frecuentes y graves.

A fines del 2014, la Ciudad de Panamá fue seleccionada para participar en la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), auspiciada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Utilizando la metodología ICES y en conjunto con representantes del Municipio de Panamá (MUPA), en enero del 2016 se publicó el Plan de Acción, un documento que sirve como mapa de ruta hacia la sostenibilidad de la ciudad. El Plan contiene intervenciones consideradas esenciales para alcanzar las metas y objetivos bajo temas priorizados, que en este caso incluyen: movilidad y transporte, desigualdad urbana, gestión de residuos sólidos, agua y vulnerabilidad ante el cambio climático.

Para apoyar a la MUPA en la segunda fase de la metodología ICES, llamada de pre-inversión, el BID tramitó la suscripción de un Convenio de Cooperación Técnica no reembolsable al Municipio de Panamá (MUPA). En esta fase, el equipo ICES del BID, apoya con la realización de estudios y proyectos ejecutivos tendientes a facilitar la puesta en marcha del Plan de Acción.

Entre los estudios que se contemplan en esta fase, se encuentra el análisis de soluciones para mitigar los problemas de inundación señalados en el Juan Díaz.

2. OBJETIVOS

En este contexto, el objetivo general de este estudio es el análisis, a nivel de prefactibilidad, de las actuaciones necesarias para la mitigación de los problemas de inundación en la cuenca baja del río Juan Díaz.

Para ello se parte de un análisis integral de la cuenca y de un planteamiento de diferentes alternativas de actuación, que concluyen en la propuesta de una solución óptima desde un punto de vista hidráulico, ambiental y socioeconómico, consensuada con los actores locales.

Esta solución será objeto, posteriormente, de un diseño y valoración a nivel de factibilidad que servirá de base para la contratación del proyecto y obra de las actuaciones en ella recogidas.

3. DATOS DE PARTIDA

En una primera fase de los trabajos se ha procedido a la recopilación de la información contenida en diversas bases de datos, estudios y proyectos, cuyo listado se detalla en el Anejo I de este documento.

Entre estos datos de partida cabe señalar el modelo digital del terreno (MDT) desarrollado por el BID dentro de la aplicación de la ICES en el área metropolitana de Panamá. Dicho modelo ha sido actualizado con datos batimétricos y topográficos de la zona baja de Juan Díaz, con lo que se ha podido alcanzar el nivel de detalle cartográfico necesario en un estudio de esta naturaleza (Anejo II).

Otra información consultada es la recogida durante la propia iniciativa ICES y, entre otros, en los siguientes documentos y planos facilitados por diferentes actores locales:

- "Diseño y construcción de las colectoras de la cuenca del río Juan Díaz y obras complementarias del Proyecto Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá", abril 2016. Ministerio de Salud de Panamá, M2 CONSORCIO, GRUPO ICEASA.
- "Plan Maestro y Estudio de Factibilidad para el Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá." INFORME Nº 5", Mayo de 2001. Ministerio de Economía y Finanzas, (MOP); Unidad técnica de políticas públicas.
- Planos de las áreas propensas a inundaciones en diferentes corregimientos del distrito de Panamá contenidas en los proyectos "Reducción de Riesgo a Inundaciones de los corregimientos de Pedregal, Mañanitas y 24 de Diciembre en el distrito de Panamá", 2007. SINAPROC.
- Mapa de drenajes San Fernando. Secciones típicas para rellenos. METROPARK. Proyecto: Rellenos de San Fernando contra la servidumbre. Red de drenajes de Metro Park.
- Mapas de ordenación urbana de la Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Panamá.

4. MODELOS Y METODOLOGÍA

Para la realización de los estudios hidrológicos e hidráulicos de alternativas se han utilizado el modelo hidrológico distribuido *HEC-HMS* y el modelo hidráulico bidimensional *InfoWorks ICM*, de acuerdo con la metodología que se resumen en la figura 1.

El modelo hidrológico agregado *HEC-HMS* ha sido desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center of the US Army Corps of Engineers*. Y constituye una herramienta muy utilizada y contrastada para el cálculo de caudales en cuencas naturales.

El modelo *InfoWorks ICM (Integrated Catchment Modeling)* ha sido desarrollado por la empresa *Innovyze*, e integra en una sola herramienta el modelado hidrológico (transferencia lluvia-caudal) e hidráulico en cuencas urbanas, siendo capaz de analizar conjuntamente la agregación de flujos en cauces naturales y en redes de drenajes complejas, que pueden estar formadas por canales abiertos y/o tuberías enterradas (Anejo IX).

Como se observa en dicha figura, el cálculo de los caudales de crecida se ha llevado a cabo de forma diferente en el caso de la inundación fluvial y en la originada por las escorrentías urbanas. Esta diferenciación viene condicionada por la necesidad de un tratamiento distinto de la transferencia lluvia-caudal en cuencas de escala tan diferente.

Así, en la cuenca fluvial se ha aplicado un método de estimación de las pérdidas del aguacero (método del número de curva) y de transformación de la lluvia neta a escorrentía (método del hidrograma unitario), más adecuado a las condiciones de cuencas hidrológicas de tamaño medio (centenares de Km²), mediante el uso de un modelo específico como el *HEC-HMS*.

En el caso de microcuencas urbanas, el planteamiento ha sido utilizar un método de pérdida constante para la estimación de la lluvia neta sobre una malla de cálculo mucho más detallada. Para ello se ha utilizado el modelo hidrológico distribuido de que dispone el programa *InfoWorks ICM*. Ello permite precisar mucho mejor los caudales en cuencas de pocos km² de extensión.

Pese a esa diferenciación desde el punto de vista hidrológico, el cálculo hidráulico de agregación de ambos flujos y la definición de las zonas inundables se ha realizado de forma conjunta mediante el modelo hidráulico bidimensional *InfoWorks ICM*.

En los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados se ha tenido en cuenta el efecto del incremento del suelo urbano y el cambio climático sobre su respuesta hidrológica de la cuenca.

Sobre este último punto, se ha considera que no va a producirse reducción significativa de las precipitaciones máximas por efecto del cambio climático y, por tanto, se adopta del lado de la seguridad los datos de lluvia actuales para el cálculo de los caudales de crecida de diseño.

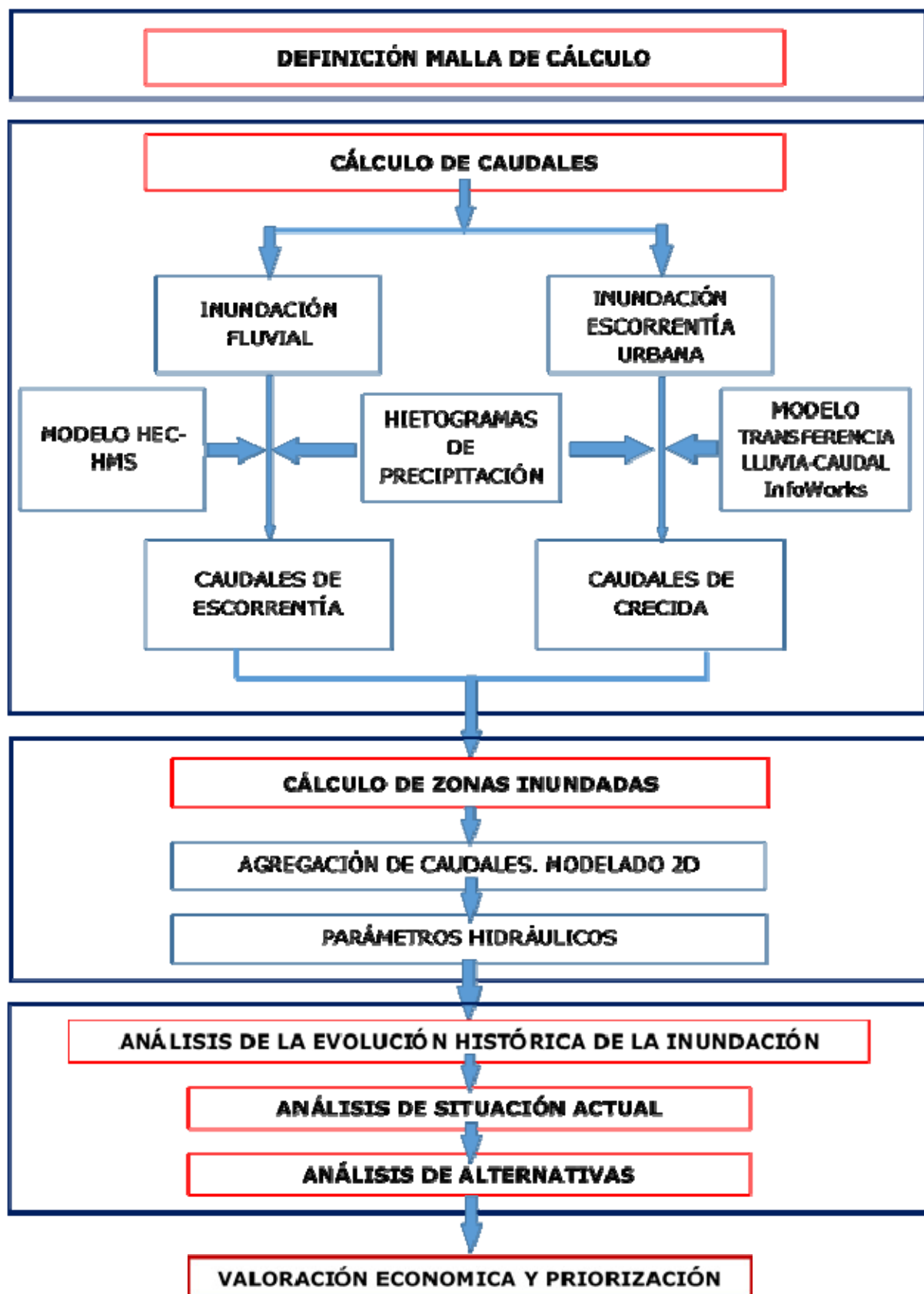


Figura 1. Esquema metodológico.

Los criterios utilizados para el dimensionamiento hidráulico de las alternativas, de acuerdo con la metodología anterior, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Para el planteamiento de alternativas en la cuenca alta se han considerado caudales de diseño de periodo de retorno de 500 años, al tratarse de una zona de menor presión urbana.
- Para las actuaciones en la zona baja del río se han considerado caudales de periodo de retorno de 100 años (caudal máximo de unos 850 m³/s, según Anejo VI) y un nivel de marea correspondiente a T=5 años (cota máxima +2.94 m sobre el NMM, según Anejo IV). Esta combinación corresponde a un suceso de periodo de retorno conjunto de ambos fenómenos de T=500 años (Anejo VIII). La elección de este periodo de retorno en caudales (T=100 años) permite asegurar un elevado grado de protección de la zona urbana frente a las inundaciones, y posibilita el diseño de infraestructuras que puedan encajar en un área muy consolidada en la que, en muchos casos, las edificaciones ocupan buena parte de lo que era la zona inundable del río.
- La red de canales de drenaje general, correspondiente a la zona baja de Ciudad Radial y Metro Park, se diseña con un periodo de retorno de T=100 años, dado que corresponde a una zona de alto riesgo de inundación.
- Las redes de drenaje local correspondientes a la zona de Ciudad Radial se diseñan para un periodo de retorno de 10 años, habitual en este tipo de infraestructuras.
- No se ha considerado el incremento del nivel del mar por efecto de cambio climático que pueda producirse (estimado en unos 23 cm hasta 2050), en la idea de que, de producirse, éste será absorbido por el resguardo de los diques y muros de encauzamiento previstos, que se establece en un valor mínimo de 30 cm (Anejo V).
- Los estudios hidráulicos se han llevado a cabo mediante el modelo bidimensional *InfoWorks ICM*, que permite el análisis conjunto de la escorrentía urbana y del flujo a través de redes de drenaje, canales y cauces fluviales. El modelo se ha ejecutado sobre una malla de dos millones de elementos obtenida a partir del MDT del terreno disponible (Anejo X).
- Las pérdidas de energía por rozamiento se han calculado mediante la aplicación de la fórmula de *Manning*, adoptándose diferentes valores del coeficiente “n” en función de la naturaleza del terreno. Así, en el cauce principal del río se ha utilizado un valor de $n=0.033$, obtenido del análisis de su granulometría, vegetación y sinuosidad. Este valor se ha utilizado también en los canales de drenaje a cielo abierto, mientras que en las tuberías de drenaje subterráneo se ha adoptado un valor conservador de $n=0.012$. Por último, para el cálculo de la escorrentía urbana se han adoptado valores de “n” entre 0.035 y 0.065 en función del tipo y uso del suelo.

5. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INUNDACIÓN EN JUAN DÍAZ

El río Juan Díaz presenta dos zonas claramente diferenciadas a lo largo de su traza: una zona alta con varios afluentes y pendientes importantes y una baja, aguas abajo de la Av. Domingo Díaz, donde la pendiente se reduce drásticamente. En esta zona la influencia mareal se hace patente, habiéndose comprobado que las mareas más altas son capaces de alcanzar la urbanización Balmoral, situada aguas arriba de dicha avenida.

En las fotografías históricas facilitadas por el MUPA (figura 2), se aprecia una llanura inundable muy ancha y un cauce meandriforme y sinuoso, típico de zonas de reducida pendiente.



Figura 2. Fotografía gentileza de la MUPA.

Técnicos del Ministerio de Obras Públicas confirman que estas zonas bajas se convertían, históricamente, en auténticas lagunas en periodos de lluvia intensa, contribuyendo así a la atenuación de los picos de la crecida y, por tanto, a reducir la afección sobre las zonas urbanas.

Similar situación de desbordamiento y desahogo del río se producía aguas arriba, en San Fernando, Santa Inés, El Pailón o San Antonio, donde la existencia de llanuras de inundación reducía el impacto de las crecidas naturales, además de aminorar las velocidades del flujo y retardar el avance de la inundación hacia las zonas bajas.

Los primeros problemas de origen antrópico que contribuyen al empeoramiento de esta situación coinciden con la construcción de nuevos viales, puentes y pasos sobre el río principal y sus afluentes, y con el comienzo de los rellenos para el desarrollo de nuevas zonas urbanas.

Un hito en dicho proceso de urbanización fue la construcción del Corredor Sur y los rellenos del Centro Comercial Los Pueblos y su entorno que, por un lado, contribuyeron a un cierto embalsamiento del río aguas arriba y, por otro, a la ocupación de amplias zonas antes inundables. Además, los rellenos y el consecuente encaje del Juan Díaz en un canal profundo en la zona de los centros comerciales han contribuido a acelerar los flujos hacia aguas abajo, aumentando los picos de crecida y reduciendo el tiempo de concentración de la cuenca.

Este efecto, típico en este tipo de actuaciones, se ha visto agravado a su vez por la ocupación urbana del territorio, la deforestación de la cuenca y el aumento de la erosión, que incide en el mismo sentido de reducir la capacidad de evacuación natural del río.

Por otro lado, actuaciones hidráulicas de drenaje, como las acometidas en Ciudad Radial y Metro Park, han propiciado la entrada de agua en mareas altas, lo que en algunos casos origina situaciones de inundación peores de las que pretende mitigar.

Todos los actores consultados coinciden en destacar el aumento del nivel y la frecuencia de la inundación de la zona baja de Juan Díaz, aunque no hay un acuerdo sobre la causa principal de este hecho.

Para aclarar este aspecto, se ha llevado a cabo el análisis hidráulico de los niveles de inundación en cuatro situaciones coincidentes con otros tantos estadios de evolución urbana de la cuenca (figura 3):

1. Una situación inicial (Situación 1) de un río mínimamente intervenido, correspondiente a la situación mostrada en la figura 2.
2. Una Situación 2 que coincide con la entrada en funcionamiento del Corredor Sur.
3. Una Situación 3 en que, a la anterior, se suman los rellenos de Los Pueblos.
4. Y una Situación 4, correspondiente a la situación actual, en la que a los anteriores se suma el relleno de Metro Park y la entrada en funcionamiento de la canal existente entre esta urbanización y la zona sur de Ciudad Radial.

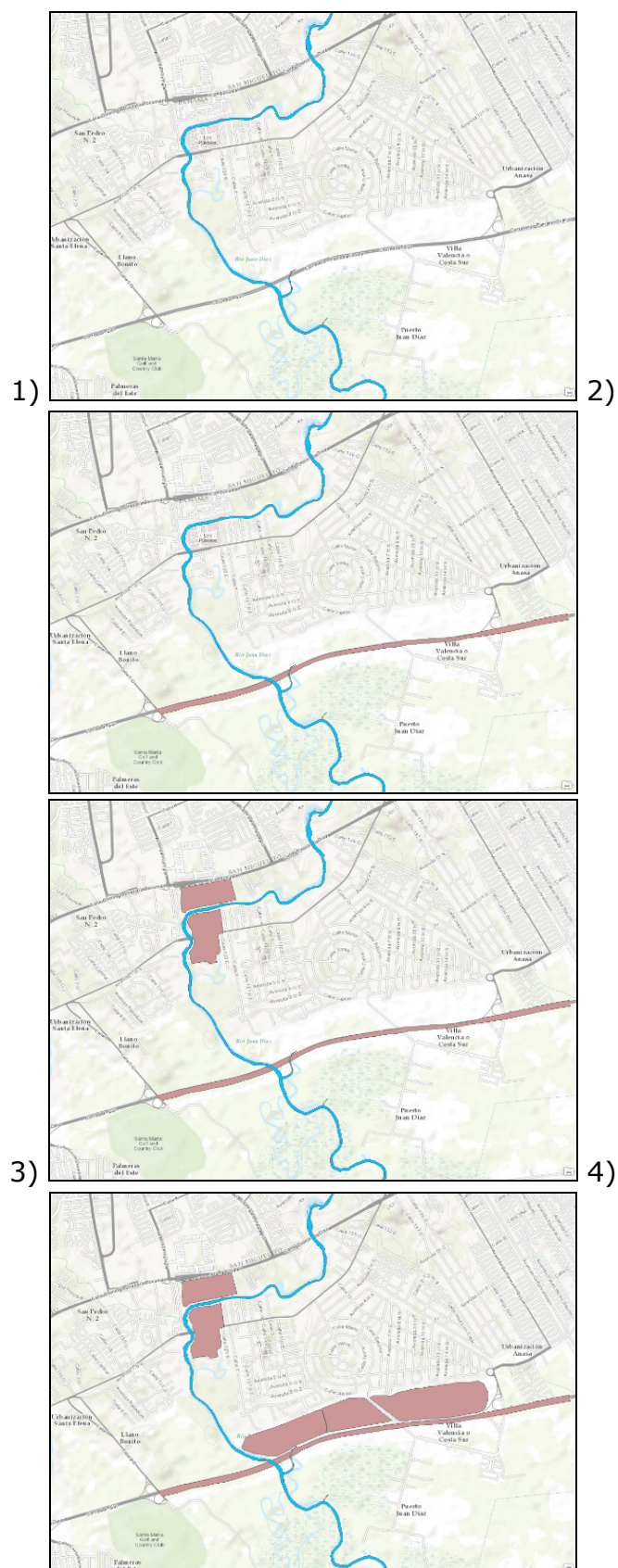


Figura 3. Diferentes escenarios de cálculo (Situación 1-4).

De los resultados del modelado hidráulico de estas situaciones se pueden establecer las siguientes conclusiones (ver Anejo III):

- En la Situación 1 los niveles del agua alcanzan cotas que afectan a las viviendas de las zonas más bajas de Ciudad Radial en crecidas de periodo de retorno mayores a 20 años. Reflejo de esta situación es la existencia en muchas viviendas de muros perimetrales bajos construidos, precisamente, para impedir la entrada del agua en su interior (figura 4).



Figura 4. Ejemplo de actuación de protección (porche escalonado) frente a pequeñas inundaciones en Ciudad Radial. En la imagen se aprecia el nivel alcanzado por las aguas en las inundaciones de septiembre de 2015.

- Los niveles de inundación han ido aumentando en la zona de estudio a medida que se han ido produciendo las distintas actuaciones de desarrollo urbano.
- La construcción del Corredor Sur supone el primer aumento significativo en dichos niveles. El efecto de embalsamiento que originó el terraplen de este vial dio lugar a un incremento de las cotas de inundación en esa zona entre unos 22 cm en la crecida de T=10 años y de 37 cm en la de 500.
- Los rellenos en la zona del centro comercial Los Pueblos originaron un pequeño incremento en los caudales máximos aguas abajo, y el consecuente incremento de calados (entre 3 y 4 cm, según el periodo de retorno de la inundación).

- El relleno de Metro Park supuso un nuevo aumento en los niveles de inundación de entre 27 y 30 cm.
- En conjunto, entre la Situación 1 y la actualidad el incremento de niveles en la zona de estudio alcanzan los 31 cm para T=10 años, 32 cm (T=20 años), 56 cm (T=100) y 70 cm (T=500).
- Si se comparan los niveles de la Situación 1 y 4 se comprueba, además, que la frecuencia de la inundación también ha aumentado. Los niveles que en la Situación 1 se alcanzaban con inundaciones de periodos de retorno de 20 años, hoy se superan con las de T=10 años.

En la tabla 1 se resumen la secuencia de incrementos de niveles que se han producido en las diferentes actuaciones realizadas en la zona baja, respecto a la situación inicial considerada.

Actuación	Incremento de niveles (cm)			
	T= 10 años	T= 20 años	T= 100 años	T= 500 años
Construcción corredor Sur	+22	+30	+32	+37
Relleno CC Los Pueblos	+3	+4	+4	+2
Relleno Metro Park	+27	+27	+29	+30
TOTAL	+55	+61	+65	+69

Tabla 1. Secuencia de incremento de niveles entre la situación1 y 4.

6. ANÁLISIS DE SITUACION ACTUAL

Como punto de partida para el planteamiento de alternativas, se ha realizado un análisis de la situación actual de inundabilidad de la cuenca ante diferentes eventos de tormenta, cuyos resultados se detallan en el Anejo IX.

Del análisis de la importancia relativa de las inundaciones debidas a la marea, a la precipitación local y a las crecidas fluviales, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Las mareas máximas (Anejo V) alcanzan la Av. Domingo Díaz, a través del río, y la zona baja de Ciudad Radial a través de los canales de Metro Park (figura 5).
- La marea afecta a la capacidad de desagüe del propio río Juan Díaz, pero también de los sistemas de drenaje de la zona baja de la cuenca, en especial de los de Metro Park y Ciudad Radial.



Figura 5. Inundación costera producida por una cota del nivel del mar de +3.3 m.

- Para crecidas de $T=100$ años de periodo de retorno se produce el desbordamiento del río en diferentes puntos (figuras 6 y 7).
- La inundación alcanza niveles importantes en la zona de Los Pueblos y El Pailón, creando una lámina de agua que discurre por la zona urbana, originando problemas en las zonas bajas. La capacidad del enrocamiento existente en la margen izquierda es insuficiente para canalizar los caudales máximos considerados (Figura 6).
- En la parte baja de la zona de estudio (véase figura 7), el río desborda tanto hacia el oeste (zona del campo de Golf de Santa María), como hacia el este (barrio de Santa Inés y canal contiguo a Metro Park).
- Dicho canal desborda debido a los múltiples aportes que recibe, generando graves inundaciones en la zona baja de Ciudad Radial (en situaciones extremas los caudales máximos en el canal pueden superar los $50 \text{ m}^3/\text{s}$).
- La conexión del canal de Metro Park, de gran capacidad hidráulica, y el río ha propiciado el remonte a contrapendiente de las crecidas que inunda las zonas más bajas de la cuenca. Además, la inundación así producida no puede evacuarse hasta que pasa la crecida, porque no existen elementos de paso de suficiente capacidad, ni a través del relleno mencionado, ni por debajo del Corredor Sur.

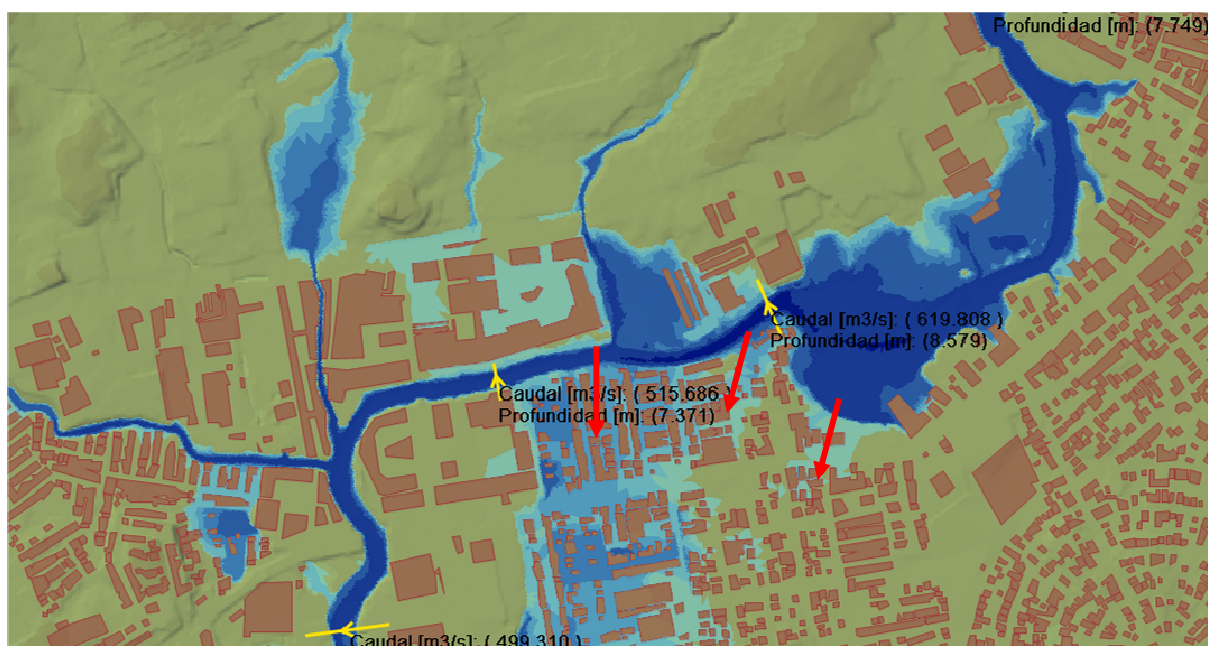


Figura 6. Inundaciones producidas durante un evento de periodo de retorno de 100 años. Desbordamientos señalados con flechas rojas.

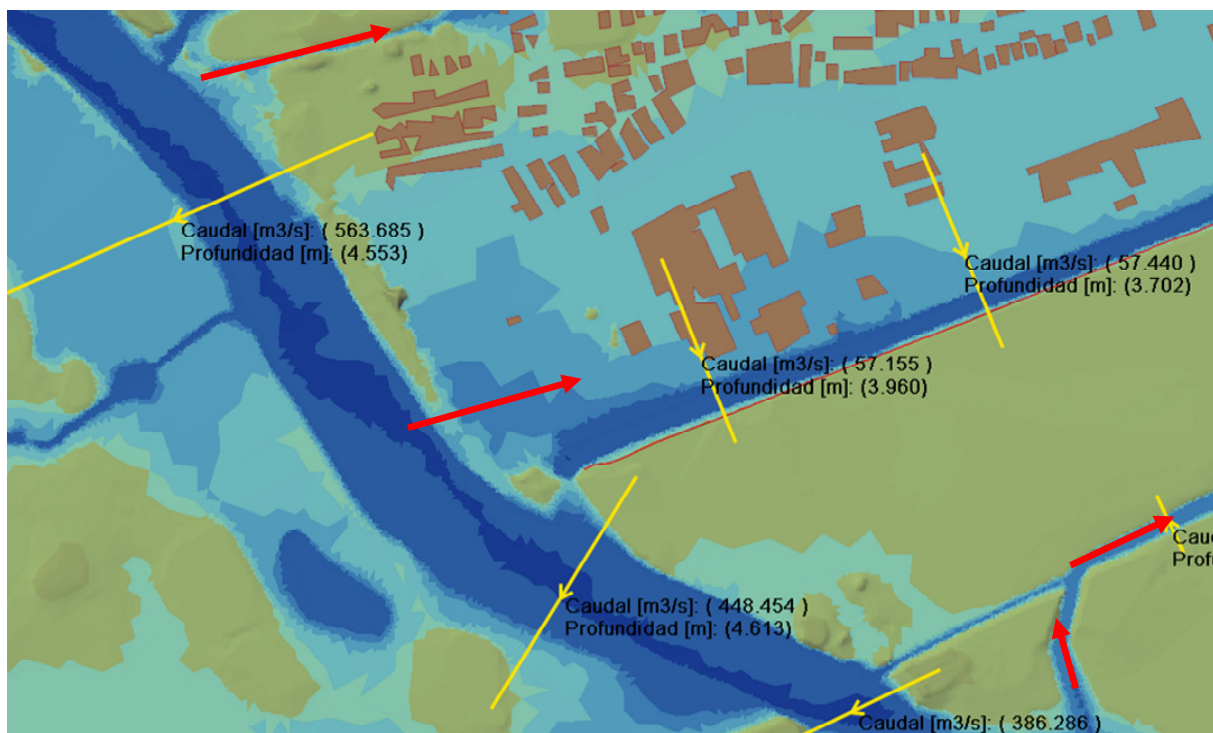


Figura 7. Inundaciones producidas durante un evento de periodo de retorno de 100 años. Las flechas rojas indican los principales flujos que contribuyen a la inundación en el canal.

- La inundación por escorrentía urbana afecta a zonas concretas de Ciudad Radial y de Santa Inés (figura 8), pero no son la causa principal de las graves inundaciones que se han producido en los últimos años. En este caso, los caudales máximos alcanzan valores mucho más reducidos que los anteriores.



Figura 8. Inundaciones en la zona urbana de Ciudad Radial para un evento de precipitación local de 100 años de periodo.

- En Santa Inés los rellenos realizados en la margen izquierda del río han contribuido a empeorar la capacidad de desagüe de los canales de drenaje existentes.
- En el caso de Ciudad Radial, el conjunto de canales existentes en esa zona resultarían suficientes para evacuar dichas escorrentías en condiciones de caudales fluviales y niveles de marea reducidos. Sin embargo en crecidas contribuyen muy negativamente al canalizar los caudales del Juan Díaz y los flujos mareales hacia las zonas bajas.

Como consecuencia de los resultados anteriores se pueden establecer las siguientes pautas a seguir para reducir la inundación actual:

- Deben protegerse las márgenes fluviales en varios tramos del río para evitar los desbordamientos hacia la zona urbana.
- Debe llevarse a cabo una actuación de dragado y encauzamiento del río entre los Pueblos y el Corredor Sur.
- Debe aumentarse la capacidad hidráulica del puente del Corredor Sur para reducir los calados aguas arriba del mismo.
- Deben aislarse los canales de drenaje existentes al sur de Ciudad Radial mediante el cierre de su conexión con el río, la colocación de diques de protección o de sistemas de válvulas de clapeta. De esta manera se trata de evitar que las crecidas y/o las mareas produzcan la inundación de las áreas bajas.
- Debe aumentarse la capacidad hidráulica de los pasos bajo el Corredor Sur, evitando remotes mediante la utilización de clapetas.

Cabe señalar, por último, que la utilización como balsas de laminación de las zonas inundables actuales no urbanizadas, podría contribuir a reducir los niveles de la crecida en las zonas más críticas del río.

Por otro lado, se considera especialmente importante la protección de la zona del campo de golf de Santa María y los manglares aguas abajo del Corredor Sur que, al inundarse, contribuyen favorablemente a mitigar las inundaciones.

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

7.1. Introducción

A partir de los resultados de los estudios anteriores se ha abordado un análisis integral para el planteamiento de actuaciones de mitigación de inundación en Juan Díaz, a nivel de cuenca.

Para ello se ha establecido una estrategia general en la que se han definido desde elementos de ordenación del territorio, hasta actuaciones netamente estructurales. En aquellos casos en que ha sido posible se han considerado soluciones alternativas para su comparación a nivel de prefactibilidad.

Para la definición de alternativas se han adoptado unos principios básicos relacionados con la componente ambiental de las actuaciones, la protección de la servidumbre del río y de integración de la solución final en el tejido urbano:

- Para el encauzamiento del río y para la construcción de canales de drenaje a cielo abierto se prioriza la utilización de tipologías que aseguren, por un lado, la estabilidad de la sección frente a la acción erosiva de las aguas y, por otro, la regeneración ambiental de las riberas, propiciando el crecimiento de vegetación riparia mediante plantaciones.
- Se prioriza, siempre que sea posible, la utilización de diques revegetados frente a muros de concreto y se propone su colocación alejada del borde del río, para permitir recuperar, en parte, las zonas inundables del mismo.
- Se prioriza el mantenimiento de la zona inundable del río en aquellas áreas de la cuenca no urbanizadas.

A continuación se describen las actuaciones analizadas, distinguiendo las correspondientes a la cuenca media y alta de las de la zona baja del Juan Díaz.

7.2. Actuaciones en la zona media y alta de la cuenca

7.2.1. Definición de corredores fluviales

En la zona alta y media de la cuenca se ha considerado adecuado plantear figuras de protección y ordenación territorial denominadas "corredores fluviales", en aquellos ámbitos que hoy en día se encuentran sometidos a menores presiones urbanísticas.

Los corredores fluviales constituyen espacios en el entorno del río, definidos por la zona inundable de T=500 años, que deben incorporarse en la futura planificación urbana como zonas de uso restringido, en donde no se pueden llevar a cabo actuaciones de edificación ni otros que originen modificación del flujo hídrico.

En estas zonas se contempla, no obstante, la construcción de elementos de protección (encauzamientos, muros o diques) en aquellos puntos en los que la inundación fluvial actual origina problemas en áreas urbanas ya consolidadas.

En las figuras 9 a 13 se recogen un esquema de las zonas donde se propone la localización de estos corredores fluviales y las actuaciones puntuales de protección señaladas.

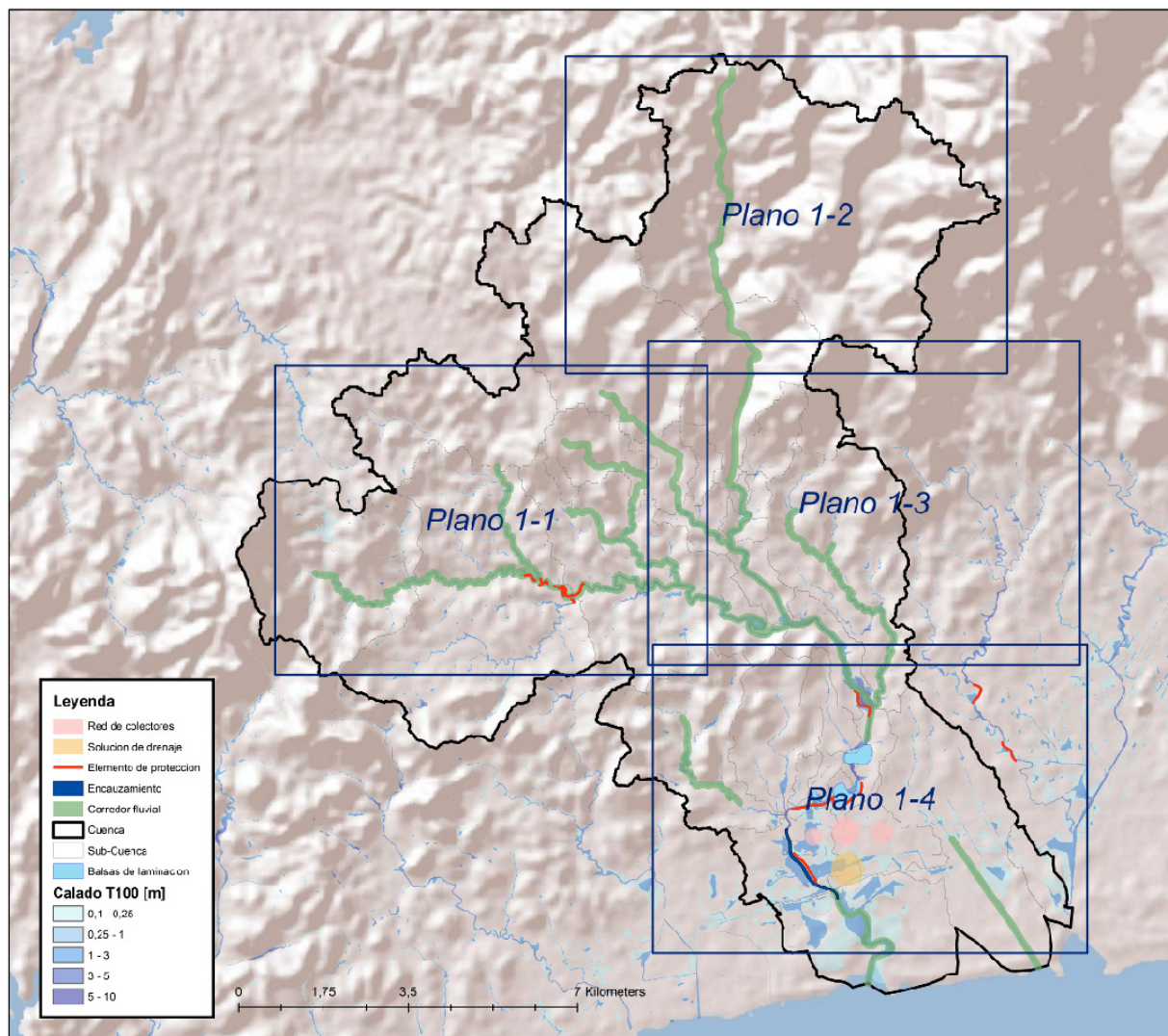


Figura 9. Vista general de las actuaciones propuestas en la cuenca del río Juan Díaz. Plano guía.



Figura 11. Plano 1-2 de actuaciones generales en la cuenca del río Juan Díaz.

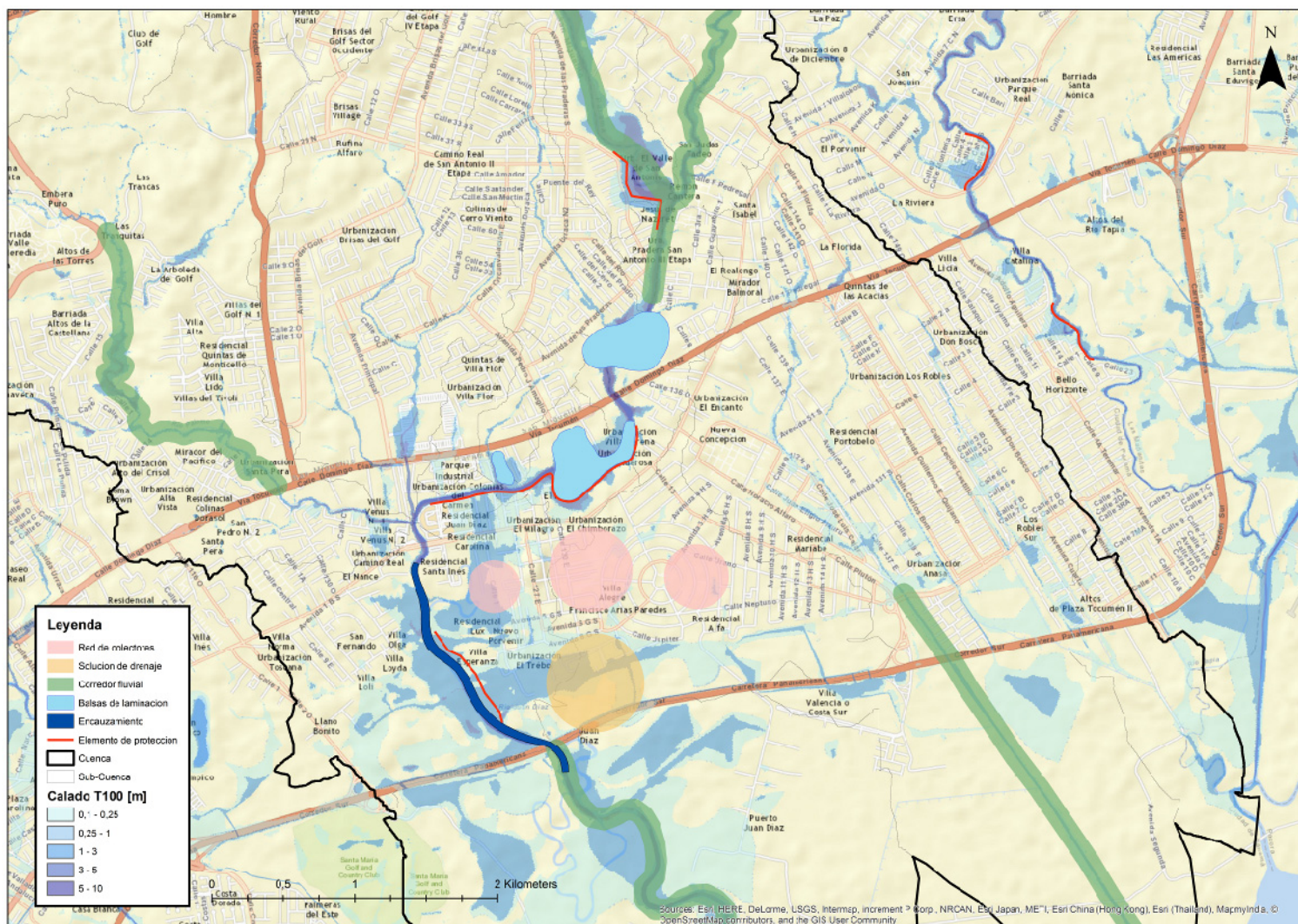


Figura 13. Plano 1-4 de actuaciones generales en la cuenca del río Juan Díaz.

7.2.2. Presas de regulación de crecidas

Además de las medidas anteriores, el proyecto “Diagnóstico y medidas de protección para las cuencas de los ríos Juan Díaz, Tocumen y Cabra, Ciudad de Panamá. Informe Final” del Ministerio de Obras Públicas de la República de Panamá y Caltec (2010), contempla la posibilidad de utilizar presas de regulación para laminar crecidas del río.

En dicho documento se propone la construcción de cuatro presas de uso conjunto para regulación de crecidas y abastecimiento, cuya localización y características principales se presentan en la figura 14 y en la tabla 2, respectivamente.

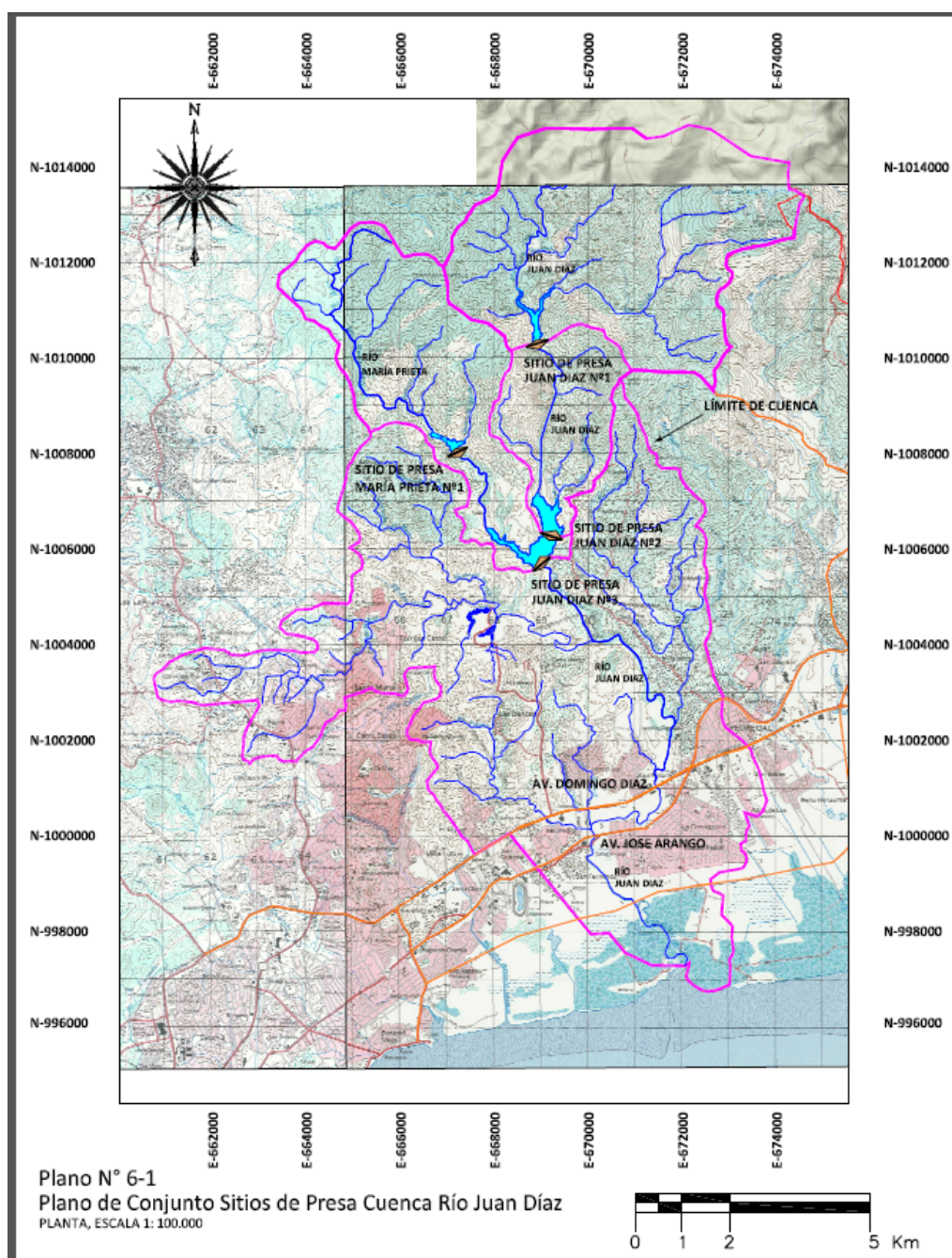


Figura 14. Plano de Conjunto de Sitios de Presa Cuenca Juan Díaz. Fuente: Caltec (2010).

Nº Presa	1	2	3	4
Sitio de Presa	MARIA PRIETA Nº1	JUAN DÍAZ Nº 1	JUAN DÍAZ Nº2	JUAN DÍAZ Nº3
Área de la Cuenca (km ²)	13.47	25.6	34	51.1
Cota Cauze (msnm)	76	118	47	39
Cota de Cresta (msnm)	94	142	68	60
Longitud de Cresta (m)	230	170	470	430
Altura de Presa sobre cauce (m)	18	24	20	21
Capacidad de embalse aproximada (Hm ³)	1.1	2.5	3.7	6.2
Descarga desagüe de fondo (m ³ /s)	10	10	10	10

Tabla 2. Características principales de los cuatro posibles sitios de presa propuestos en Caltec (2010).

En el Anejo VII se recoge el análisis de los efectos de dicha laminación considerando diversos volúmenes de llenado inicial de la presa, entre el 25 y el 75% de su capacidad. A modo de ejemplo de dichos resultados, en la figura 15 se presenta la mencionada reducción y retardo de los picos de la crecida a los que da lugar, en especial la presa Nº 4, la más grande de las consideradas, supuesto un llenado inicial de la misma antes de la crecida del 75%. Dichos valores corresponden a una sección del río Juan Díaz situada aguas arriba del Pailón.

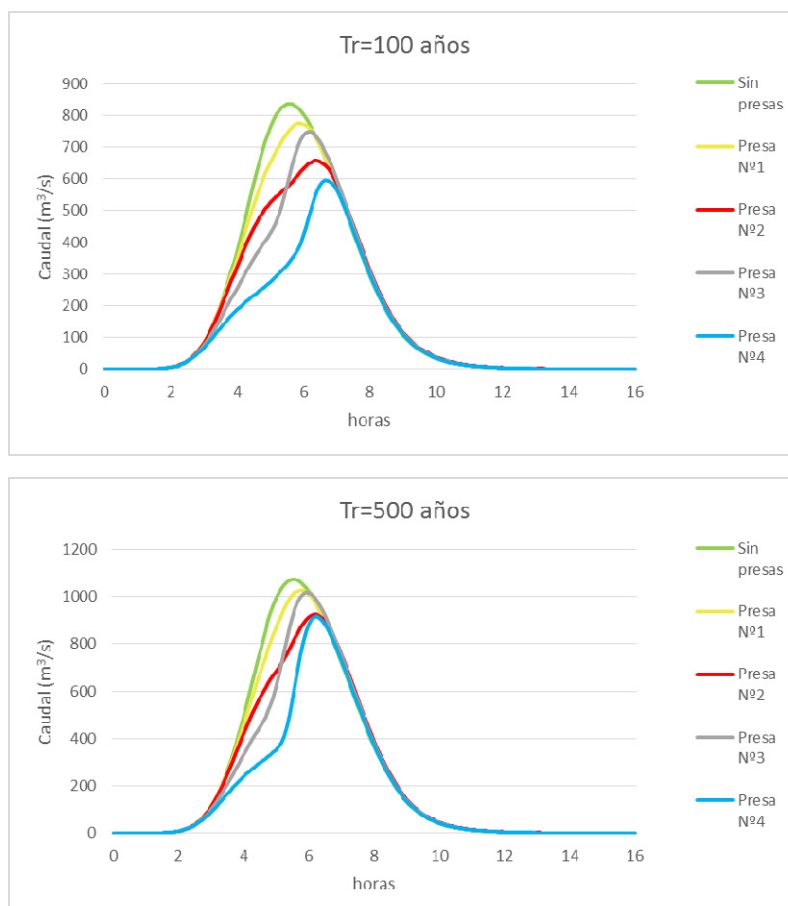


Figura 15. Modificación del hidrograma de crecida de diferentes periodos de retorno por efecto de la laminación en presas de regulación (se considera que las presas trabajan de forma independiente).

A la vista de estos resultados, cabe señalar la gran efectividad de este tipo de sistemas de regulación en la laminación de las puntas del hidrograma, en especial en las crecidas de menor periodo de retorno.

Sin embargo, el diseño y manejo de este tipo de presas está condicionado por aspectos que no son objeto de este estudio, como su elevado coste económico de implantación, la utilización de las mismas para otros usos conjuntos, como el abastecimiento urbano, o el análisis de su gestión para minimizar los riesgos derivados de su incorrecto funcionamiento (desembalses incontrolados, roturas, etc.). Por ello en este estudio no se han considerado su efecto laminador de caudales a la hora del análisis de alternativas en la zona baja. Si algún día se construye algunas de estas presas, ello contribuirá a la reducción de caudales en la cuenca baja y, por tanto, a un mejor funcionamiento de las obras de encauzamiento propuestas.

7.3. Actuaciones en la cuenca baja

En la cuenca baja se proponen diversas actuaciones estructurales que se dividen en las siguientes tipologías (ver figura 13 anterior):

- Encauzamiento mediante diques y muros de protección.
- Balsas de laminación.
- Drenajes urbanos.
- Mejora de la capacidad hidráulica del puente del Corredor Sur.

Dado que el tramo inferior del río se encuentra ya muy integrado en el tejido urbano, las alternativas posibles para una actuación de encauzamiento resultan reducidas.

Por ello, el planteamiento de alternativas se ha centrado en la tipología de las secciones transversales del encauzamiento y de las balsas de laminación, y en las diferentes anchuras que se podían alcanzar en el puente del Corredor Sur.

Sobre las soluciones que se presentan a continuación cabe insistir en que su diseño se ha llevado a cabo a nivel de prefactibilidad, es decir, considerando su encaje geométrico en el terreno, su incidencia sobre servicios existentes como el saneamiento en construcción en la zona y su valoración económica preliminar.

Las actuaciones que se plantean en esta zona son complementarias y deben realizarse de forma conjunta.

7.3.1. Encauzamiento del río principal

La tipología de las actuaciones adoptada en la zona baja se resume en la figura 16.

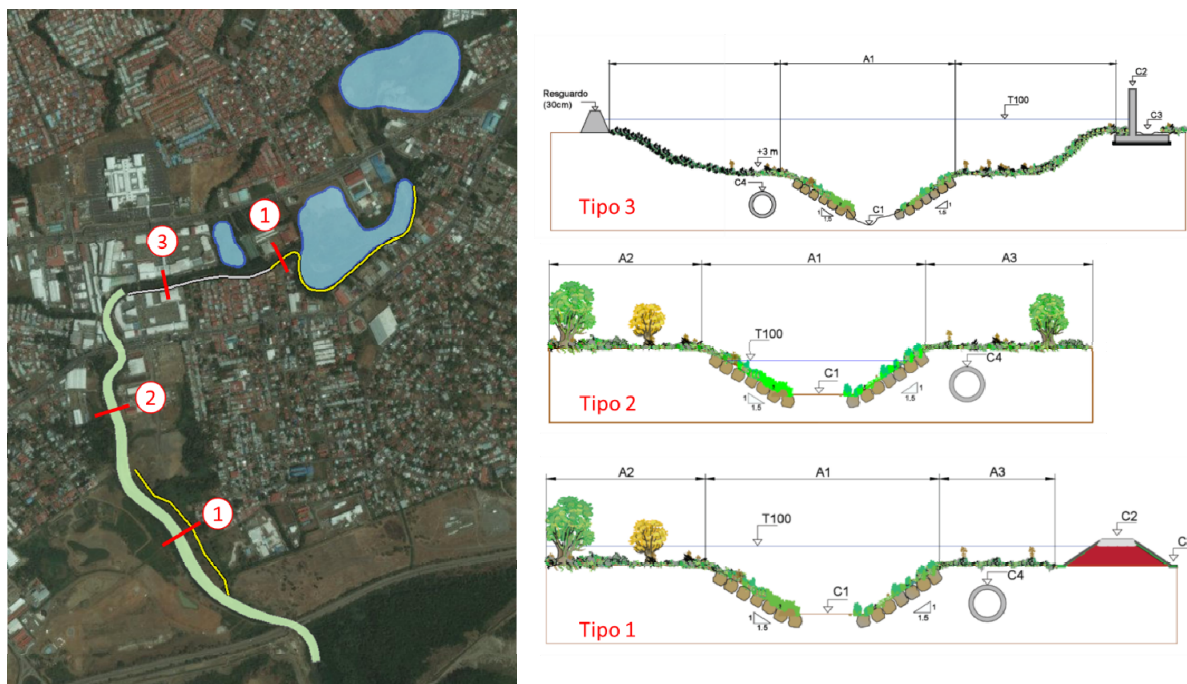


Figura 16. Secciones tipo de encauzamiento a lo largo del tramo final del Juan Díaz.

La definición de estas tipologías responde a los siguientes condicionantes:

- La elección de la solución con dique o muro de concreto depende del área disponible entre las edificaciones existentes y la propia ribera del río.
- Se ha adoptado prioritariamente la solución de dique de protección frente a la de muro y se ha buscado asegurar la máxima separación posible entre éste y el río. De esta forma se pueden generar espacios de uso público entre el cauce y el dique (parque lineal) y proteger la servidumbre fluvial.
- En las soluciones con dique se ha previsto el diseño final del mismo como un elemento transitable que sirva para asegurar la conectividad de la ciudad y el espacio público generado al lado del río.
- En lo posible, se plantea asegurar la máxima continuidad de dicho espacio entre el río y el dique.
- Se propone la utilización prioritaria de soluciones de escollera sin hormigonar para la protección de los taludes del río, con el objetivo de conseguir la estabilidad de la sección del cauce y asegurar la recuperación de la vegetación de ribera y, por tanto, minimizar a corto plazo el impacto de las actuaciones de encauzamiento previstas.

7.3.2. Construcción de balsas de laminación

La construcción del encauzamiento anterior produce un incremento de los niveles de crecida en la zona afectada por el mismo. Para reducir dichos niveles se propone la adecuación de tres solares aguas arriba de la zona de Los Pueblos como reservorios de agua (balsas de laminación) que ayuden a disminuir el efecto de las crecidas.

Se plantan dos posibles soluciones alternativas para este tipo de infraestructuras hidráulicas:

- Balsas de laminación libre.
- Balsas de laminación controlada.

Las balsas de laminación libre son espacios en las márgenes del río que se inundan por cota con la crecida y se vacían posteriormente de forma natural. La complejidad de su construcción es reducida y, por tanto, su coste de implantación menor que el de la otra tipología. Además, son fácilmente integrables en entornos urbanos, mediante su adecuación como áreas verdes o recreativas. Su inconveniente principal es que su capacidad de laminación es más reducida que las de laminación controlada.

En la figura 17 se recogen la ubicación y las secciones tipo de los elementos considerados en este estudio. Asimismo, en la figura 18 se muestra una de las zonas de posible ubicación de una balsa.

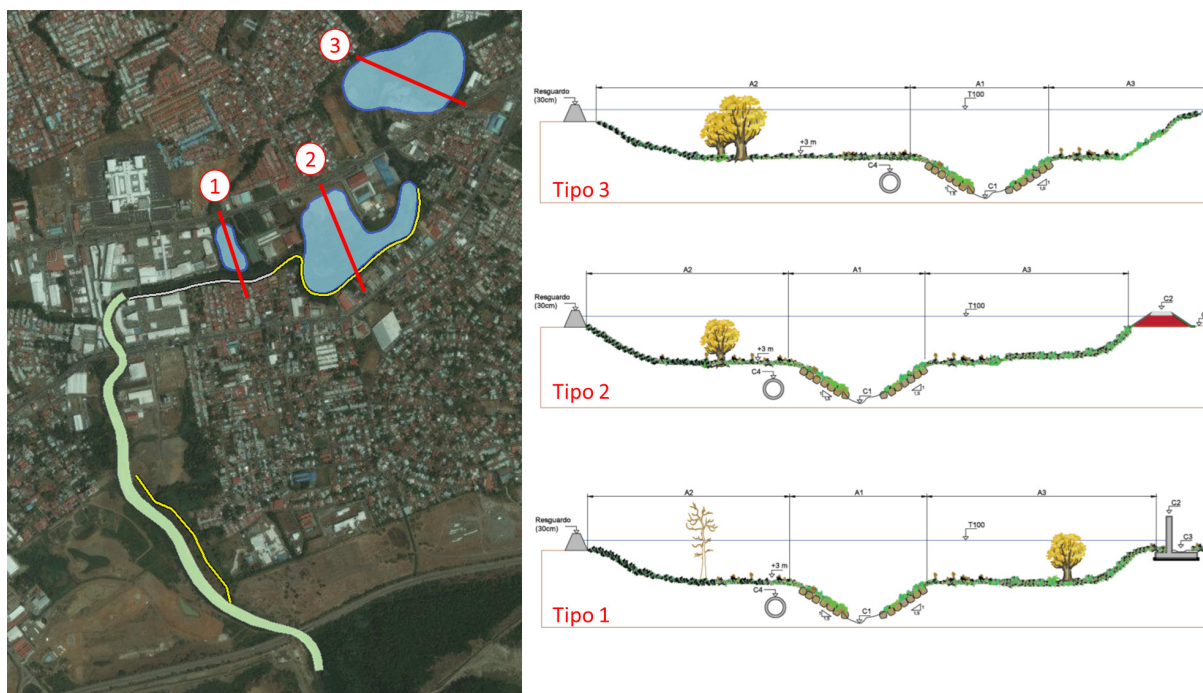


Figura 17. Ubicación en planta de las balsas de regulación libre y secciones tipo.



Figura 18. Vista de El Pailón zona de posible ubicación de una balsa de laminación libre.

Por su parte, las balsas de laminación controlada (figura 19) disponen de un elemento de vertido (aliviadero) que separa el cauce del río de la zona de almacenamiento. De esta forma la laminación se produce para caudales elevados, ocasionando un llenado rápido que disminuye de forma significativa los caudales punta de la crecida.



Figura 19. Ejemplo de balsas de laminación controlada.

A modo de ejemplo de este efecto, en la figura 20 se recoge la comparativa de los hidrogramas de crecida aguas abajo de Los Pueblos resultantes tras un almacenamiento mediante balsas de laminación libre y controlada. En ella se observa claramente que la reducción del caudal pico cuando se utilizan estas últimas es mayor.

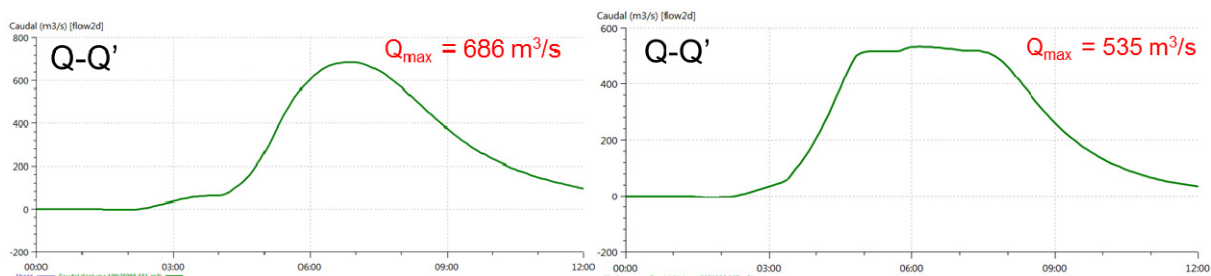


Figura 20. Hidrogramas resultantes en una sección del río en la zona de Los Pueblos con balsas de laminación libre (izquierda) y con balsas de laminación controlada (derecha).

La reducción de caudales origina también una disminución de los niveles máximos de la crecida en un metro en esta zona. En la figura 21 se comparan las cotas de la crecida de $T=100$ años en una sección del río. La superior corresponde al sistema de balsas de laminación libre y la inferior a la de laminación controladas.

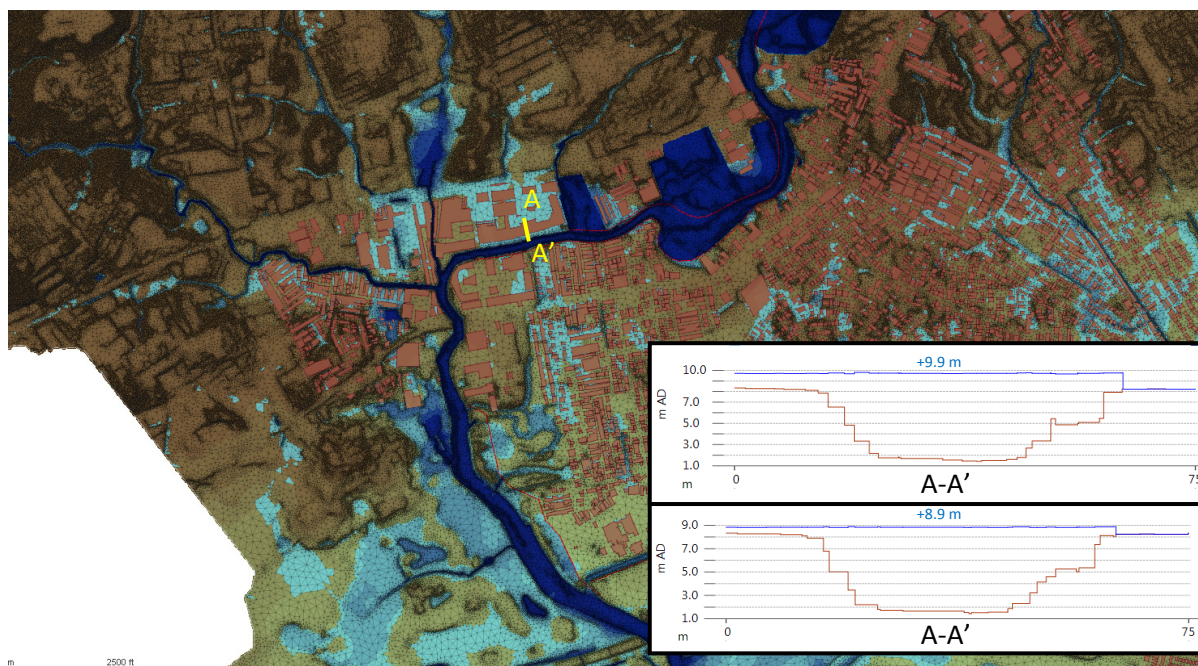


Figura 21. Inundación resultante para un evento de 100 años de periodo de retorno teniendo en cuenta las actuaciones de protección con balsas y comparativa de niveles.

Como contrapartida, las balsas de regulación controlada son más complejas de construir y gestionar y su integración en el entorno es más complicada debido al mayor número de elementos hidráulicos (vertederos, compuertas, etc.) que necesitan. A su vez, su mantenimiento es más complejo. En este sentido cobra especial relevancia el control en este tipo de estructuras de los sedimentos del río, más aún si cabe en una cuenca cuyo nivel de erosión es alto (Anejo X). En este caso sería necesario disponer de trampas de sedimentos aguas arriba de las balsas.

7.3.3. Drenajes urbanos

En este apartado se describen las actuaciones necesarias para mitigar la inundación en el entorno urbano de Ciudad Radial.

En el análisis de alternativas se diferencia el drenaje local de la propia Ciudad Radial y de Santa Inés, que se resuelve con colectores separativos, y la red de drenaje general de la zona, que corresponde a la modificación del canal de Metro Park y a su salida al manglar aguas abajo el Corredor Sur.

A su vez se contemplan dos posibles soluciones: una con vertido por gravedad (alternativa 1) y otra considerando la construcción de una estación de bombeo para evacuar las aguas de escorrentía en periodos de mareas altas (alternativa 2)

7.3.3.1. Red de drenaje general: Alternativa 1

Consistente en aislar el sistema de drenaje existente del río, modificar las pendientes y dirección de los drenajes y construir un nuevo canal a través del manglar (figuras 22 a 24).

La solución se completa con la construcción de tres balsas de laminación que se diseñan para almacenar la escorrentía de un aguacero de 20 minutos de duración y de intensidad igual a la de diseño. Estas balsas, que contribuyen a recuperar parte de la capacidad de almacenamiento natural existente antes de los rellenos, cumplen la misión de almacenar los caudales cuando coincidan crecidas con marea alta.

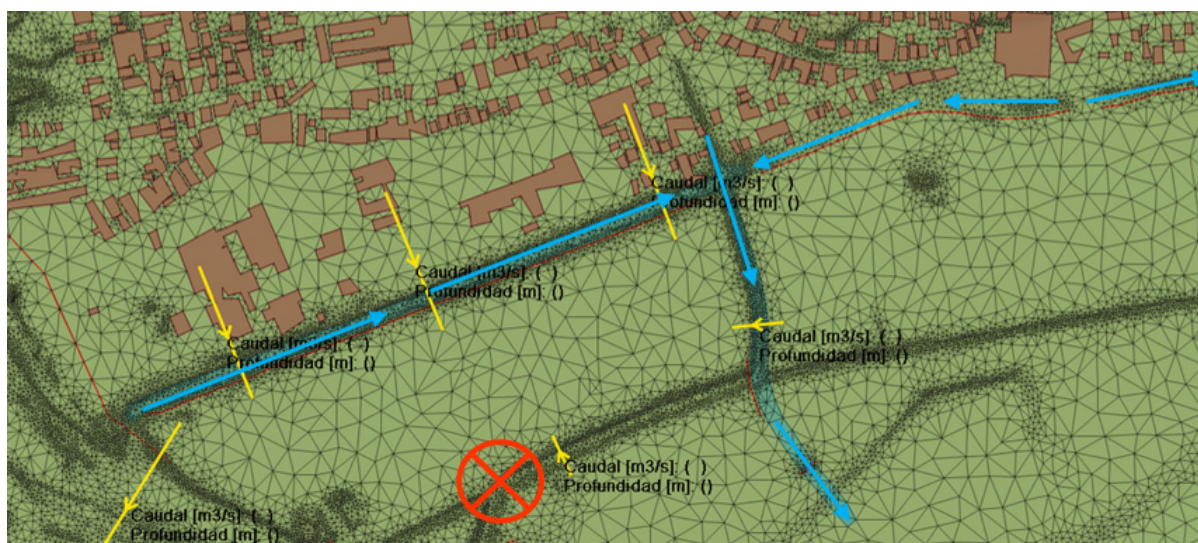


Figura 22. Esquema de cambio de pendientes (flechas azules) y cierre de drenajes existentes (aspa roja) de la red de drenaje existente.



Figura 23. Detalle de los elementos constituyentes de la solución de drenaje general de la zona sur de Ciudad Radial y Metro Park. Zona Oeste.



Figura 24. Detalle de los elementos constituyentes de la solución de drenaje general de la zona sur de Ciudad Radial y Metro Park. Zona Este.

Para el modelado de la eficiencia de estas medidas se han incorporado al modelo numérico un canal de bajo el Corredor Sur, de 12m de ancho, y una compuerta anti-retorno. También se han cerrado los pasos de la marea por los drenajes existentes con elementos tipo muro. En la figura 25 se presenta el modelo tridimensional de la malla de cálculo en esta zona.

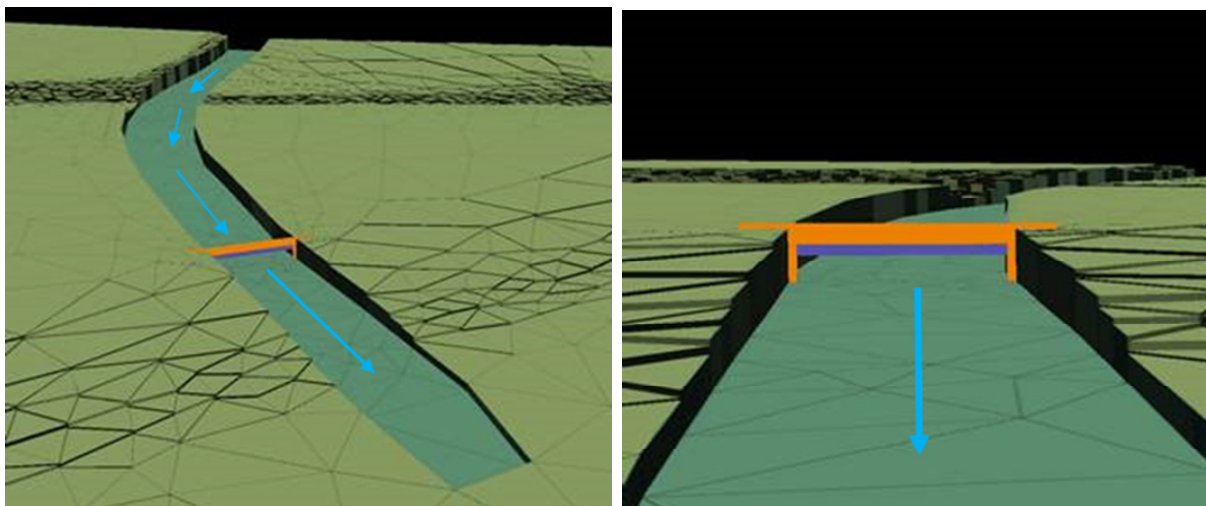


Figura 25. Canal de drenaje a través del Corredor Sur y compuerta anti-retorno situada en la zona próxima al manglar donde se realizara el vertido libre del drenaje.

7.3.3.2. Red de drenaje general: Alternativa 2

La alternativa 2 consiste en completar la alternativa anterior mediante un bombeo que sea capaz de impulsar el caudal necesario (unos $10\text{m}^3/\text{s}$) para evacuar el agua del canal de drenaje durante un evento que coincida con la fase de pleamar de la onda de marea.

Para facilitar el bombeo y laminar el caudal se cuenta con una de las balsas de acumulación aguas arriba del bombeo (véase figura 26).



Figura 26. Balsa de acumulación y esquema de bombeo contra eventos de inundación durante fases de pleamar.

Esta alternativa con bombeo aporta un mayor nivel de seguridad frente a inundaciones en la zona baja de Ciudad Radial ante cualquier evento de inundación o ante el incremento de los niveles del mar exterior.

7.3.3.3. Red de drenaje local

Debido a la problemática del barrio de Santa Inés, cuyo drenaje se ha visto dificultado en los últimos tiempos por la realización de rellenos en la margen izquierda del río, se han considerado dos alternativas a nivel de pre-factibilidad para el diseño de la red de colectores de la zona urbana.

La primera contempla mantener el esquema actual de drenaje, en el que Santa Inés vierte directamente al río mientras que Ciudad Radial lo hace al canal contiguo de Metro Park (figura 27). En este caso habría que colocar clapetas en la salida de los canales de Santa Inés para evitar la entrada de caudales desde el río hacia las zonas bajas de este distrito.

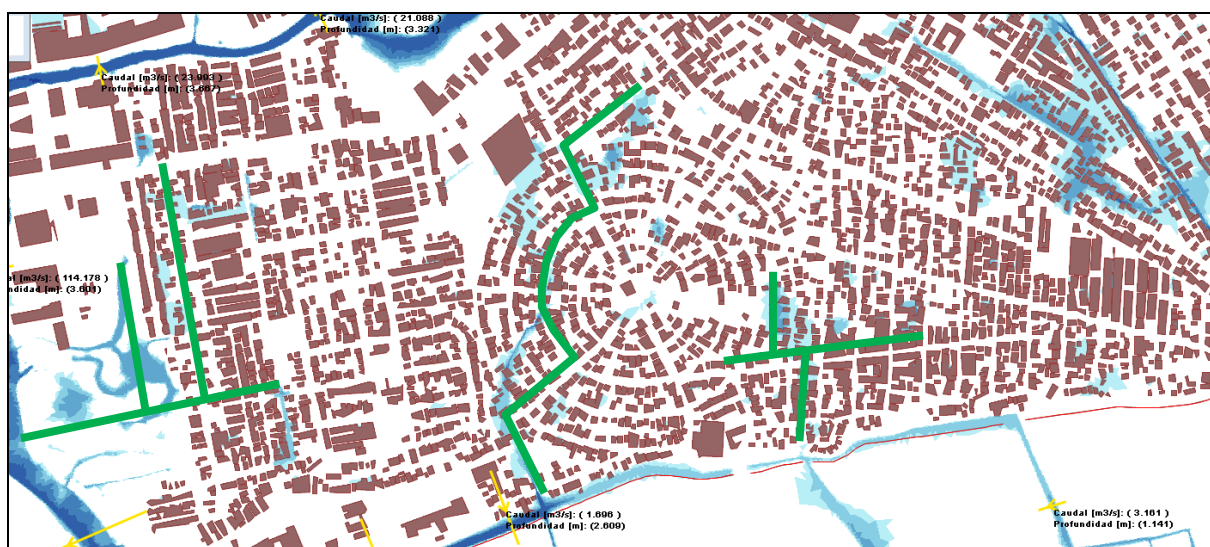


Figura 27. Representación esquemática de la red de colectores (líneas verdes) en la zona urbana de Ciudad Radial. Drenaje de la zona de Santa Inés al río Juan Díaz.

La segunda alternativa consiste en agrupar ambas redes haciendo que todos los vertidos se deriven al canal de Metro Park. Ello aumentaría la longitud del sistema de drenaje. En la figura 28 se presenta la configuración en planta de esta solución de colectores. En esta alternativa también sería necesario el cierre de los canales existentes evitando esta posible vía de inundación.



Figura 28. Representación esquemática de la red de colectores (líneas verdes) en la zona urbana de Ciudad Radial. Drenaje de la zona de Santa Inés hacia canal de Metro Park.

7.3.4. Mejora de la capacidad hidráulica del puente del Corredor Sur

Debido a la importancia hidráulica que tiene la barrera física creada por el Corredor Sur para el desagüe de los caudales a la zona de manglar, se ha analizado el aumento de capacidad que supondría disponer de mayores anchos a la sección de paso actual bajo el corredor. Para ello se han realizado dos simulaciones numéricas con anchos definidos de 90 y 110m. A la vista de los resultados obtenidos se evidencia que dicho aumento en la anchura del paso contribuye a disminuir en uno 8cm los calados máximos aguas arriba en para la crecida de T=100 años (véase figura 29).

Esta reducción de niveles es mucho más apreciable en crecidas de menor periodo de retorno y en situaciones de niveles de marea más reducidos, por lo que se considera una medida complementaria de gran interés como complemento de las actuaciones antes descritas.

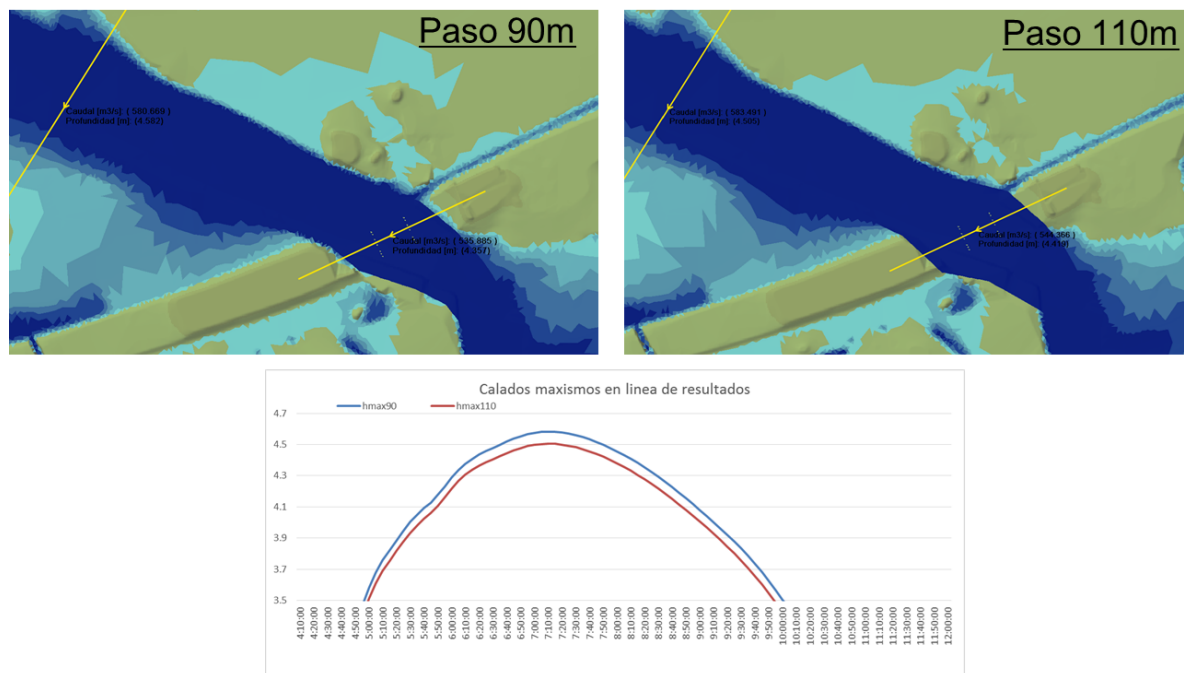


Figura 29. Disminución de calado en el paso bajo el Corredor Sur al aumentar el ancho de la sección de 90m a 110m.

7.3.5. Otras medidas de mitigación

En este apartado se analiza el efecto de una nueva medida de mitigación que consiste en utilizar el área ocupada por el campo de golf de Santa María (figura 31) como una zona inundable durante crecidas. Para ello se propone la reducción de la cota en esa zona hasta la +3.5 m, de forma que pueda seguir siendo utilizada como campo de golf en situaciones de aguas bajas y como balsa de laminación en crecidas.

Dado que en la actualidad esta zona es de titularidad y uso privados, el análisis de esta medida se considera en este estudio sólo a efectos informativos. Por tanto, su contribución a la regulación de caudales y a la reducción de niveles en la zona baja del río no ha sido considerada en el diseño del resto de infraestructuras propuestas.

Dicha reducción de niveles es, sin embargo, muy importante como se aprecia en la figura 30 donde se presenta la comparativa entre la situación actual y la propuesta. De los resultados de la simulación se obtenido que el nivel máximo alcanzado se reduce aproximadamente en 0.5m al considerar la laminación de esta nueva balsa.

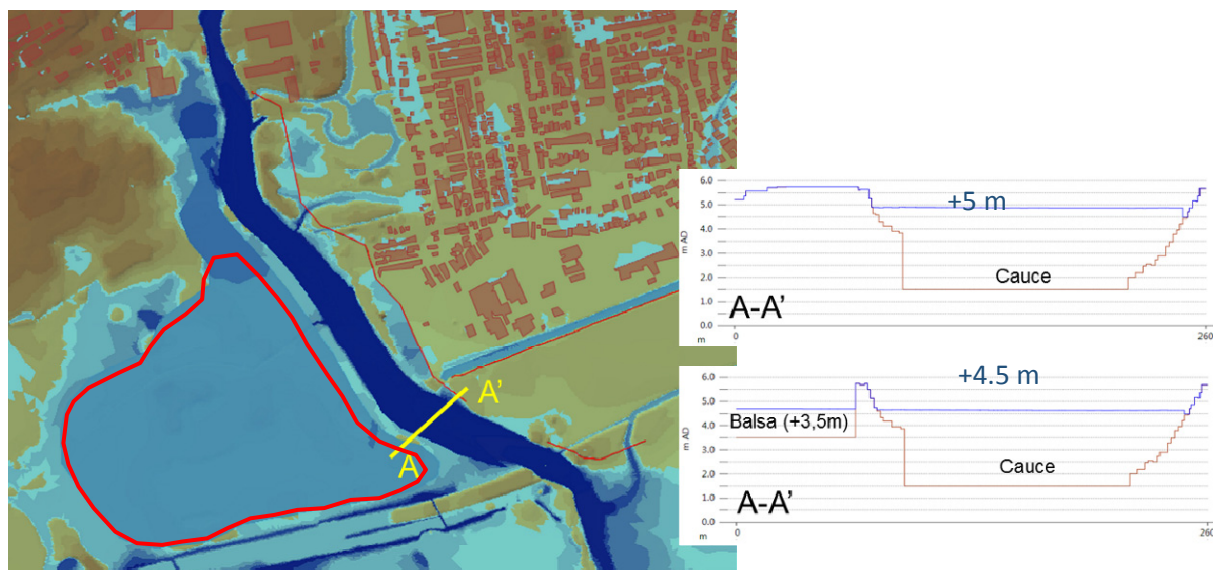


Figura 30. Balsa de laminación en el actual campo de golf de Santa María y perfiles transversales a la altura del Metro Park en el caso sin balsa (arriba) y con balsa (abajo).

7.3.6. Efectos de las medidas de mitigación

A modo de resumen de los estudios hidráulicos realizados con el fin de comprobar la eficiencia de estas actuaciones, en la figura 31 a 33 se presentan los resultados correspondientes a las crecidas de T=10, 100 y 500 años.

Dichos resultados corresponden a la alternativa que contempla las siguientes actuaciones:

- Encauzamiento del cauce principal.
- Construcción de balsas de laminación libre.
- Drenaje independiente de Sana Inés y Ciudad Radial.
- Evacuación por gravedad (sin bombeo) del canal de Metro Park.
- El Golf de Santa María se mantiene en condiciones iguales a las actuales.

La comparación de dichos resultados con la situación actual (que se recoge en la figura 35 para la crecida de T=100 años), pone de manifiesto como se ha reducido sustancialmente la zona inundable, lo que demuestra la eficacia de estas actuaciones.

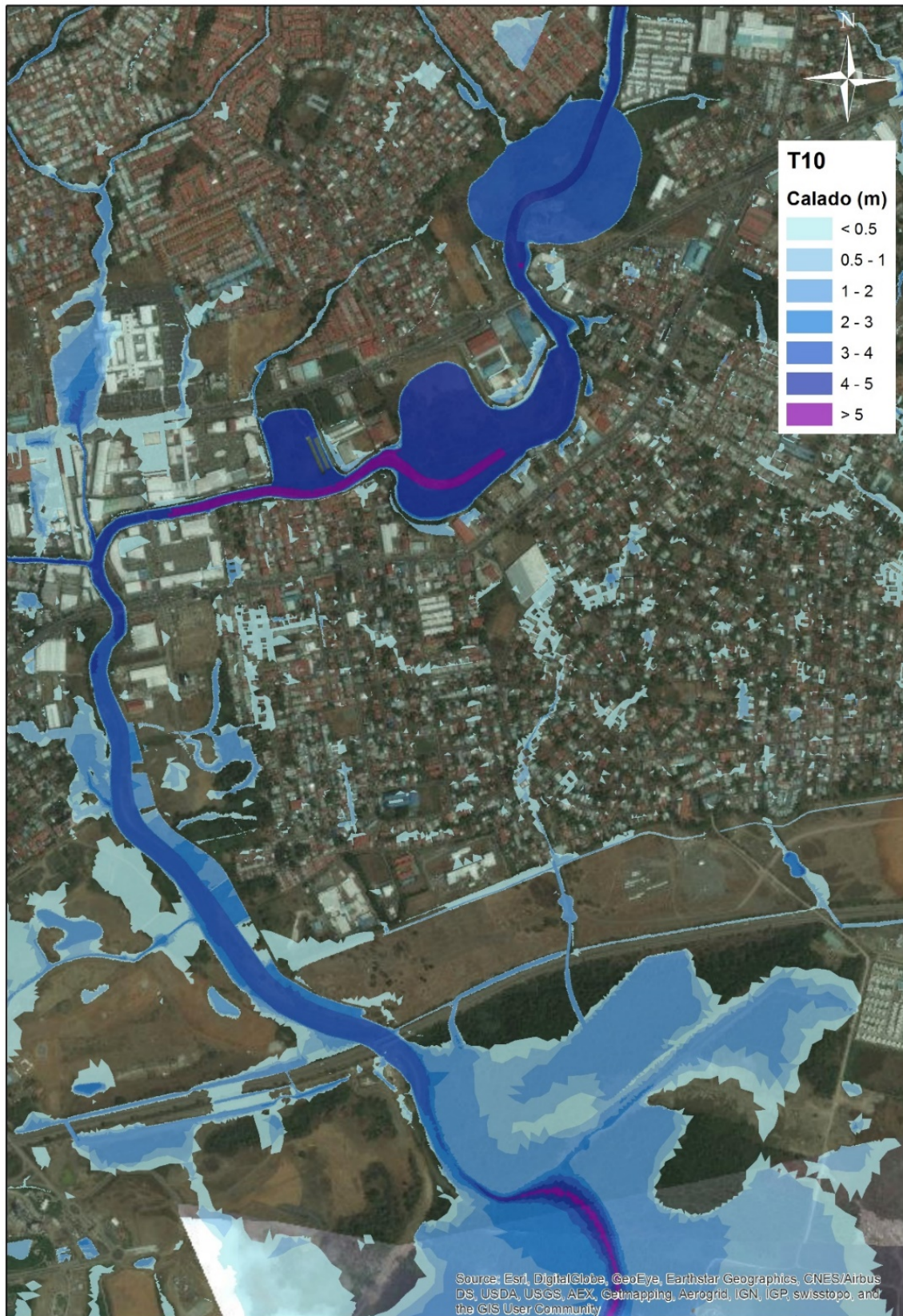


Figura 31. Zona inundable de la cuenca baja de Juan Díaz para la crecida de T=10 años tras la implementación de medidas de mitigación.

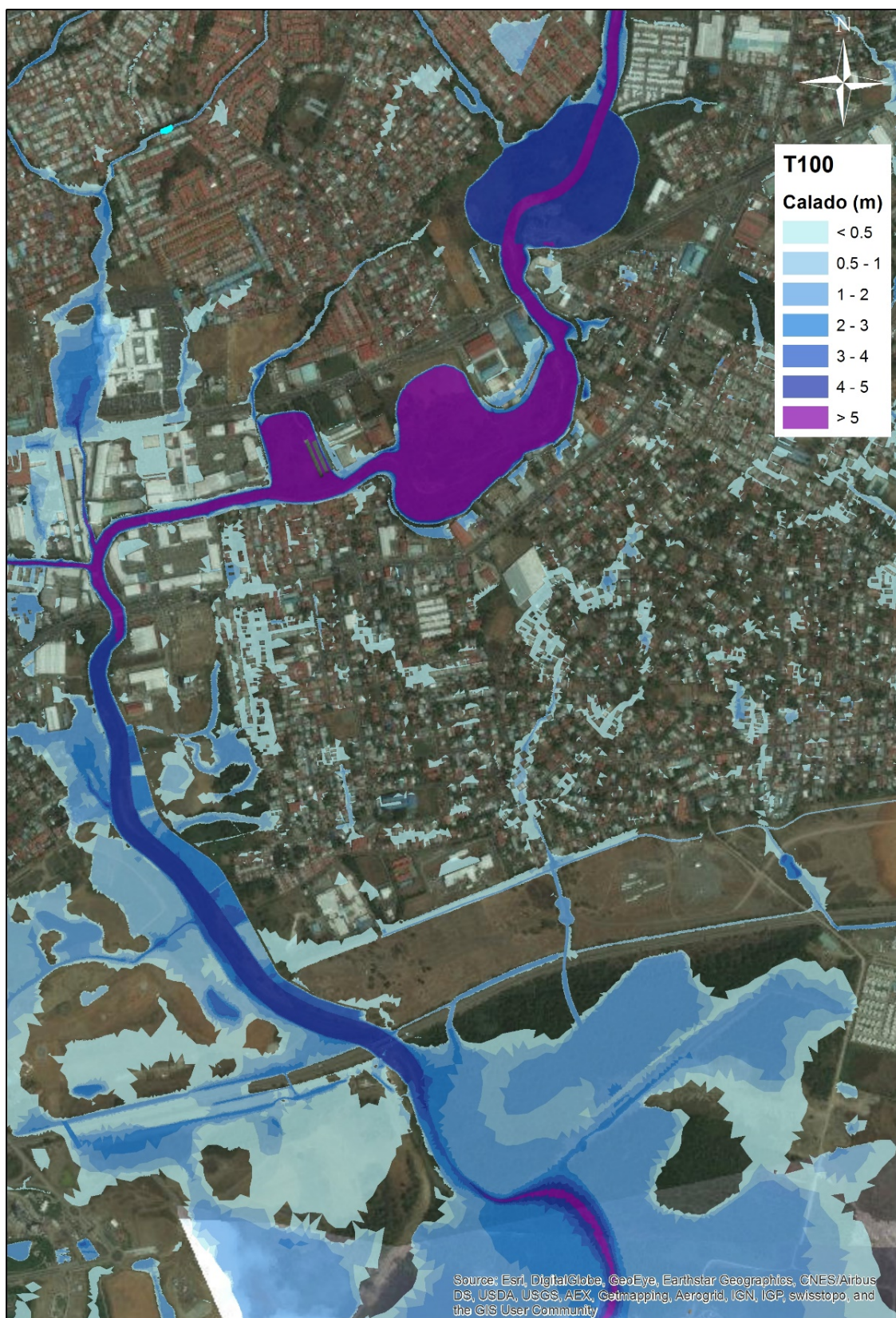


Figura 32. Zona inundable de la cuenca baja de Juan Díaz para la crecida de T=100 años tras la implementación de medidas de mitigación.

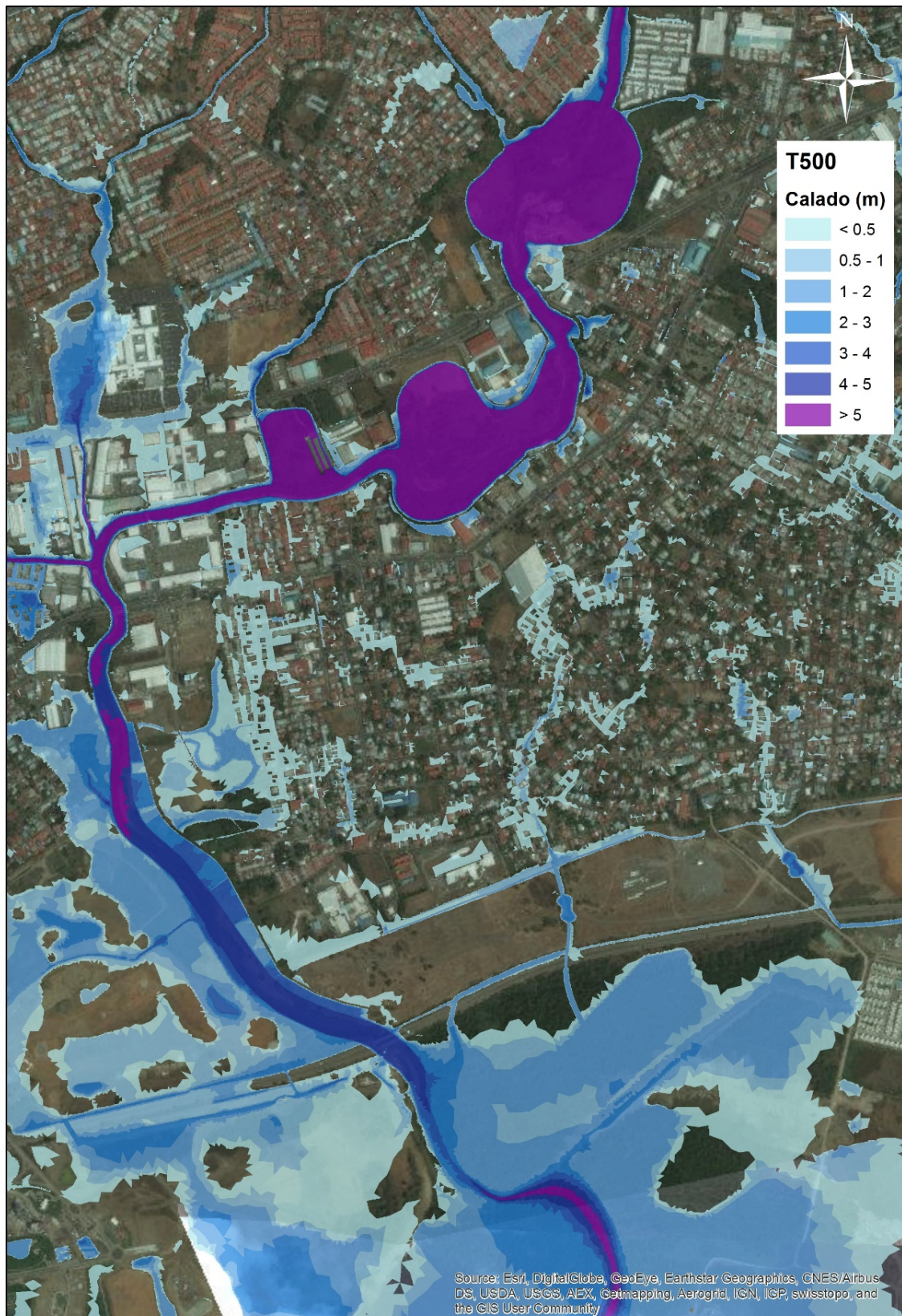


Figura 33. Zona inundable de la cuenca baja de Juan Díaz para la crecida de T=500 años tras la implementación de medidas de mitigación.

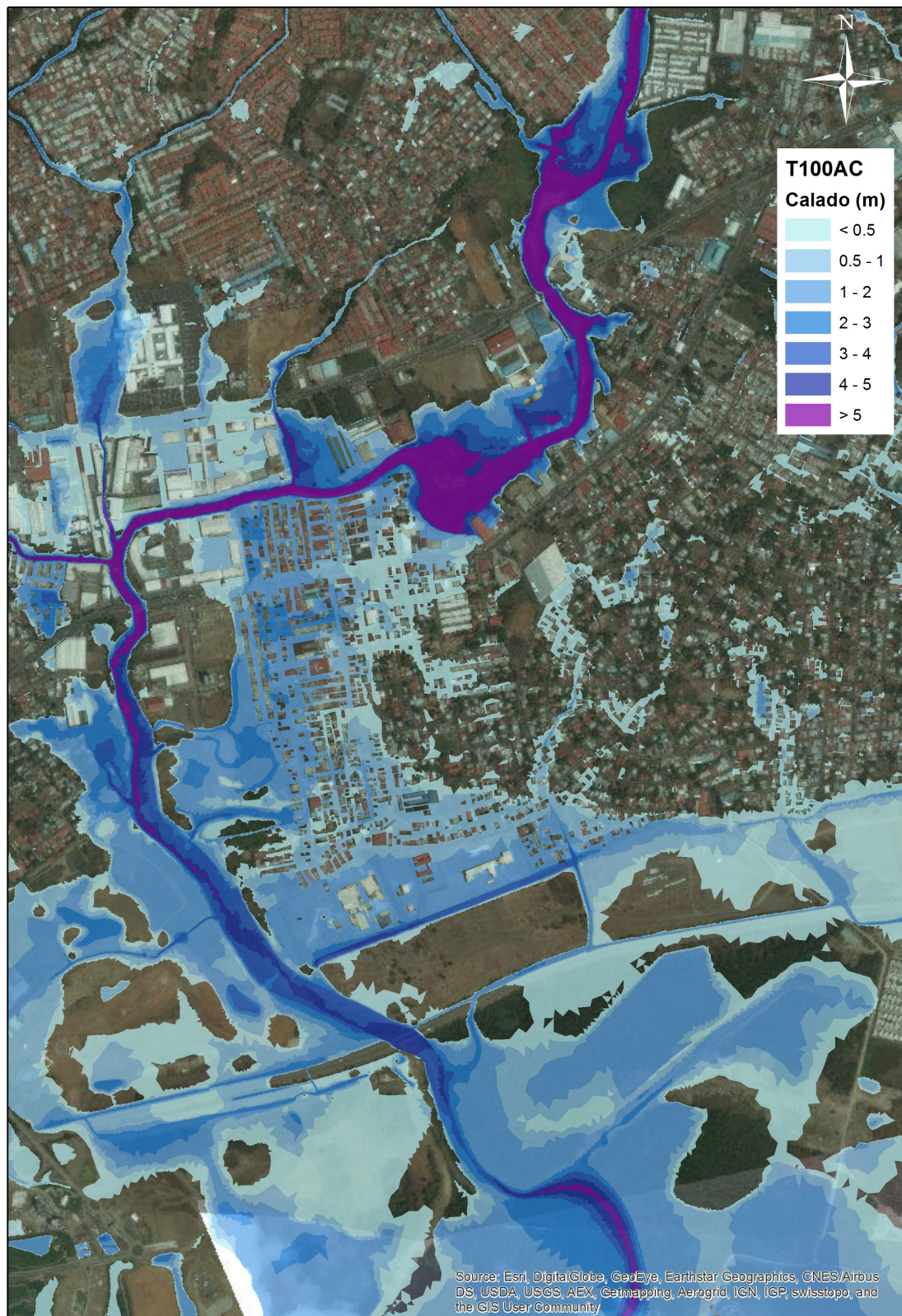


Figura 34. Zona inundable de la cuenca baja de Juan Díaz para la crecida de T=100 años en situación actual.

8. VALORACION ECONÓMICA DE ACTUACIONES

En este capítulo se lleva a cabo una valoración económica preliminar de las actuaciones consideradas en las diferentes alternativas, al objeto de contar con información para la selección y priorización de las más adecuadas de acuerdo con los actores locales.

Dicha valoración económica se ha llevado a cabo a partir de los precios de unidades de obra recogidos en el Anejo XI. La estimación de dichos precios se ha basado en la siguiente información:

- El coste de la mano de obra se ha obtenido a partir de los salarios convencionales de la Cámara Panameña de la Construcción (CAPAC), facilitad por la MUPA.
- El coste de la maquinaria se ha obtenido a partir del generador de precios de la construcción CYPE Ingenieros, para Panamá.
- El precio final de las unidades de obra se han contrastado con valores facilitados por empresas constructoras locales.

En algunas actuaciones, por ejemplo estaciones de bombeo, clapetas, compuertas o paso de canales bajo viales, la estimación se ha realizado por partidas alzadas, contrastando los valores adoptados con los técnicos locales en diversas reuniones desarrolladas en la segunda Misión.

En la valoración que se recoge en la tablas 3, correspondiente a la cuenca media y alta, no se incluyen partidas para la creación de los corredores fluviales, ya que esto constituye una tarea más normativa y de ordenación territorial que de construcción de infraestructuras.

Sí se incluye, sin embargo, una valoración de las obras de defensa puntuales, que se han estimado considerando una tipología de encauzamiento similar a la de la zona baja.

Como se dijo anteriormente, la dificultad del diseño y manejo y el elevado coste económico de las presas de regulación que contempla el MOP en la zona alta de la cuenca hacen, que, pese a que se ha analizado sus efectos sobre las crecidas, no se contemplen como soluciones alternativas a las aquí presentadas.

Tampoco se han incluido los costes de las expropiaciones, de reposición de servicios afectados ni otros como los de reforma de los sistemas de drenaje existente (más allá de los expresamente indicados en el estudio de alternativas).

	Longitud (Km)	B/. por Km	Presupuesto B/.
Obras de defensa puntuales en la cuenca media y alta	1,450	4,500	6,525,000.00

Tabla 3. Valoración de actuaciones en la zona media y alta de la cuenca

Actuación	Alternativa 1	Alternativa 2
Encauzamiento	28,200,000.00	
Balsas de laminación	8,550,000.00	12,400,000.00
Total encauzamiento Juan Díaz	36,750,000.00	40,600,000.00
Red de drenaje general	7,200,000.00	8,100,000.00
Red de drenaje local	2,900,000.00	3,200,000.00
TOTAL	46,850,000.00	51,900,000.00

Tabla 4. Valoración de alternativas en la zona baja de la cuenca en Balboas.

NOTAS:

La Alternativa 1 incluye tres balsas de laminación libre; drenaje urbano (red general) por gravedad (sin bombeo) y vertido de Santa Inés al Juan Díaz (como en situación actual).

La Alternativa 2 incluye tres balsas de laminación controlada; drenaje urbano (red general) por bombeo y conexión de Santa Inés con la red local de Ciudad Radial

Red de drenaje general: corresponde a la zona del canal de Metro Park y la nueva salida al mar.

Red de drenaje local: corresponde a la zona de Ciudad Radial.

9. PRIORIZACION DE ACTUACIONES

El estudio de alternativas anterior, se presentó y sometió a discusión ante la MUPA y otros actores locales (MOP, MIAMBIENTE, MINSA, Saneamiento de la Bahía y diversos promotores inmobiliarios de la zona), en la misión que se llevó a cabo entre los días del 11 y 15 de Julio de 2016.

Como resultado de estas reuniones se priorizaron las siguientes actuaciones, que serán objeto de una definición posterior a nivel de factibilidad:

1. Balsas de laminación libre, diques, muros y perfilados del cauce en el tramo comprendido entre la balsa superior propuesta y el Corredor Sur, incluido el ensanchamiento del puente bajo este último.
2. En esta zona se plantea la colocación de muros y diques lo más alejados posible del borde del río, para permitir recuperar y preservar su servidumbre y crear una zona de corredor fluvial que pueda ser utilizado por la ciudadanía. Para ello se buscará también la mayor continuidad posible de dicho corredor fluvial (o parque lineal) a lo largo del tramo en de actuación, buscando además la conexión del mismo con la ciudad en varios puntos.
3. Actuaciones de drenaje en el canal de Metro Park, incluida la modificación del canal actual, la creación de lagunas de regulación en el interior de la propiedad, la construcción de un nuevo canal bajo el corredor sur y a través del manglar, que incluirá un sistema automático de compuertas o válvulas antirretorno (clapetas) para evitar la entrada de la marea y las crecidas fluviales en esta zona.
4. La red de drenaje local en el interior de Ciudad Radial.

En la zona alta de la cuenca se acordó plantear la figura de protección de los corredores fluviales. No obstante, la definición final de los mismos está sujeta a un proceso normativo, que supera el alcance del presente estudio, por lo que no se incluye en la fase de factibilidad.

De acuerdo con lo indicado por la MUPA, se acordó que el drenaje del barrio de Santa Inés sería analizado por la empresa *Wetlands*, bajo el auspicio de la Cooperación Holandesa. Por ello, a los efectos del desarrollo de la fase de factibilidad, se considera el desagüe de esta zona en la forma que se produce en la actualidad, es decir, independientemente del sistema de Ciudad Radial y Metro Park. Cualquier modificación en esta hipótesis deberá considerarse en la fase de proyecto y obra.

10. CONSIDERACIONES FINALES

Además de los condicionantes técnicos anteriores, es necesario señalar algunos aspectos que pueden incidir directamente en la funcionalidad de las soluciones que se propongan y que deben tenerse en cuenta para asegurar su eficiencia a corto plazo:

- Dado la gran cantidad de actuaciones de rellenos y de ocupación del cauce que se están produciendo en la actualidad en la ciudad de Panamá, debe remarcarse que todos los diseños realizados se han hecho considerando la situación del cauce y de los manglares a fecha de comienzo del presente estudio (mayo de 2016),
- Se considera que dichas condiciones deben preservarse para garantizar que las soluciones propuestas cumplen con los requisitos de capacidad de evacuación y laminación de crecidas para las que se diseñen.
- Además, la preservación de los manglares en la zona costera de la ciudad constituye, tal y como se establece en el Plan de Actuaciones de la Iniciativa ICES, una condición imprescindible para asegurar el desarrollo sostenible de Panamá, en especial ante el incremento previsto del nivel del mar a medio y largo plazo por efecto del cambio climático.
- También se considera especialmente importante la protección de la zona del campo de golf de Santa María que, al inundarse, contribuye favorablemente a reducir los niveles aguas arriba.
- Es necesario un cambio en la concepción de la gestión de las infraestructuras hidráulicas, en el sentido de considerar los adecuados programas de mantenimiento de las mismas. En el caso de las balsas de laminación esto constituye un aspecto clave, dado la capacidad de arrastre del sedimentos del Juan Díaz va a condicionar, de forma clara, la eficiencia de las mismas (que se irán colmatando progresivamente).

Cabe señalar, por último, que, pese a que las soluciones que se plantean permiten reducir sustancialmente el riesgo económico y humano en Ciudad Radial, en general, y en la zona más próxima al canal de Metro Park, en particular, en nuestra opinión debería plantearse un debate para analizar la conveniencia de reubicar a medio plazo las viviendas de las zonas más vulnerables. La ocurrencia de crecidas o incrementos del nivel del mar mayores a los considerados en este estudio, o el hecho de que se produzca el fallo de las infraestructuras de protección previstas, con consecuencias sobre las zonas más bajas de la cuenca, son aspectos que inciden sobre esta opinión.

