



Avances del Proyecto de Restauración del Sistema del Canal del Dique

Agosto 2015

Avances del Proyecto de Restauración del Sistema del Canal del Dique

El Gobierno Nacional creó el FONDO ADAPTACIÓN, entidad adscrita al Ministerio de Hacienda, como el mecanismo institucional para identificar y priorizar necesidades en la etapa de recuperación, construcción y reconstrucción de las obras de infraestructura afectada por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, con el propósito de mitigar y prevenir riesgos, y proteger a la población de las amenazas económicas, sociales y ambientales. Si bien los orígenes del proyecto de recuperación del ecosistema degradado del Canal del Dique se remontan a la Resolución No. 260 del Ministerio del Medio ambiente de fecha 31 de marzo de 1997, la realidad del proyecto se logra sólo hasta ahora, con la contratación de los actuales diseños por parte del FONDO ADAPTACIÓN y la aprobación del proyecto postulado por CORMAGDALENA en septiembre de 2010 para dar cumplimiento a la Resolución 2749 (10 diciembre de 2010).

El contrato, para la restauración de los ecosistemas degradados del Canal del Dique, entre el Fondo Adaptación y el Consorcio Dique fue firmado Agosto en 2013. El contrato tiene como alcances lo siguientes: (i) Regulación activa del ingreso de caudales al sistema del Canal del dique, (ii) control de tránsito de sedimentos entre el canal y las bahías de Cartagena y Barbacoas, (iii) control de inundaciones y control de niveles de agua en el canal, (iv) control de la intrusión salina, (v) escenarios para la adaptación al cambio climático, (vi) mejoramiento de las conexiones ciénaga - ciénaga y ciénaga – canal, (vii) restauración de los ecosistemas del Parque nacional natural de Corales del Rosario y San Bernardo, (viii) restauración de rondas de ciénagas, caños y canal del dique, (ix) aseguramiento del recurso hídrico del canal para agua potable, riego, ganadería, pesca y otros servicios, y (x) optimización de la navegación fluvial.

1 EL CONSORCIO DIQUE

Está integrado por las firmas Royal HaskoningDHV de Holanda y Gomez-Cajiao de Colombia.

Royal HaskoningDHV es una empresa internacional independiente, fundada en 1881, líder en prestación de servicios de consultoría e ingeniería con raíces establecidas en los Países Bajos, el Reino Unido y Sudáfrica, especializados en aeronáutica, construcción, industria, energía y minería, infraestructura, canales y puertos, planificación y estrategia, ríos, deltas y costas, transporte y gestión de infraestructuras, equipamiento y señalización, y tecnología de agua.

Con aproximadamente 7000 expertos Royal HaskoningDHV ofrece soluciones sostenibles y pragmáticas para los principales desafíos mundiales, tales como la seguridad alimentaria, manejo integral de recursos hídrico, escasez de agua, medio ambiente, soluciones desde minería a puertos, el desarrollo de mega ciudades, infraestructuras, recursos energéticos sostenibles y suministros.

Trabajando juntos se consigue más. Esta es la filosofía de Royal HaskoningDHV. Con el objetivo primordial de mejorar juntos la sociedad, trabajamos en estrecha colaboración con nuestros clientes, la comunidad y demás partes interesadas, la industria y los líderes académicos, para garantizar que los proyectos se entreguen a tiempo y dentro del presupuesto, contribuyendo a un futuro sostenible, mejor y más brillante.

En nuestra división de ríos, deltas y costas, el agua presenta tanto oportunidades como amenazas para las comunidades y la naturaleza, a medida que las poblaciones urbanas crecen, el clima cambia y los recursos se hacen cada vez más escasos. Como líderes de opinión mundiales proporcionamos soluciones vanguardistas, sostenibles, flexibles y económicas a los desafíos de la vida con y sin agua.

Gómez Cajiao es una compañía de servicios de ingeniería multidisciplinaria, enfocada en ofrecer soluciones integrales a sus clientes para el desarrollo de proyectos exitosos en Colombia y en la región de América Latina.

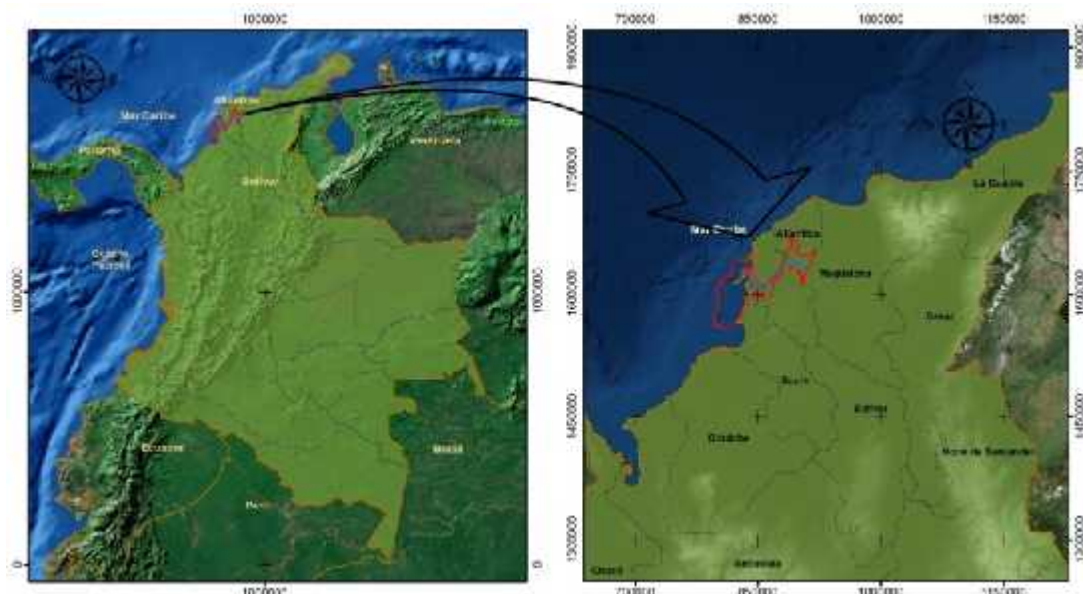


Figura 1: Localización del Sistema Canal del Dique

Nuestra excelencia técnica y habilidad en la gerencia de proyectos nos permiten asumir un control integrado de los proyectos de infraestructura desde su concepción hasta su operación y mantenimiento. Tenemos experiencia en los segmentos de transporte, Agua, Industria, Minería, Generación y Transmisión de Energía así como en Oil & Gas.

Contamos con especialistas con amplia experiencia en cada una de las disciplinas de ingeniería en los diferentes sectores en los que actuamos, aprovechando al máximo sus capacidades analíticas y creativas para encontrar soluciones de valor agregado a las necesidades de nuestros clientes.

A lo largo de nuestros más de 40 años de historia, nos hemos posicionado y somos conocidos por nuestro compromiso con la excelencia en ingeniería, ética profesional, cumplimiento de los objetivos de nuestros clientes y por estar a la vanguardia de los desarrollos tecnológicos y las mejores prácticas empresariales.

El cuidado de los recursos naturales y su óptimo aprovechamiento ha sido uno de los principales objetivos de nuestra compañía, es por eso que

proveemos soluciones innovadoras que son amigables al ambiente y orientadas al bienestar de la gente y sus comunidades.

2 SISTEMA CANAL DEL DIQUE

El sistema o ecorregión Canal del Dique es parte de un delta antiguo de desborde del río Magdalena con un área aproximada de 4.400 km², conformado por grandes ciénagas y humedales que incluyen más de 213 km² de espejos de agua de gran importancia ecológica y cerca de 870 km² de tierras bajas inundables (ver Figura 1).

Es una ecorregión de propósito múltiple que beneficia cerca de 1.5 millones de personas y en la que se desarrollan actividades de ganadería, agricultura, pesca, suministro de agua potable (para Cartagena y otras municipalidades), navegación fluvial y servicios ambientales. En el Sistema Canal del Dique se encuentran ubicados 18 municipios de los Departamentos del Atlántico, Bolívar y Sucre; las bahías de Barbacoas y Cartagena, y el Parque Natural Nacional Corales de Islas del Rosario. Cerca del 85% de la carga transportada por río Magdalena utiliza el canal.

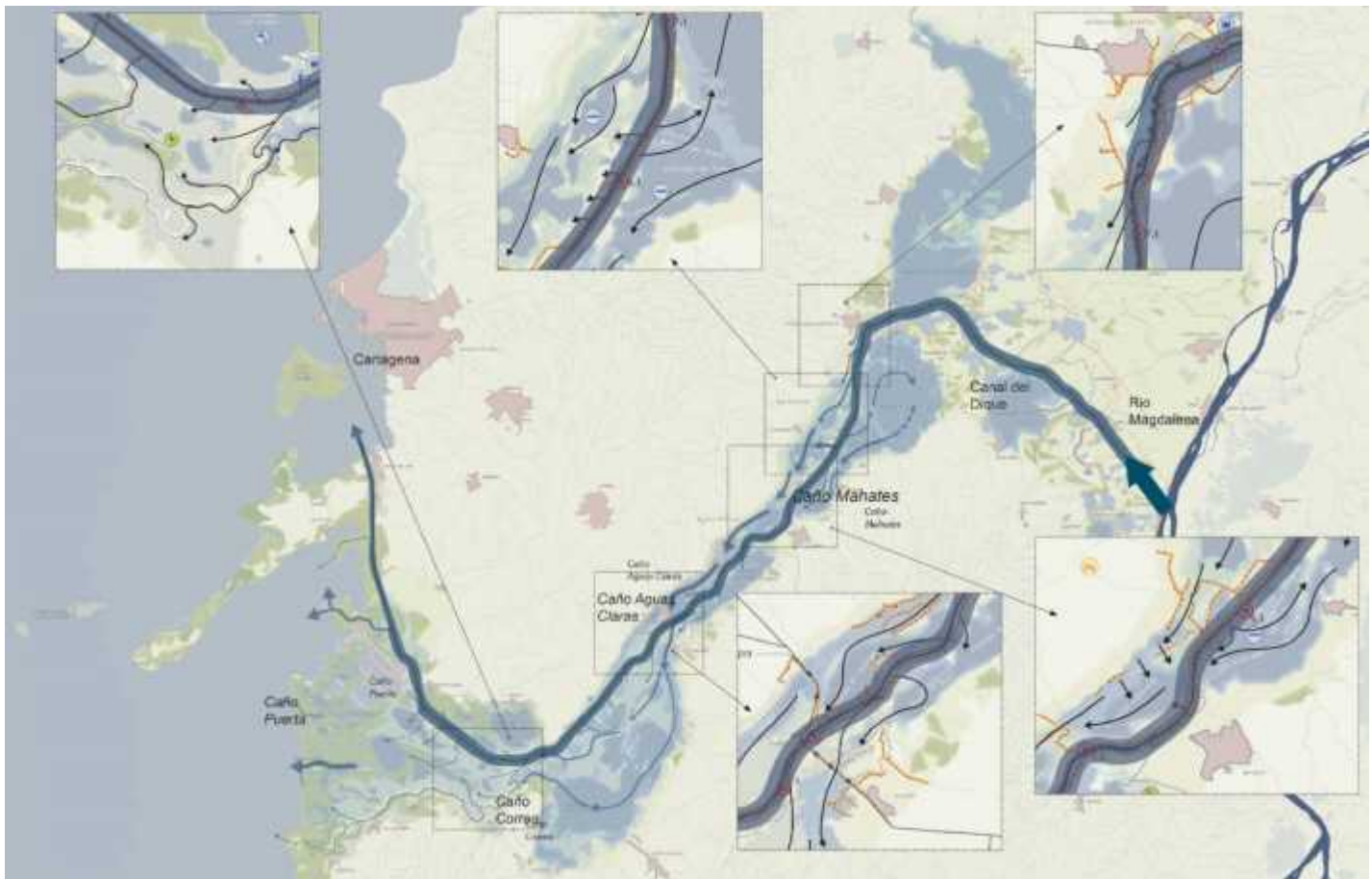


Figura 2: Visión general del comportamiento hidráulico del sistema del Canal del Dique durante marea alta.

La historia del Canal comienza en 1533 con Pedro de Heredia, cuando la entonces Provincia de Cartagena aprueba trabajos para unir varios caños del delta del Magdalena. En 1650, el canal fue adaptado para la navegación de champanes y chalupas entre Cartagena y el Río Magdalena a la altura de la población de Barranca Nueva por el hijo del Conde de Barajas, el Gobernador de la Provincia de Cartagena, don Pedro Zapata de Mendoza. El canal tenía unas 3.000 varas de largo (unos 2.400 metros) por un ancho variable de 4 a 8 varas (3 a 6 metros).

Entre 1844 y 1850 con las obras realizadas por el ingeniero M. Totten, el canal pasó a tener 150 kilómetros de largo por 20 metros de ancho y un calado de diseño de 2 m, el cual permitiría la navegación de los primeros convoyes a vapor que revolucionaron el transporte de la época entre Cartagena y el Río Magdalena, a la altura de la población de Calamar.

En 1895 la construcción del ferrocarril adquiere mayor importancia en la región y las obras del canal pasan a un segundo plano. A partir de 1923 y hasta 1985, el canal se intervino principalmente para eliminar curvas y ampliar del ancho de navegación, pero adicionalmente en 1934, con el Corte de Paricuica, se conectó el canal con la población Pasacaballos con la consecuente descarga de agua dulce, dándole a la Bahía de Cartagena características de estuario.

El canal actual, entre Cartagena y la población de Calamar, tiene un recorrido de 115 km, 90 m de ancho, profundidad variable entre 3m y 9m y 50 curvas. Las intervenciones del canal en el siglo XX han incrementado el caudal desviado del Río Magdalena en más de un 50% y elevado la descarga de sedimentos, afectando la conservación de las ciénagas existentes, la navegación, el Medio Ambiente en la Bahía de Cartagena y la preservación de los corales de las Islas del Rosario.

3 DESARROLLO HISTÓRICO

El Canal del Dique es una conexión artificial entre el Río Magdalena y el Mar Caribe cerca de Cartagena en Colombia que se inició en 1650. La Figura 2 demuestra que el Canal del Dique no es sólo un canal, es un sistema de cuerpos hídricos interconectados (conocidos como ciénagas) en una planicie de inundación; las ciénagas están conectadas entre sí y con el canal a través de canales pequeños (conocidos como caños).

Antiguamente el valle del Canal del Dique era una zona aluvial del Río Magdalena. Las fluctuaciones estacionales del río transformaron el valle, de ciénagas aisladas en temporada de sequía a un gran cuerpo hídrico donde el agua pasaba como una cascada de ciénaga en ciénaga en la temporada húmeda. La parte del valle aguas abajo era una laguna de agua salada, en conexión abierta con el mar, cerrada parcialmente por bancos de arena cubierto de manglares. Aún se encuentra agua salada en acuíferos profundos y pozos en tiempo de sequía.

En el siglo XVII y XVIII se crearon conexiones entre las ciénagas, empezando aguas abajo. En cierto momento del pasado se creó una conexión permanente con el Río Magdalena; esto condujo a una afluencia permanente de agua y sedimento en el Canal del Dique y salida el flujo a las bahías del Mar Caribe. En el siglo XVII, el canal tenía un patrón más o menos serpenteante. Las obras de gran escala realizadas en el siglo XX eliminaron la mayoría de curvas sinuosas, creando un canal prismático casi recto para efectos de navegación. Como producto de la intervención humana varias ciénagas fueron aisladas del canal mediante una *presa con bloqueo*; esta área es conocida como reservorio Guájaro a la vez que se desecó otra parte del sistema para conformar un Distrito de riego.

Las últimas obras grandes de rectificación y dragado culminaron en 1984, durante las cuales se eliminaron 43 curvas fluviales del canal, reduciendo la longitud total del canal de unos 152 a 117 km. Como resultado, la descarga a través del Canal se incrementó significativamente incluyendo grandes cantidades de sedimento (8.0 millones ton en un año promedio). El depósito de sedimento en el canal, las ciénagas y en las bahías de Cartagena y Barbacoas

produjo deterioro ecológico y altos costos de dragado de mantenimiento.

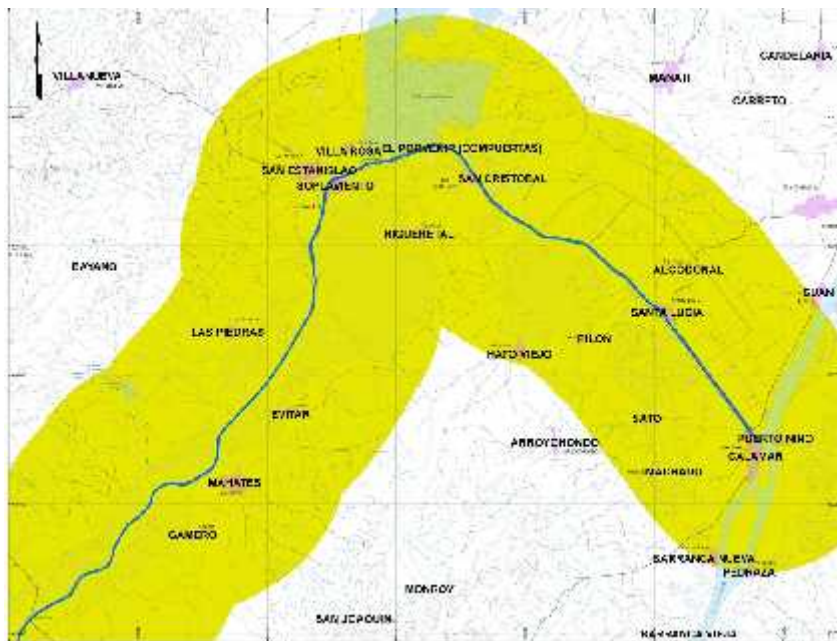
En Diciembre 2010, el dique a lo largo del Canal se entre Calamar y Santa Lucía se rompió produciendo una gran inundación de 35,000 has de terreno y dejando a miles de personas sin hogar. Este desastre dio el impulso para realizar este proyecto de restauración y control de inundaciones cuyo principal objetivo es desarrollar una solución integral con visión de largo plazo.

4 OBRAS PREVENTIVAS ETAPA 0

En cumplimiento de las actividades del proyecto, el Consorcio Dique entregó al Fondo Adaptación las acciones preventivas para evitar que las acciones y hechos ocurridos en la ola invernal 2010-2011 no se presenten nuevamente durante el periodo en el que adelantan los estudios y diseños del proyecto y/o en el periodo que dure la construcción de las obras del plan hidrosedimentológico para la restauración integral ambiental del sistema Canal del Dique. Las obras preventivas propuestas van en línea con las obras de la solución definitiva que será entregada al Fondo Adaptación.

El Consorcio Dique entregó las recomendaciones y los diseños básicos y detallados de las obras preventivas junto con los pliegos para licitación, los costos asociados y la programación para implementación. El Consorcio Dique también acompaña al Fondo Adaptación en el proceso de contratación y construcción.

Los trabajos realizados para la etapa 0 incluyeron: inspecciones en sitio para verificar la integridad de los diques y las estructuras hidráulicas existentes que tienen una función clave en la protección de las áreas pobladas en las dos márgenes del Canal, diagnóstico, modelación hidráulica preliminar simulando los niveles de agua registrados en el 2010/2011, levantamientos topográficos generales de la margen derecha del canal entre Calamar y El Porvenir, levantamientos topográficos generales de las poblaciones cercanas al canal, exploración geotécnica de la margen derecha del Canal entre Calamar y El Porvenir y poblaciones cercanas al Canal, diagnóstico de riesgo por inundación y la elaboración de los diseños y términos de referencia para la construcción de las Obras Preventivas. Las obras preventivas incluyen el



DEPARTAMENTOS	MUNICIPIOS (M) Y CORREGIMIENTOS (C)
Atlántico (1 municipio y 1 Corregimiento)	Santa Lucía (M)
	Villa Rosa (C)
Bolívar (4 Municipios y 5 Corregimientos)	Calamar (M)
	Evitar (C)
	Gambote (C)
	Hato Viejo (C)
	Higeretal (C)
	Mahates
	Soplaviento (M)
	San Cristóbal (M)
	San Estanislao (M)

Figura 3: Localización obras preventivas etapa 0

reforzamiento de los diques existentes, construcción de dique nuevos, drenaje y otras medidas de control para reducir el riesgo de inundación de las áreas pobladas identificadas en 5 municipios y 6 corregimientos a lo largo del Canal del Dique (ver Figura 3)

5 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración del sistema del Canal del Dique tiene el objetivo de resolver varios problemas que son el resultado de desarrollos sociales en el sistema así como desarrollos relacionados a las ampliaciones y el funcionamiento del canal para la navegación (Consortio Dique, 2015f).

5.1 Rehabilitar el área costera

El área costera ha sido afectada por la salida permanente del flujo de agua del Canal a las bahías de Cartagena y Barbacoas. La restauración del sistema costero está dirigida a detener los siguientes procesos en las bahías:

- Sedimentación y desalinización de la bahía de Cartagena y Barbacoas debido al suministro de una cantidad grande de agua fluvial por el canal. Esto tiene un impacto negativo en la flora y fauna de la bahía y en el turismo (agua con alta turbiedad);
- Degradación de los arrecifes coralinos del Parque Nacional las Islas del Rosario y San Bernardo debido al agua fluvial en las bahías que aporta

sedimentos y cambia la salinidad, y durante ciertas épocas del año (bombazos) impacta la zona de los arrecifes coralinos.

Adicionalmente se propone invertir el proceso de estuarización, de la costa aguas abajo de Puerto Badel, cerrando el paso del agua dulce y sedimentos y dejar que la bahía de Cartagena se restaure a la condición de bahía.

Como parte de este proceso se propone reconstruir parte del caño Estero o crear uno nuevo por Lequerica, volviendo a permitir el libre flujo de agua marina de la Bahía de Barbacoas a la Bahía de Cartagena, lo cual a su vez beneficie tanto el ecosistema como el paso de embarcaciones menores y el turismo.

5.2 Mantener la diversidad en el área del delta

El área del delta ha evolucionado como producto del relleno gradual de la antigua ciénaga costera (Matuya) con agua del canal rica en sedimentos. Lo que solía ser una laguna de agua salada se ha convertido en un delta dominado por agua dulce. Hay grandes áreas que se han vuelto adecuadas para uso agrícola debido a la sedimentación del delta, lo cual ha posibilitado el asentamiento de pequeños pueblos en las tierras más altas. La gente que vive en el delta se ha adaptado a las inundaciones frecuentes e incluso se benefician de ella para irrigar sus cultivos.

El área del delta alberga vegetaciones especiales como manglares y corchales. Los corchales son una vegetación única compuesta principalmente por el corcho (*Pterocarpus officinalis*) los cuales crecen en la parte sur del delta en el límite interior de los manglares. Con el fin de proteger los corchales, esta área ha sido designada como Santuario de Flora y Fauna. Los corchales pueden crecer y sobrevivir en agua y suelo con una salinidad inferior a 5 g/l. Requieren agua dulce, y resisten agua salada solo por un breve período de tiempo (aproximadamente 10 días seguidos máximos). Es hábitat de entre otros de; el tigrillo, el mono aullador, la babilla y un gran número de aves entre los cuales muchas especies son migratorias y del Chavarri, una especie de ave anseriforme de la familia Anhimidae, que solamente vive en el norte de Colombia y en el norte de Venezuela.

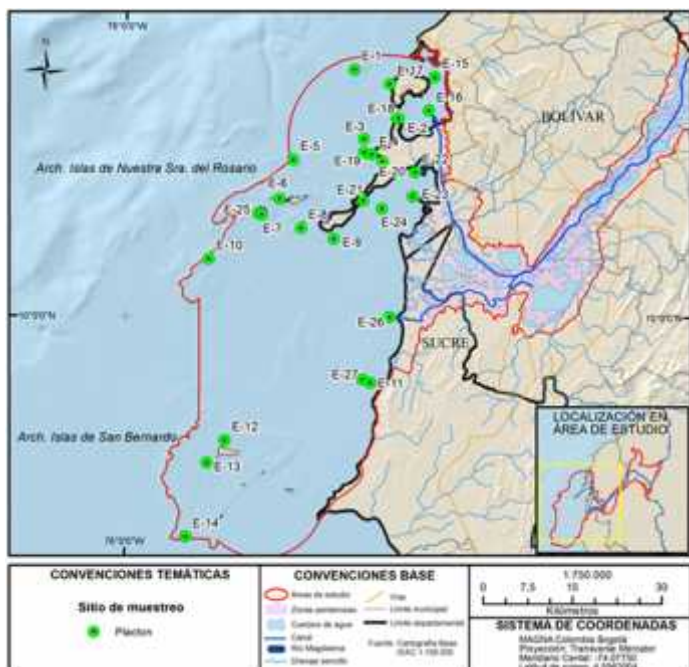


Figura 4: Puntos de seguimiento cuerpos asociados canal del Dique, Fuente Consorcio Dique 2015

5.3 Restaurar las ciénagas

Los niveles del agua del río Magdalena, en Calamar, fluctúan al nivel del canal del Dique entre los 1.5 y 9.5 metros sobre el nivel del mar. En promedio una o dos veces al año el río presenta niveles altos o pulsos de agua. Existe una gran variación en los niveles de los pulsos entre los años dependiendo de la lluvia en la macro cuenca de los

ríos Magdalena y Cauca. Por la conexión abierta del canal, las aguas del canal fluctúan en la misma forma que el río. Parte de las ciénagas están conectadas directamente o indirectamente a través de un caño y otra ciénaga al canal. El nivel del agua en estas ciénagas sigue las fluctuaciones del nivel de agua en el canal. Durante los pulsos más altos, todo el valle, incluyendo las ciénagas aisladas del canal se inundan completamente y algunas veces actúan como un amortiguador de inundaciones, si es que no están bloqueadas o aisladas por obras de infraestructura (Consorcio Dique, 2015i). Estos pulsos de agua son esenciales para el funcionamiento del ecosistema porque:

- Aportan nutrientes y materia orgánica a las aguas de las ciénagas para impulsar la producción primaria,
- Expulsan parte de la vegetación flotante y remuevan restos orgánicos llevándolos con la corriente aguas abajo,
- Permiten el intercambio y la migración de especies acuáticas y en particular especies de importancia tanto ecológica como socio-económica como el bocachico y el bagre rayado.

Debido a la construcción y funcionamiento actual del canal muchas ciénagas se drenan excesivamente, causando desecación y pérdida de valores para el ecosistema y para los pescadores. La presencia de diques, jarillones y otras obras de ingeniería local impiden la libre circulación del agua del pulso, aislando ciénagas de los beneficios del pulso de agua.

La restauración de las ciénagas tiene como objetivo mejorar el eco-sistema de las ciénagas mediante:

- Mejoramiento de la interconexión entre las ciénagas y entre las ciénagas y el canal durante los pulsos de tal forma que se mejora el intercambio, optimiza la expulsión de vegetación flotante y facilita la migración de peces
- Lograr el aislamiento de las ciénagas del canal en períodos de descargas bajas para mantener el agua en las ciénagas y así mantener un buen volumen, sostener el ecosistema e incrementar su productividad;
- El mejoramiento de la calidad de agua de las ciénagas restaurando el sistema de circulación en

cascadas y por desborde reduciendo así la sedimentación.

6 USO MULTI-PROPÓSITO DEL CANAL

Este capítulo brinda una visión general del uso multi-propósito del canal. La disponibilidad de agua dulce es esencial para proveer el área con agua para muchos usos además para mantener suficiente profundidad de agua para el transporte fluvial desde y hacia Cartagena por el río Magdalena. Tanto muchos de los ecosistemas como los usos productivos de las áreas del delta son vulnerables y sensibles a alta salinidad del agua, por lo tanto, es importante controlar la intrusión salina en dichas áreas.

6.1 Consumo de agua

En el área del Canal del Dique se usa agua dulce del canal para abastecer las poblaciones, irrigación, para uso industrial y también para la acuicultura. Cartagena, una ciudad patrimonio de la humanidad en la costa de Colombia, con más de un millón de habitantes, también utiliza el agua del canal para la producción de agua potable y para uso industrial. Actualmente se necesita una descarga mínima de 29 m³/s y 75 m³/s en el año 2040 para cumplir con la demanda de agua (Consortio Dique, 2015b).

6.2 Transporte de vías navegables tierra adentro

Las dimensiones del convoy de diseño establecido en el APP del Río Magdalena son 210m x 26m y para el Canal del Dique se ha recomendado un convoy de 232m x 32m (un remolcador empujador con tres barcasas a lo largo y dos a lo ancho). Este convoy se ha recomendado teniendo en cuenta la proyección de carga al año 2043 y las dimensiones de la esclusa con una vida económica útil de las esclusas (1:100 años) y que permitan el paso de los convoyes sin fraccionamiento. La profundidad de agua del canal debe ser suficiente para permitir la navegación de un convoy con 1.9 metros de calado (6 pies). Otras condiciones limitantes para la navegación son el ancho del canal y el radio de curvatura en algunas de las curvas. Para alcanzar las dimensiones mínimas del canal con los niveles de agua reducidos, se requiere el dragado y la excavación de algunas de las márgenes del canal. La estabilidad e integridad de los márgenes del canal es un tema de preocupación debido a las fuerzas que inducen las olas generadas por los convoyes. Como parte de las obras de

navegación se protegerán las áreas vitales que sean sensibles a la erosión (Consortio Dique, 2015a).

6.3 Intrusión salina

Se anticipa que la intrusión salina se proyecte tierra adentro bajo la influencia del cambio climático y el flujo de la marea. La estratificación vertical producto de las diferencias de densidad entre el agua dulce del río y el agua salada del mar crea la formación de una cuña salina que se mueve aguas arriba y aguas abajo con la influencia de las variaciones en la descarga del canal y las mareas. La longitud de intrusión de la cuña salina a menudo se ve reflejada por la existencia de especies tolerantes a la sal, como los manglares en las áreas más aguas abajo del delta y la transición gradual hacia especies de agua dulce a una distancia más lejos de la cuña salina. Para asegurar la disponibilidad de agua dulce para 1.5 millón de personas y para proteger los corrales en la parte sur del delta, la longitud de intrusión salina debe mantenerse restringida (Consortio Dique, 2015c).



Figura 5: Navegación por el Canal del Dique (Foto cortesía Naviera Fluvial colombiana)

6.4 Pesca

Las comunidades en el área del Canal Del Dique dependen en un gran porcentaje de la agricultura y la pesca para subsistir. El incremento de la población de peces al mejorar la calidad de agua y la productividad en las ciénagas mejorará la calidad de sus vidas. Asimismo la recuperación de las bahías y la costa aguas abajo de Puerto Badel va a permitir un incremento de la producción de peces de aguas salobres y de mar.

7 ESTRATEGIA PARA REHABILITAR EL SISTEMA

La visión de largo plazo para una solución integral del Canal del Dique consiste en varias medidas en el sistema hídrico. Algunas medidas se centran en mejorar la parte continental del sistema y otras son orientadas para mejorar la parte marina. Inicialmente se han desarrollado tres estrategias de solución: (1) reducción del flujo de descarga a través del canal, (2) reducción y redistribución del flujo de agua del canal al mar y (3) restauración del sistema de ciénagas; cada una de estas estrategias centrándose en una parte específica de la cuenca (Consortio Dique, 2015f).

7.1 Evaluación del sistema actual e impactos de las medidas formuladas sobre el Canal del Dique en base a los estudios de campo y estudios de modelación

Para contar con una línea base del sistema fue necesario ejecutar una extensa recopilación de datos y campañas de mediciones:

- Topografía Aerotransportada LIDAR de alta precisión en un área de 1.930 km², Cartografía escala 1:1000, (sistema IGAC); y preparación de mapas diacrónicos.



Figura 6: Topografía Aerotransportada LIDAR

- Construcción de una base de datos georreferenciada sobre los cambios en la cobertura vegetal con base en imágenes de satélite y fotografías aéreas en 2014;

- Estudios de erosión y transporte de sedimentos en 2014;
- 1.350 km de Batimetrías en canal, caños, ciénagas y bahías (Diciembre y Enero 2014);

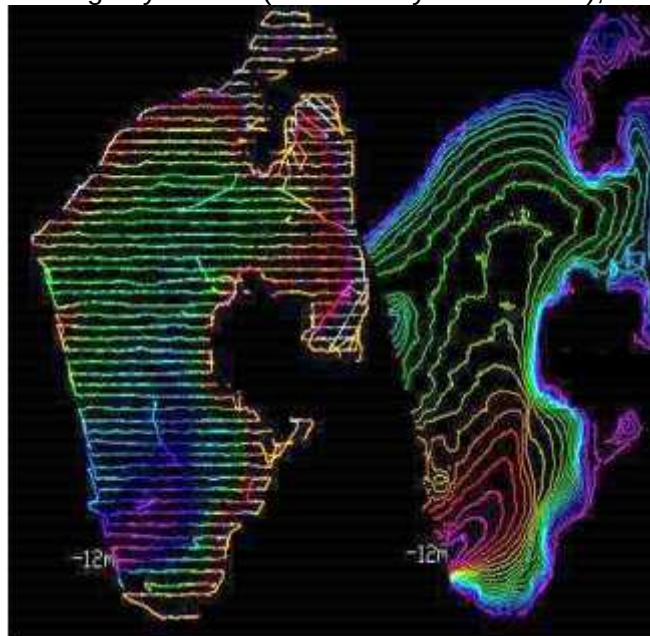


Figura 7: Batimetrías

- Mediciones de caudales, sedimentos, salinidad y calidad de agua en el sistema, campañas de mediciones en río Magdalena, canal, ciénagas y bahías; periodo de caudales bajos, medios y altos Río Magdalena



Figura 8: Mediciones de caudales, sedimentos, salinidad y calidad de agua

- Mediciones de los niveles de agua en el canal y en las ciénagas (desde Marzo 2014), Instalación de 13 miras y 16 estaciones de radar con transmisión de datos en tiempo real, que formaran

parte del sistema de alertas tempranas y de operación automatizada de las obras definitivas;

- Estudio de la elasticidad hídrica de las ciénagas en 2014 y 2015;



Figura 9: Mediciones de los niveles de agua en el canal y en las ciénagas



Figura 10: Toma de datos e inventarios de flora y fauna marina

- Estudios hidrográficos (medición de flujos de descarga y sedimento) en Marzo, Mayo y Noviembre 2014 en base a las últimas tecnologías (ADCP y OBS);
- Inventarios de flora y fauna en 2014 y 2015. Toma de 1540 muestras del componente biótico en 106 estaciones en dos estaciones ambientales contrastantes;

En base a los datos recopilados se han desarrollado, calibrado y validado sofisticados modelos (hidráulicos) para elaborar estrategias que rehabiliten el sistema:

- Modelo hidrodinámico 1D2D del sistema del Canal Del Dique. El modelo representa los niveles de agua, descargas en el canal y las ciénagas conectadas. Con este modelo es posible calcular la longitud de intrusión salina en el delta y los

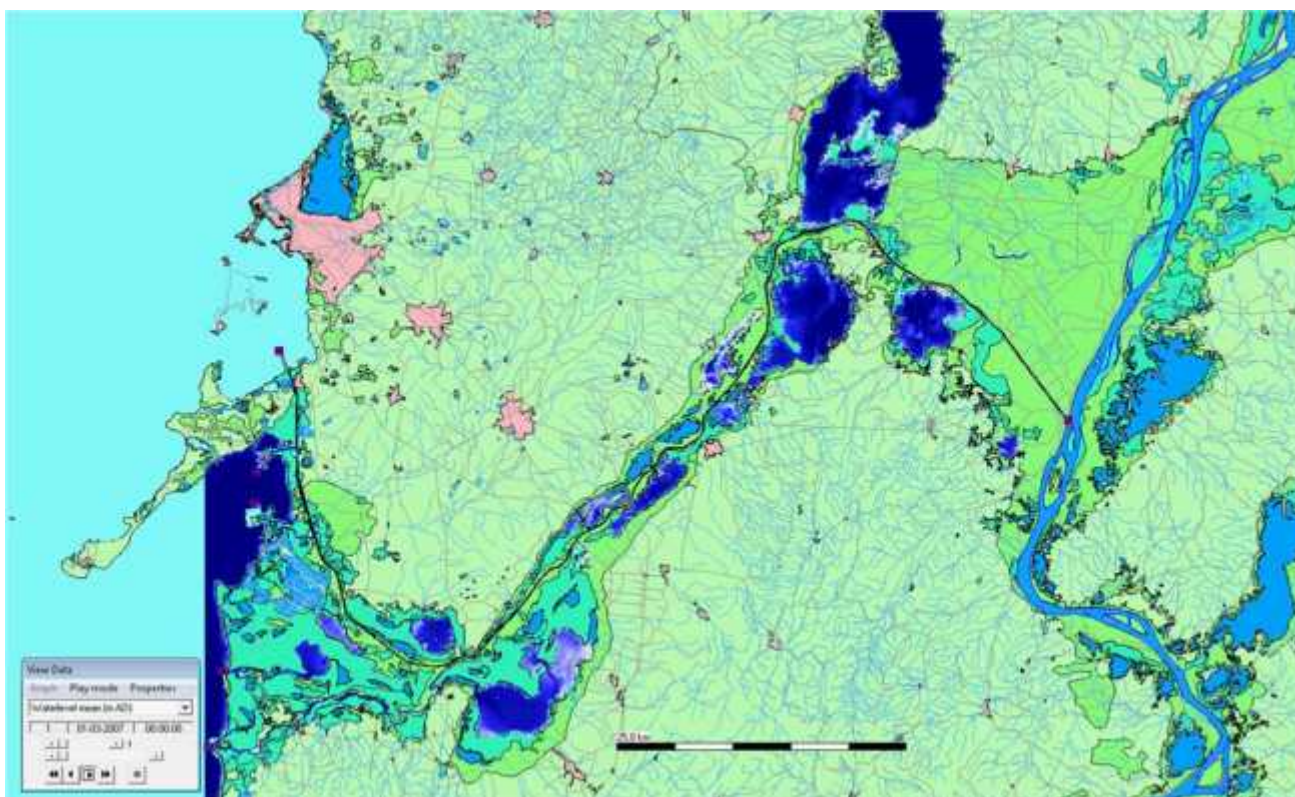


Figura 11: Modelo hidrodinámico 1D2D del sistema del Canal Del Dique

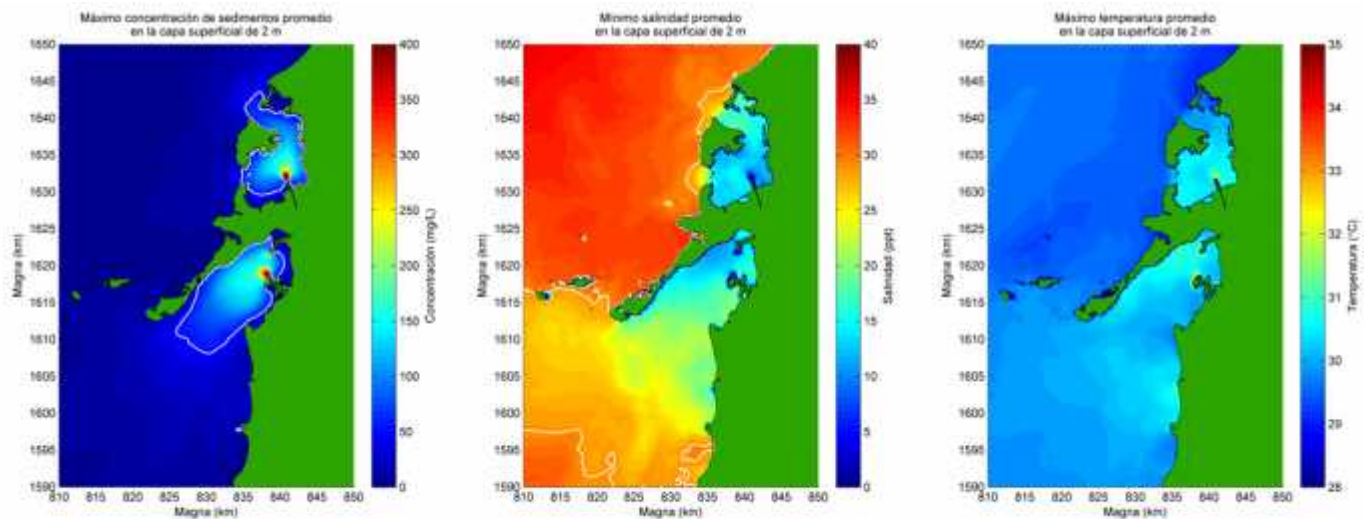


Figura 12: Efecto del flujo de salida de agua fluvial en el área costera sobre la concentración de sedimentos (izquierda), salinidad (medio) y temperatura (derecha) en base a los resultados de modelación en donde se simulan condiciones extremas.

niveles de agua en el Río Magdalena, el canal, los caños y las ciénagas (ver Figura 11);

- El modelo 2D de la entrada en Calamar, punto de bifurcación del Río Magdalena – Canal Del Dique. Este modelo se ha desarrollado para obtener conocimientos detallados de los patrones de flujo y los procesos de sedimento en la entrada, y para desarrollar patrones de flujo como información para los estudios de maniobras de convoyes en la bifurcación;
- Modelo de sedimento en suspensión. Este modelo se ha desarrollado para analizar las concentraciones de sedimento, y los procesos de sedimentación y erosión en el sistema del Canal del Dique;
- Modelo de la calidad de agua. Este modelo se ha desarrollado para determinar la calidad de agua en las ciénagas y analizar los efectos de cambios en circulación y intercambio.
- Modelo costero 3D. este modelo sirve para analizar los cambios espaciales y temporales de la salinidad, temperatura, sedimentación y concentraciones de sedimento en el área costera (ver Figura 12).

7.2 Estrategia 1: Reducción

Es una estrategia directa de control activo para reducir la cantidad de agua que fluye del Río Magdalena al canal. Debido a esta intervención en la parte alta del sistema hay menos agua dulce y rica en sedimentos que desemboca en las bahías y la zona

costera. El impacto de esta intervención tiene consecuencias positivas (menor riesgo de inundación, menos agua dulce en las bahías) y negativas (menor intercambio de las ciénagas y descenso en los niveles de las ciénagas conectadas). Se han distinguido tres niveles de reducción: (1) flujo pico; (2) estacional y (3) flujo base. Varias simulaciones con el modelo matemático han demostrado que esta estrategia es efectiva (Consortio Dique, 2015d y 2015e).

Reducción del flujo pico: consiste en reducir la descargar pico en el canal. La extensión en la que se podría reducir la descarga pico está condicionada por los siguientes factores:

- Riesgo de inundaciones de las áreas a lo largo del canal (riesgo de falla en el dique, rebosamiento de los márgenes del río);
- Navegación: en condiciones extremas de flujo, la navegación del Río Magdalena al canal puede ocasionar dificultades náuticas debido a grandes corrientes cruzadas;

Reducción estacional: para la descarga pico que ocurre sólo ocasionalmente (una o dos veces al año). Por lo tanto, es más efectivo reducir el caudal cuando la demanda de agua en el Canal del Dique es relativamente baja. La cantidad de agua que se necesita está determinada principalmente por los usos en cada temporada:

Estrategia 1
Reducción

Estrategia 2
Reducción &
redistribución

Estrategia 3
Control total

Compuerta y esclusa en Calamar



Esclusa en Mahates



Compuerta cerca de Puerto Badel



Figura 13: Desarrollo de las alternativas

- Suministro de agua hacia la ciénaga de Juan Gómez para el acueducto de Cartagena.

7.3 Estrategia 2: Reducción y redistribución

La redistribución del agua en el sistema tiene como objetivo desviar el agua dulce y rica en sedimentos a determinadas partes del área costera, en donde no ocasione ningún problema o incluso mejore el medio ambiente.

Para evitar que el agua dulce rica en sedimentos entre en la bahía de Cartagena, se han llevado a cabo cálculos con el modelo matemático en donde se ha cortado el paso de agua que desemboca en Pasacaballos, caños Lequerica y Matunilla al área del delta y la bahía de Cartagena. Para lograr esto se requiere de una compuerta cerca de Puerto Badel (ver Figura 13). Se han estudiado otros sitios para control pero el sitio de Puerto Badel resulta ser el más apropiado. En este caso, el agua del canal es

- Suministro de agua para recambio de las ciénagas, migración de peces y evacuación de vegetación flotante (principalmente taruya o buchón de agua);
- Suministro de agua para el embalse del Guájaro.

Reducción del flujo base: el flujo base es el flujo mínimo que se debe mantener para satisfacer la demanda de agua en el área del Canal del Dique. Durante ciertos períodos del año, es posible mantener este flujo mínimo. El flujo base mínimo requerido es determinado por los siguientes factores:

- Flujo base de agua dulce para evitar la intrusión de agua salina en el delta;
- Un flujo mínimo necesario para obtener suficiente profundidad de agua para la navegación;

desviada hacia el mar a través de una nueva conexión entre el canal y la ciénaga Honda, desde donde puede fluir hacia la desembocadura de Boca Cerrada. Otra opción es desviar el agua a través del caño Correa directamente al mar. En este caso el caño debería ser ampliado.

Las medidas descritas arriba no son factibles por sí solas. En caso de que la mayor parte del agua sea descargada a través de Boca Cerrada y caño Correa, esto tendrá un impacto en las poblaciones del delta, en la bahía de Barbacoas y hasta en las Islas del Rosario. En este escenario, el área delta estaría propensa a una inundación durante dos periodos al año. Esto tiene un impacto en la vida de la gente que vive en el delta y afecta además las condiciones para los ecosistemas actuales. En este escenario la descarga “natural” pico puede ser tan extrema que las Islas de Rosario estarían expuestas al agua del río con impactos adversos para los ecosistemas como los corales y las praderas de pastos marinos. Si bien la redistribución en sí no es una opción factible, esta estrategia es la más prometedora en conjunto con la estrategia de reducción (párrafo 4.2).

7.4 Estrategia 3: Restauración del sistema de ciénagas

Se implementarían las siguientes medidas para mejorar el ecosistema de las ciénagas.

- Cierre de caños: para evitar el vaciado de las ciénagas se controlarían algunos de los caños que drenan las ciénagas en el canal;
- Secciones de desborde y de salida del flujo: debido a la presencia de diques en el Canal del Dique, el intercambio de agua del canal a las ciénagas está limitado al flujo a través de los caños y el rebosamiento de los márgenes en las secciones más bajas. Para restaurar la circulación del agua como una cascada de ciénagas, se construirían secciones de entrada y de salida de flujo para crear conexiones temporales entre el canal y las ciénagas. El nivel de cresta y el ancho de estas secciones define el nivel de agua en las ciénagas y la cantidad de agua que fluye dentro y fuera de la ciénaga. A estas zonas de conexión temporal las hemos llamados “ríos verdes”, porque la mayor parte del tiempo estarán secas y cubiertas de vegetación;
- Conexiones entre ciénagas: al retirar los obstáculos existentes o crear conexiones se puede lograr un flujo entre las ciénagas facilitando

así la migración de peces, manatíes y otros organismos acuáticos.

8 LA GESTIÓN LOCAL PARTICIPATIVA

El Componente Socio-económico, cultural y de Gestión Participativa del *Proyecto de Restauración Ambiental* definió, dentro de los aspectos encomendados por el Fondo Adaptación, una serie de talleres de socialización y gestión participativa, que contienen 4 ciclos específicos, relacionados con el engranaje dentro de la dinámica propia del Proyecto de Restauración del Sistema Canal del Dique. En los tres ciclos adelantados hasta la fecha se registró una muy amplia representatividad y receptividad comunitaria que ha ido en aumento de interés local.



Figura 14: Una serie de talleres de socialización y gestión participativa

Es importante señalar que ha existido una marcada diferencia de involucramiento a lo largo del proceso en las diferentes zonas del proyecto, puesto que las poblaciones minoritarias de carácter étnico, especialmente asentadas en la parte costera e insular, se manifestaron contrarias a participar del

proceso si no era en el marco de Consultas Previas y solicitaron expresamente mantenerse al margen hasta tanto no se dieran este tipo de espacios formales definidos por la legislación, todo lo cual fue respetado por el proyecto.

Estos ciclos nodales han venido siendo complementados con reuniones de seguimiento municipal donde se evalúan y se realiza el seguimiento respectivo (un mes después de los talleres nodales y en el marco de los grupos autoseleccionados por la población), las temáticas tratadas y se utilizan otro tipo de herramientas lúdicas y cognoscitivas de apropiación de los aspectos relacionados con la Adaptación del Territorio. En este caso, las “Reuniones de Seguimiento Municipales” cuentan con un grupo de participantes complementarios a los que asisten a los Ciclos Nodales y profundizan los conceptos a partir de una herramienta lúdico-pedagógica confeccionada para este fin, llamada “Cuaderno de Trabajo”.

Una de las primeras actividades de construcción colectiva por parte de los actores locales (Comunidades e Instituciones) consistió en la definición del Mapa de Actores y Conflictos en el cual se discutió y revisó la Línea de Tiempo del territorio y se identificaron las principales problemáticas. Una ponderación realizada de estas problemáticas dio un valor en orden de priorización así: a) Inundaciones, b) Sedimentación de ciénagas y canal, c) Degradación y disminución de Bosque Seco Tropical y d) Baja producción agrícola y pesquera.

Desde el punto de vista de los principales conflictos identificados y priorizados se identificaron: los enfrentamientos entre hacendados y campesinos-pescadores (comunidad), b) enfrentamientos al interior de la comunidad por recursos naturales, c) Confrontaciones entre la comunidad y las autoridades ambientales por el uso de los recursos y d) Confrontaciones entre la comunidad y el gremio empresarial.

Se destacó en el marco de este Ciclo temático (nodo Cartagena) la posición de las poblaciones litorales – Costeras e Insulares donde expresaron gran desconfianza de las poblaciones hacia toda la intervención estatal y el rechazo a la estructuración de proyectos que involucren o influyan sobre las poblaciones y el territorio sin la exigencia del debido proceso de Consulta con la participación del Ministerio del Interior. Igualmente Reivindicaron su Autonomía y Uso Ancestral del territorio.

Entretanto, la población continental-Fluvial, expresó su deseo de continuar con el proceso y apoyar el proyecto de Restauración, ya que ven finalmente materializado un intento del Estado en dar solución a peticiones de casi 30 años. Solicitaron no perder el impulso para materializar cuanto antes este proyecto, el cual ven altamente positivo, siempre y cuando se dé énfasis a la idea de restaurar los humedales y demás ecosistemas baldíos del Estado, tal como los playones y las rondas hídricas de ciénagas.

PROCESO DE GESTION PARTICIPATIVA “TALLERES DE CONSTRUCCION COLECTIVA”			
CICLO DE TALLERES	Primer Ciclo de Talleres “Aprestamiento y Mapa de Actores y Conflictos”	Segundo Ciclo de Talleres “Prospectiva Social”	Tercer Ciclo de Talleres “Socialización de Alternativas de Obras Identificadas y Ponderación de Criterios Relacionados”
Fechas	Diciembre 10, 11, 12 y 13 de 2013	Abril 23,24,25 y 26 de 2014	Octubre 27,28 29 y 30 de 2014
No. de Actores Convocados	380	461	417
No. de Actores que Participaron y Porcentaje	238 (62%)	361 (78%)	377 (86%)

Tabla 1: Proceso de gestión participativa

PROCESO DE GESTION PARTICIPATIVA “REUNIONES DE SEGUIMIENTO MUNICIPALES”

REUNIONES DE SEGUIMIENTO	Primera Reunión de Seguimiento “Aprestamiento y Mapa de Actores y Conflictos”	Segundo Reunión de Seguimiento “Prospectiva Social”	Tercera Reunión de Seguimiento “Socialización de Alternativas de Obras Identificadas y Ponderación de Criterios Relacionados”
Fecha	Febrero 17,18,19,20,21,24,25 y 26 de 2014	Junio 17, 18, 19, 20 de 2014	Noviembre 18,19,20,21,24,25,26,27,28 y diciembre 1 de 2014
No. de Actores Convocados	519	506	593
No. de Actores que Participaron y Porcentaje	(71%)	(76%)	(78%)

Tabla 2: Resultados del ejercicio: ponderación social de intereses de ecosistemas y actividades

Durante el Ciclo II, relacionado con la Prospectiva social se consideraron temas y elementos de interés percepción social que han aportado a la configuración técnica de los resultados para la definición de las obras y las decisiones de política pública tal como resultado ser el caso de la revisión de los escenarios futuros (con y sin proyecto) y otros aspectos de orientación fundamental para el diseño definitivo de la alternativa recomendada y su implementación. En los resultados del ejercicio de ponderación social de intereses, donde se consideraron tres grandes conjuntos de temas, tales como: a) el factor de “solución para riesgo”; b) “escenarios sistemas marinos mejorados y desarrollo agrícola; y, c) el factor de ponderación “ciénagas y canal mejorados, los actores locales (comunidad e instituciones) enumeraron entre los tres principales intereses que las ciénagas y el uso sostenible de las mismas constituían uno de los temas de su mayor interés.

Durante el Ciclo III se pudo socializar con los actores locales las Alternativas de Obras Identificadas previstas dentro del Plan de Restauración del Sistema Canal del Dique y realizar la ponderación social de algunos criterios-intereses relacionados con las Alternativas de Obras Identificadas. Así mismo, se pudo realizar un análisis detallado de todos y cada uno de los componentes que en el esquema conceptual podrían diseñarse para el Canal del Dique.

En el ciclo III, se pudo constatar que la mayoría (más del 50%) de los actores locales que participaron en la ponderación correspondía al sector productivo (campesinos, agricultores y pescadores), como consecuencia, dentro de los 3 principales intereses priorizados se encuentra el mantenimiento o mejoramiento de las condiciones para la restauración de las Ciénagas y el mantenimiento y mejoramiento de las condiciones actuales de la Agricultura de subsistencia. Por lo tanto, los actores locales priorizaron los intereses que están directamente relacionados con las actividades que posibilitan su subsistencia y medio de vida, como son la pesca y la pequeña agricultura; con el deseo que el proyecto propenda porque esos intereses de beneficio colectivo sean tenidos en cuenta en el momento de seleccionar la Alternativa para la Restauración del Sistema Canal del Dique.



Figura 15: Esquema metodológico de los Talleres del Ciclo III

Teniendo en cuenta que las Alternativas de Obras Identificadas se construyen a partir de las problemáticas ambientales y sociales de la



Figura 16a: Foro con comunidades en Calamar y



Figura 16b: Pesca artesanal con atarraya ciénaga de Jobo

ecorregión del Canal del Dique y de los objetivos del Proyecto, la socialización y entendimiento de estos aspectos es importante para llevar a cabo la ponderación y validación comunitaria de los criterios relacionados con las alternativas propuestas.

Se socializó con las comunidades los elementos básicos y conceptuales de las alternativas y se definieron soluciones conjuntas a partir de la costo-efectividad socio ambiental, económico e institucional. Se recomendó la alternativa de control y redistribución (alternativa 2) que permite prevenir y mitigar el impacto sobre las bahías de Cartagena y Barbacoas y el Parque Nacional Natural de Corales del Rosario y sobre la vida de los pobladores del área del complejo cenagoso asociado al Canal del Dique considerando que esta solución está estrechamente relacionada con las actividades de pesca, agricultura y ganadería que se adelantan en el territorio y se han evaluado las diferentes alternativas para disminuir hasta donde sea posible los impactos negativos, aumentar los positivos y tomar una decisión que sea lo más costo efectiva posible, en el marco de un proyecto de regulación de caudal activo.

Igualmente, dentro de los 3 intereses con mayor ponderación se estableció la protección de la zona afectada por las inundaciones de 2010, es decir, el Control de inundaciones; evidenciando que para los actores locales es prioritario que el proyecto conduzca a la solución integral de esta problemática y no volver a sufrir las afectaciones generadas por las

inundaciones del fenómeno de la Niña en los años 2010-2011.

Cada una de las etapas del proceso de gestión participativa, se ha estructurado para hacer parte de las diferentes etapas técnicas del proyecto y contribuir hasta llegar a la construcción del Plan de Manejo para la Restauración Socio-Ambiental. Este proceso preparará las bases teóricas y prácticas a fin de poner en marcha las obras consensuadas del territorio planeadas para iniciar su construcción durante el año 2016.

Hasta el momento, la visión elaborada por la comunidad construye una visión no solo del proyecto, sino una visión integral de un desarrollo sostenible de su territorio. Esta visión se enmarca en aspectos claves que la definen y son un insumo importante para direccionar acciones y obras y compromisos entre todos los actores por el futuro y el desarrollo territorial.

La visión regional definida por los actores sociales del territorio incorpora una serie de aspectos muy claves de internalización de los propósitos y objetivos del proyecto, especialmente en lo referido al papel de la Adaptación.

La comunidad visiona la ecorregión del Canal del Dique en el 2030 con la superación de los conflictos generados por las inundaciones y sequías, así como por el tema de los sedimentos superadas, en donde

	INTERESES	NODO SUAN	NODO SABANALARGA	NODO CARTAGENA	NODO ARJONA	TOTAL	%
FACTOR DE PONDERACION "CIENAGAS Y CANAL MEJORADOS"	Agricultura de subsistencia	63	48	19	62	192	20
	Pesca continental	33	37	8	26	104	11
	Ciénagas	58	68	21	62	209	22
	Córchales	0	2	1	10	13	1
	Control de inundaciones	60	55	18	57	190	20
FACTOR DE PONDERACION "ESCENARIOS SISTEMAS MARINOS MEJORADOS Y DESARROLLO AGRICOLA"	Calidad de las bahías	0	2	1	3	6	1
	Pesca marina	0	0	9	4	13	1
	Corales	0	5	0	0	5	0
	Turismo	6	14	0	9	29	3
	Manglares	0	1	48	6	55	6
	Praderas fanerógamas	0	0	0	0	0	0
	Agricultura comercial	12	12	6	9	39	4
FACTOR DE PONDERACIÓN "SOLUCIÓN PARA RIESGO DISMINUIDO"	Riesgo de falla en el sistema de riesgo y control	5	14	2	2	23	2
	Seguridad	38	11	9	19	77	8
	Costos operacionales	3	0	2	2	7	1
Intereses con mayor ponderación		Ciénagas 22%; Agricultura de subsistencia y Control de inundaciones, con el 20% cada una; y Pesca Continental 11%.					
Intereses con menor ponderación		Corales y Praderas fanerógamas, con 0% individualmente; y Córchales, Calidad de las bahías, Pesca marina, y Costos operacionales, con 1% respectivamente.					

Tabla 3: Esquema metodológico de los Talleres del Ciclo III

el capital humano se encuentre ya debidamente organizado, motivado, liderando procesos de participación, comunicación y el fortalecimiento en torno a la ADAPTACIÓN, todo lo cual permitirá el mejoramiento de la calidad de vida de sus pobladores y el desarrollo socioeconómico y ambiental sostenible en paz y en armonía, con la debida gobernabilidad y gobernanza.

Los actores locales concordaron que la implementación del Proyecto de Restauración Ambiental es una parte fundamental para lograr los propósitos de desarrollo económico, territorial, social, ambiental y adaptación climática. Entre los aspectos que más destacaron para lograr la visión, además del proyecto son: el *Desarrollo organizacional con fortalecimiento de capacidades para actuaciones de*

gestión participativa y el acompañamiento, apoyo y construcción colectiva con la Institucionalidad.

La identificación de los escenarios más factibles con y sin proyecto se ha hecho a partir de las problemáticas visualizadas y priorizadas por la comunidad. Estos se realizan con un esquema de valoración independiente para las comunidades y las instituciones que participaron del ejercicio. Los primeros (comunidades) demuestran y perciben una percepción mucho más optimista para el horizonte 15 y 30 años, tanto para el contexto regional sin proyecto como con proyecto, que las instituciones. El sentimiento de no sentir un adecuado apoyo de la institucionalidad y la gran dificultad, de estas últimas, para cumplir con sus funciones, lo ven como uno de los aspectos que más problemas pueda traer a futuro para lograr el éxito al proyecto.

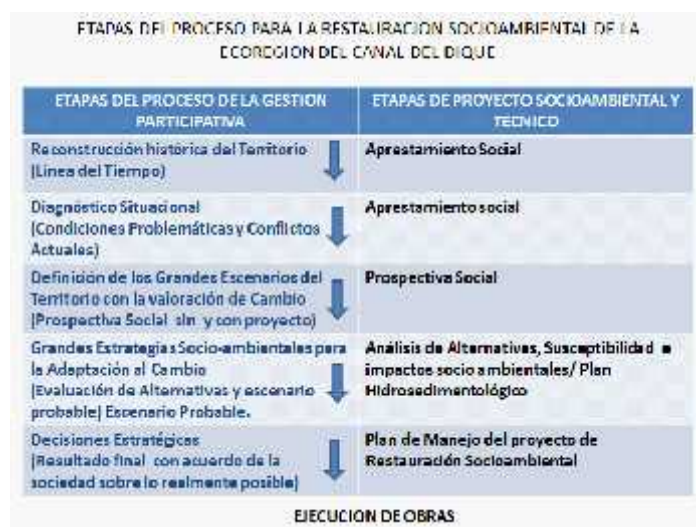


Figura 17: Correspondencia de las etapas del proceso de la Gestión Participativa y las etapas del proyecto técnico, hasta llegar a la condición inicial de obras.

La comunidad y la institucionalidad local sugieren unos posibles principios de solución y componentes básicos para la solución de las problemáticas sus causas y sus efectos, especialmente aquellas relacionadas con el aceleramiento de los procesos de sedimentación y colmatación de cuerpos de agua, y de la obstrucción de caños por procesos naturales (Ciénagas y Canal); la desconexión de los complejos de humedales, taponamiento de canales naturales, apertura de canales de drenaje y desviación de cauces naturales y construcción indebida de diques; las Filtraciones y chorros en los terraplenes

(Ciénagas y Canal) y, la alteración de la dinámica hídrica de las ciénagas (flujo y reflujo) (Ciénagas y Canal), entre otros aspectos. Se considera que todo el paquete de medidas de solución previstas durante estos talleres nodales, serán un insumo fundamental para revisar por parte del Consorcio e incorporar elementos estratégicos en la alternativa recomendada que el Consorcio Dique deberá optimizar y estructurar en la versión a entregar al Fondo y al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

9 SOLUCIÓN INTEGRAL

La solución integral se deriva de las estrategias explicadas en el Capítulo 6. La solución integral se basa en combinar los efectos positivos de la estrategia “redistribución” y “reducción”. La solución integral tiene como objetivo reducir la afluencia de agua en la entrada del canal y redistribuir el agua restante al delta de modo que las bahías de Barbacoas y Cartagena se liberen del agua del río y sus sedimentos y exceso de nutrientes. La reducción de la afluencia se realiza sin infringir la productividad y funcionamiento ecológico de las ciénagas o la demanda de agua del área del Canal del Dique (Consortio Dique, 2015f). Es más, para mejorar la circulación del agua se incrementará la productividad promedio del agua de las ciénagas y para optimizar las conexiones se incrementará el volumen promedio el cual incrementa aún más la productividad y contribuye a ecosistemas acuáticos estables.



Figura 18: Entrada del Canal del Dique con compuertas en Calamar (KM 3.2)

Las medidas principales de la solución integral consisten de dos compuertas con esclusas en el canal (ver Figura 18 y 19):

- Calamar - KM 3+200: presa con compuertas que será construida 3.2 km aguas abajo de la entrada del canal para reducir y controlar activamente la entrada de agua al sistema del Canal del Dique. Las compuertas (capacidad total de descarga máxima de alrededor de 1000 m³/s) están acompañadas por una esclusa que garantiza que la navegación continúe por el Canal;
- Puerto Badel - KM 95: una compuerta para evitar que el agua y sedimentos fluyan hacia las bahías de Cartagena y Barbacoas. El agua del Canal se distribuye como en la actualidad por el caño Correa y además pasa por el caño y ciénaga Palotal y sigue como flujo superficial a través del delta hacia el mar. La compuerta está acompañada con una esclusa igual a la de Calamar que garantiza la navegación. También se van a construir dique bajos laterales para evitar inundaciones en la localidad de Puerto Badel y para evitar el flujo de agua del Canal a la bahía de Barbacoas.

9.1 Operación en las compuertas de Calamar

La compuerta de control activo en Calamar (KM3+200) limitará la cantidad de agua que ingresa al Canal Del Dique y controlará los niveles de agua en el sistema. La Figura 20 muestra cómo los niveles de agua justo aguas abajo de la compuerta hubieran podido ser controlados en el año 2005 (este se considera como un año promedio). En este escenario la estrategia se centra en la reducción (párrafo 6.1).

- Flujo base (1.83 msnm): este nivel de agua es normalmente excedido el 95% del tiempo. El flujo base es suficiente para permitir la navegación en el canal;
- Pico medio alto (5.0-6.0 msnm): a mitad del año el nivel de agua en el reservorio Guájaro subirá alrededor de 4.5 msnm. Al final del año será incluso más alto de 4.5 - 5.2 msnm (dependiendo de las lluvias esperadas en la cuenca del río). Si es posible, se permitirá un pico medio en el sistema para llenar Guájaro (en parte);
- Pico alto (7.0 msnm): durante este pico alto, los niveles de agua a lo largo del Canal son lo suficientemente altos para que agua entra por desborde por los ríos verdes en las ciénagas (con profundidad de agua suficiente); para recambiar

el volumen total de agua en las ciénagas 2 o 3 veces al año y para permitir la migración de peces y evacuar parte de la vegetación flotante. La evacuación de vegetación flotante es necesaria para evitar que esta cubra toda la ciénaga e inicie un proceso eutrofización y desecamiento. Este caudal pico dura un máximo de 50 días, o menos si los niveles del agua en el río Magdalena descienden antes. La sincronización de este pulso de agua en las ciénagas, Canal y el río Magdalena permite la migración de especies de peces que desovan en el río.



Figura 19: Ubicación de la compuerta en Puerto Badel (KM 95)

La Figura 21 muestra las descargas que se necesitan para alcanzar los niveles deseados de agua en el canal. Debido a la reducción de la descarga durante gran parte del año, la descarga total en el sistema del Canal Del Dique está reducida en un 50-60%. La afluencia de sedimento en Calamar está reducida con el mismo porcentaje.

Cada año el hidrógrama es diferente, en consecuencia, la sincronización y la duración del pico medio alto y el pico alto son variables. En un año seco (Niño) los niveles de agua en el Río Magdalena no son suficientes para generar un pico alto en el sistema del Canal del Dique. Mientras que en un año húmedo extremo (Niña) ofrece la posibilidad de alimentar el sistema con dos picos altos, para recambiar las ciénagas y permitir una óptima migración de peces.

9.2 Operación de la compuerta en Puerto Badel

Para evitar la salida del flujo de agua y sedimentos del Canal a la bahía de Cartagena y Barbacoas se cerrará la compuerta en Puerto Badel. Debido al efecto de remanso del cierre en Puerto Badel, el agua fluirá a través del caño Correa y como flujo superficial al delta. El flujo continuo de agua a través del caño Correa y el área del delta restringirá la longitud de la intrusión y protegerá los corchales en la parte sur del delta.

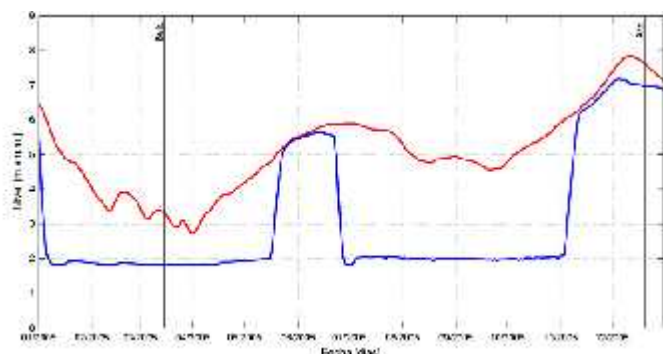


Figura 20: Niveles de agua en Incora (KM7.0) justo aguas abajo de la compuerta propuesta en Calamar en la situación actual (línea roja) y en la solución preferible (línea azul).

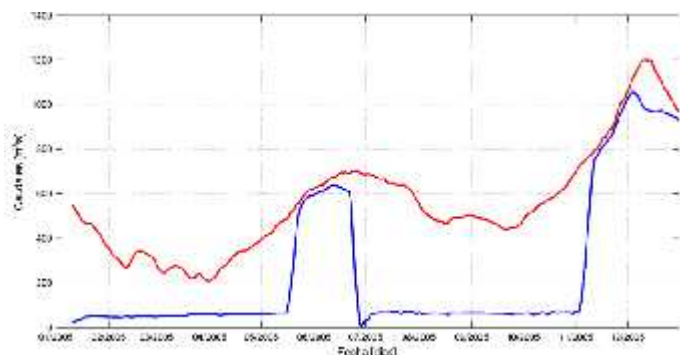


Figura 21: Descarga que ingresa al Canal del Dique en la situación actual (línea roja) y en la solución preferible (línea azul).

Desde una perspectiva ecológica, se recomienda realizar el cierre de la compuerta en Puerto Badel de forma gradual, para facilitar que los manglares y demás ecosistemas se adapten al incremento de la salinidad. Se establecerá un programa de monitoreo para determinar el período requerido de adaptación hasta lograr el cierre total.

10 ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN Y OBRAS DE ENCAUZAMIENTO FLUVIAL

10.1 Entrada en Calamar

Uno de los objetivos del Proyecto del Canal del Dique es optimizar la navegación. Una de las medidas para esta optimización es hacer posible que los convoyes entren, transiten y salgan del canal de una manera segura y tranquila. Un convoy consiste en un remolcador empujador y barcazas. La entrada existente del canal en Calamar no garantiza para circunstancias extremas niveles altos de agua y corrientes altas en el Río Magdalena que los convoyes puedan entrar y salir con seguridad del Canal.

Se estima que entrar al canal desde la parte aguas arriba es la maniobra más difícil para los convoyes. Para hacer posible este movimiento se considera ampliar la entrada en la parte aguas abajo.



Figura 22: Prueba en tiempo real con el convoy de diseño

Se ha realizado una prueba en tiempo real con un convoy de configuración similar al recomendado para el canal (ver Figura 22). Aparentemente en la situación actual es posible entrar y salir del canal sin problemas de seguridad con este convoy. En situaciones más extremas, ingresar al canal podría ser más difícil debido a las velocidades relativamente altas de la corriente en el Río Magdalena (2.5 m/s).

Cuando el convoy hace un giro debe realizar una maniobra para que la proa del convoy ingrese al canal, en donde las corrientes cruzadas son cero y la corriente longitudinal es 0 a 1 m/s. Mientras tanto, la popa del convoy tiende a quedar atrapada en la corriente del río Magdalena y la parte posterior del convoy se moverá más aguas abajo. Cuando el convoy está navegando parcialmente contra la

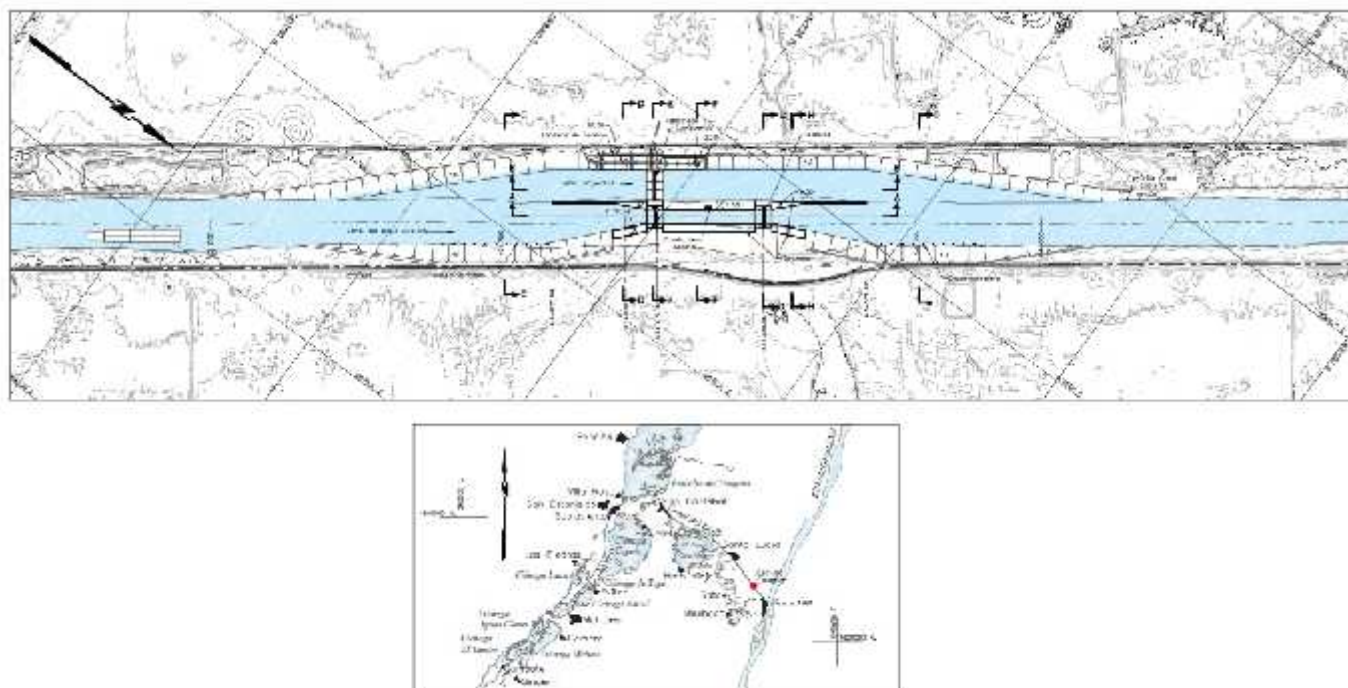


Figura 23: Complejo de compuertas de control-esclusa en Calamar

corriente, es lo suficientemente maniobrable y puede proceder a ingresar al canal. Con los cálculos dimensionales de la velocidad de corriente se debe estimar cómo exactamente afectan las velocidades de corriente a los movimientos del convoy y el espacio necesario para los convoyes. En principio, se observa que la entrada se tiene que ampliar ligeramente.

Otro movimiento importante es cuando el convoy sale del canal y se dirige más aguas arriba en dirección de Barrancabermeja. En este caso el convoy debe girar a la derecha y navegar contra la corriente. El convoy necesita el espacio adecuado para desarrollar la velocidad suficiente y tiene que darle suficiente ángulo al timón para gobernar el convoy y lograr la posición correcta en el río.

Hay otras dos maniobras, cuando el convoy sale del canal en dirección aguas abajo o va hacia el canal desde aguas abajo, que no son normativas para la disposición de la entrada.

10.2 Complejo de compuertas de control-esclusa en Calamar

En Calamar se han planificado las siguientes obras: compuertas de control (párrafo 6.2.1), una

esclusa de navegación (párrafo 6.2.2) y un pase de peces (párrafo 6.2.3).

10.2.1 Compuertas para control activo

La función principal de la compuerta es separar los regímenes de agua del Río Magdalena y el canal y poder controlar la afluencia y los niveles de agua en el canal.

La estructura debe poder manejar la variación de los niveles de agua del Río Magdalena, 1.5 a 9.6 m (1/100 años de período de retorno, incluyendo el cambio climático), así como retener una diferencia máxima en el nivel de agua de 8 m. La estructura debe tener la capacidad de proveer el siguiente rango de descargas: un mínimo de 55 m³/s y un máximo de 1000 m³/s. Esto se debe realizar dentro de las pérdidas hidráulicas aceptables, que son 5-10 cm sobre el rango total de descargas con un máximo de 20 cm. Para suministrar estas descargas al canal se requieren tres compuertas (ver Figura 24).

Se han considerado varios tipos de compuertas. En esta etapa se prevé el uso de una compuerta de elevación vertical. Para reducir rápidamente las velocidades del caudal detrás de la estructura se incluye una piscina disipadora de energía. Se

requerirá una cantidad considerable de protección contra la socavación para proteger el fondo de las condiciones altamente turbulentas alrededor de la compuerta de control.

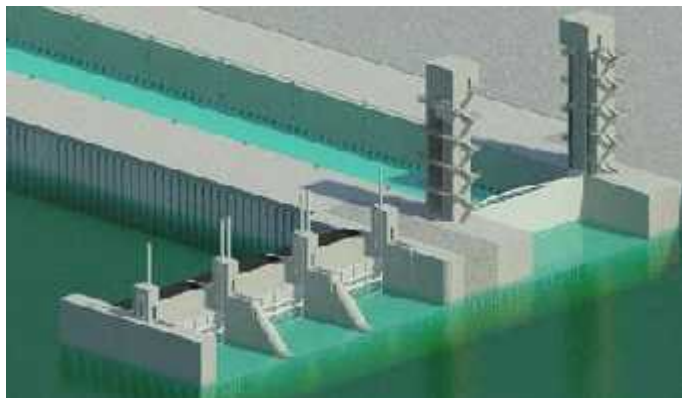


Figura 24: Compuerta de control-esclusa en Calamar

10.2.2 Esclusa de navegación

La esclusa de navegación permitirá que continúe la navegación por el canal a pesar de la presencia de las compuertas de control activo de caudales. La cámara de la esclusa será de 250m de largo x 33.5 m de ancho con el fin de acomodar el convoy recomendado sin fraccionar. Las dimensiones y layout de la esclusa se muestran en la Figura 23. Se aplican las mismas condiciones hidráulicas límite que para la compuerta de control. El nivel del umbral es -1 msnm y la altura máxima de retención es +10 msnm.

Para la esclusa se han considerado diferentes tipos de compuertas. En base a un análisis de criterios múltiples en donde los costos, solidez y viabilidad técnica desempeñan un papel importante, se ha considerado que una compuerta vertical es favorable. Para la cámara de la esclusa se han considerado paredes verticales y se ha previsto un

sistema de nivelación del flujo por gravedad. La nivelación de la esclusa se puede lograr en un tiempo menor a 30 minutos. Se han considerado defensas flotantes en las áreas de espera de los convoyes. La transición de entrada a la esclusa, en forma de embudo, consiste en un muro de tablestacas forrado con vigas de madera.

En el área de espera se pueden amarrar dos convoyes de las dimensiones recomendadas. El fondo de la cámara de la esclusa y los embudos estarán provistos con protección lateral adecuada.

10.2.3 Pasaje para peces

Es vital permitir que la migración de peces se pueda realizar durante determinadas épocas del año. Para tal fin se ha diseñado una escalera o paso de peces (ver Figura 23). Este tendrá un rango de funcionamiento entre los 4 a 6 msnm en el Río Magdalena y un nivel de agua en el canal de 2.0 msnm y superior. Será un pasaje de peces técnico con un diseño flexible de la ranura vertical (ver Figura 25). Se incluyen piscinas de descanso (Consortio Dique, 2015h). También en algunas obras menores de conexión canal-ciénaga se plantea también construir escaleras de peces para garantizar la migración.

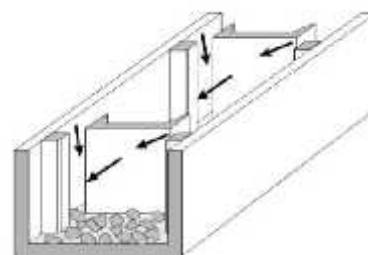


Figura 25: Ejemplo gráfico de un pase de ranura vertical con dos ranuras (D'Enno, et al, 2002).

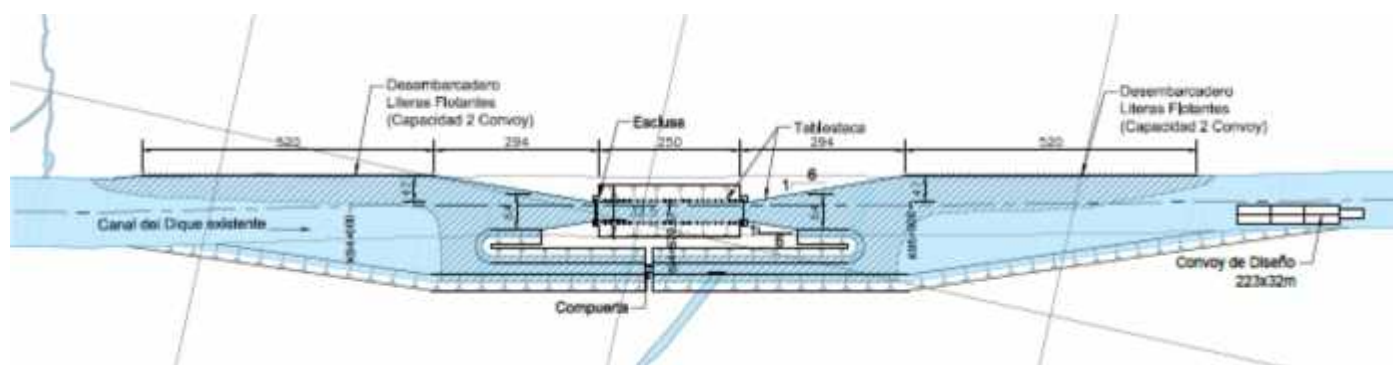


Figura 26: Complejo de compuertas de control-esclusa en Puerto Badel

10.3 Obras en Puerto Badel

En Puerto Badel se han planificado las siguientes obras: una compuerta de control activo de caudales (párrafo 6.3.1) y una esclusa de navegación (párrafo 6.3.2).

10.3.1 Compuerta de control

Se ha diseñado una compuerta de control de caudal cerca de Puerto Badel para mejorar la gestión hídrica creando la posibilidad de redistribución del flujo en el canal. El propósito principal de la compuerta es separar los regímenes de agua de los tramos más altos y más bajos del canal y poder controlar la descarga y los niveles de agua en el canal. Los niveles de agua en la parte superior varían de +0.5 a +2.5 msnm, en la parte baja el rango es de +0.3 a 1.0 msnm, con un estimado del nivel de agua bajo extremo de -0.6 msnm. El agua descargada el primer año y siguientes será la que se estime necesaria para revertir la intrusión salina de forma gradual. Luego de un período determinado, los manglares se adaptarán al entorno salino y la descarga de agua dulce se puede limitar a cero. Se requerirá una compuerta (ver Figura 26).

Se han considerado varios tipos de compuerta. En este caso, en donde la descarga se debe controlar y la estructura es sensible a los sedimentos y árboles flotantes, se ha considerado el uso de una compuerta de izamiento vertical como el tipo de estructura más robusta y técnicamente factible. Para la ubicación en Puerto Badel las descargas necesarias son limitadas y el ancho de la estructura es de 10 m. Las velocidades de corriente son menos extremas que en la ubicación de Calamar. Por lo tanto se estima que no hay que hacer estructuras adicionales para la disipación de energía. Se requiere protección contra la socavación en la parte aguas abajo de la estructura.

10.3.2 Esclusa de navegación

Para mantener la navegación se ha diseñado una esclusa de navegación similar a la de Calamar (ver Figura 26). Los niveles operativos de agua son diferentes a los de Calamar; estos son los mismos que para la compuerta de control en el complejo de Puerto Badel. Por lo tanto, esta estructura retendrá agua hasta el nivel +3.0 msnm. El nivel del umbral se ha fijado en -3.2 msnm. Para acomodar el convoy recomendado las dimensiones de la cámara de

esclusa se han fijado en 35 x 250 m (Consortio Dique, 2015g).

10.4 Obras de conexión para las ciénagas

Las obras de para mejorar la circulación hídrica en el sistema de las ciénagas consisten principalmente en reducir la altura de secciones de los diques, paralelos al canal, a lo largo de 50-200 metros (para crear puntos de desbordamiento o “ríos verdes”). En algunos lugares se necesita adicionalmente construir o reforzar los diques para evitar el vaciado de las ciénagas y/o evitar la inundación de los pueblos.

Para algunas ciénagas pequeñas en las cuales los niveles de agua en el Canal superarán los niveles máximos de inundación de las mismas, se utilizarán pequeñas compuertas para controlar los niveles de agua en estas ciénagas.

En la solución recomendada, se determina el diseño conceptual de las medidas requeridas para cada ciénaga. Estas se elaborarán en la fase de diseño detallado (segunda mitad del año 2015) en consulta con las comunidades y otras entidades locales.

10.5 Obras de protección del canal

El incremento proyectado de la intensidad de navegación producirá un incremento de las cargas inducidas por los convoyes en los márgenes del canal. La estabilidad e integridad de los márgenes es, actualmente, un tema de preocupación y los locales están tomando medidas (a menudo inefectivas) para proteger las orillas del canal.

Como parte de las obras de navegación se protegerán áreas vitales, sensibles a la erosión. Estas áreas son:

- Pueblos al lado del canal;
- Infraestructura vital (puentes, estaciones de bombeo, etc.);
- Instalaciones de amarre / atraque, incluyendo aquellas para embarcaciones más pequeñas;
- Curvas afectadas por las cargas de lavado del propulsor;
- Tramos de protección contra inundaciones, es decir, diques, muy cerca de los márgenes del canal;
- Carriles de adelantamiento expuestos a cargas producidas por el tráfico bidireccional.

Proteger la longitud del canal en su totalidad no es necesario ni financieramente factible. La protección en los sitios críticos identificados se logrará por medio de un revestimiento que consiste en una malla geotextil cubierta con rocas con una protección de fondo contra socavación conocida como *falling apron* que asegure la base de la protección (Consortio Dique, 2015h).

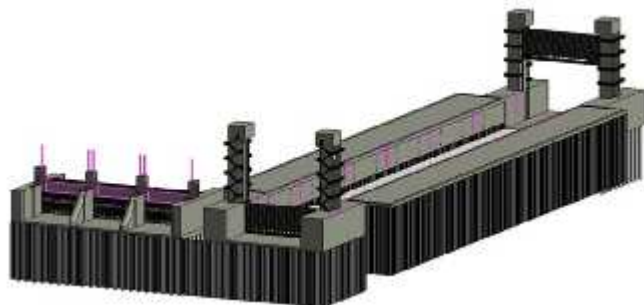


Figura 27: Esclusa en Calamar con compuertas verticales

11 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ESCLUSA EN CALAMAR

11.1 Esclusa de navegación e instalaciones asociadas

El complejo de esclusas de navegación en Calamar consiste en una cámara con cabezales para las compuertas y una piscina de retención entre los dos cabezales. Las dimensiones de la esclusa y los elementos de la piscina de retención se basan en el convoy de diseño para el Canal del Dique, el cual consiste en un remolcador empujador (con dimensiones de 40 x 15 m) y 6 barcazas con dimensiones de 61 m x 16 m. el largo y ancho total (Longitud x Ancho) del convoy recomendado es 232 m x 32 m que transita por la esclusa sin fraccionamiento. El calado del convoy recomendado es de 6 pies (1.9 m).

En una cuenca de retención de la esclusa se encuentran los siguientes elementos:

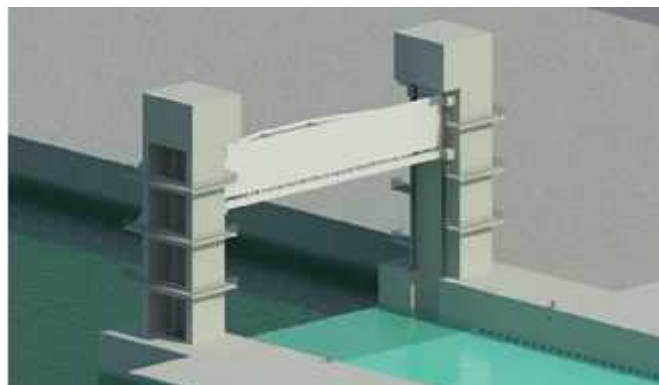
- Una cámara de esclusa con escaleras, anillos de amarre y bitas;
- Cabezales de esclusa con compuertas;
- Un mecanismo de nivelación (por ejemplo, compuerta o drenaje);
- Edificios de control;
- Señales de transporte;
- Iluminación;

- Equipo de comunicación;
- Dispositivos de seguridad;
- Defensas guía (embudo);
- Defensa (área de formación y área de espera opcional) con instalaciones de amarrado;
- Zona de run-out – la zona de transición, mantenida libre de obstáculos, entre el perfil normal de la vía navegable y la cuenca de retención.

11.2 Cámara de esclusa

La longitud neta de la cámara de esclusa es la distancia entre las líneas de parada. Esto es por lo menos 1.1 veces la longitud del convoy recomendado. Las líneas de parada deben estar posicionadas a 2 m de los cajones que forman las cabezas de esclusa. Se ha determinado una longitud total de cámara de esclusa entre los cajones de la cabeza de esclusa de 250 m. La profundidad de la esclusa depende del calado máximo de la popa con carga y la probabilidad de que la popa toque el umbral. El ancho y profundidad del umbral de la compuerta superior e inferior depende tanto del riesgo de daño como del requerimiento para que las embarcaciones puedan entrar y salir de la esclusa rápida y suavemente (ver Figura 27).

Esto, por lo general, está muy bien garantizado si la proporción del perfil submarino de la embarcación con aquella de la esclusa es de 0.75 como máximo. En este caso se ha determinado un umbral a un nivel de msnm -1m (espacio suficiente a un nivel mínimo de agua de msnm +2 m y un calado de 1.9 m. El ancho neto de la cámara de esclusa puede ser 33.5 m, con base en la práctica común en el río Mississippi, y el mínimo de 33 m (1 m más que el ancho de un convoy de diseño recomendado).



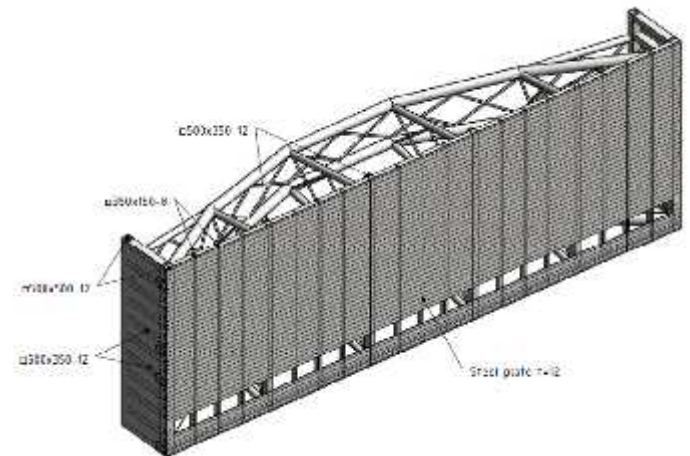
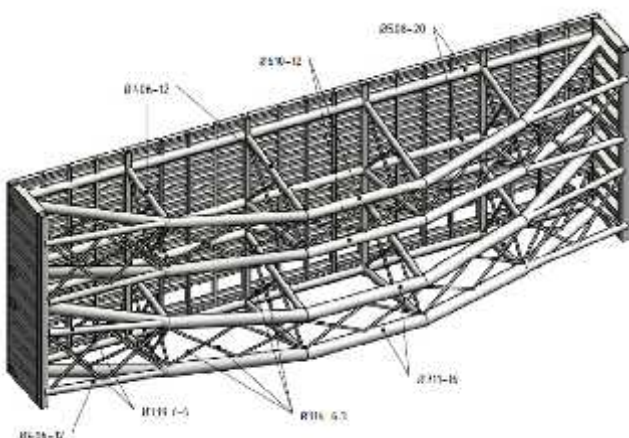


Figura 29: Detalles de la compuerta levadiza (parte delantera y parte posterior)

12 RESULTADOS OBTENIDOS

El proyecto está actualmente en la etapa de diseño básico. Se prevé la entrega de los diseños detallados y definitivos en el primer trimestre del 2016 con lo cual se puede iniciar el proceso de licitación para la construcción de las obras definitivas. Algunos de las obras se pueden realizar a corto plazo (2016 – 2017) mientras que las principales construcciones y los grandes cambios en el régimen hidrosedimentológico se prevé que están terminados para el 2018.



Con la implementación de las obras se dará una solución definitiva a los riesgos de inundación por encima de los niveles deseados con un tiempo de recurrencia de 1 en 100 años. Se reduce el flujo de agua dulce y sedimentos desde el canal del Dique hasta la Bahía de Cartagena hasta cero se reduce hacia Barbacoas, creando las condiciones adecuadas para la recuperación y restauración de los ecosistemas marinos en estas Bahías y en la sección de la costa aguas abajo de Puerto Badel. Esto va a fortalecer los usos productivos de la zona que tanto dependen de la buena calidad de los ecosistemas para el eco-turismo y la pesca marina. Para casi todas las ciénagas que presentan en la actualidad una inadecuada circulación o drenaje de agua, se va a mejorar la elasticidad, incrementando los niveles mínimo y promedios de los niveles del agua. Igualmente también se mejora en promedio las tasas de intercambio de agua, por lo cual habrá un incremento de la productividad primaria, lo cual facilita un ecosistema más estable, completo y más

productivo. Esto incide positivamente en la pesca continental y en el nivel de vida de las comunidades que dependen de estos recursos.

Las obras definitivas diseñadas para el control activo de los caudales y niveles permitirán el uso del agua para sus actuales funciones y las funciones previstas para los próximos decenios tales como la navegación, producción de agua potable y riego, mientras que también se controla la intrusión de la cuña salina y disminuyen el riesgo de inundaciones.

Para muchos de los problemas identificados, tales como la reducción de la pesca y el impacto sobre los biotopos marinos, el proyecto logra una solución de los mismos. Sin embargo, se requieren medidas adicionales para lograr que los objetivos se cumplan completamente, tales como reglamentar y controlar la pesca para evitar sobrepesca, reducir la polución en el área y en general mejorar el ordenamiento y uso del suelo para que se optimicen su potencial.

En algunas áreas del sistema se presentaran impactos localmente los cuales pueden ser mitigados o compensados, por ejemplo por medio de la construcción de pequeños diques para evitar el incremento del área de inundación en particular en ciertas áreas del delta.

13 EL FUTURO DEL PROYECTO

El Sistema del Canal del Dique por sus funciones de multipropósito y su riqueza ambiental es un proyecto estratégico para la Región y para Colombia puesto que apoya a que el país continúe de manera sostenible su crecimiento económico y genere prosperidad.

El Gobierno, las instituciones y la población que se encuentra en la cuenca del Canal del Dique son actores principales en el proceso de restauración sostenible de este Sistema. El éxito futuro del proyecto Restauración del Sistema Canal del Dique no sólo dependerá de las obras implementadas, sino también de las acciones que se decidan para su monitoreo, operación y mantenimiento.

Las lecciones aprendidas desde 1650 hasta la actualidad, deben ser un ejemplo para garantizar que los grandes esfuerzos e inversiones del Gobierno sean sostenibles con una visión de largo plazo y el

Canal siga siendo un eje económico de la Región. En consecuencia, desde ahora el Consorcio Dique se encuentra en el proceso de estructurar una organización que se encargue de las obras y del manejo del Canal de Dique garantizando la sostenibilidad de la inversión del Gobierno. Lo anterior, implica una estructuración institucional que tenga en cuenta las competencias, mecanismos y recursos necesarios para su operación y al mismo tiempo, refleje el interés colectivo y regule las interacciones para promover la realización de los objetivos compartidos permitiendo al sistema manejar los conflictos potenciales de interés.

14 REFERENCIAS

Consorcio Dique (2014). "Estudios Básicos: Análisis de los volúmenes de sedimentos que ingresan al Canal Del Dique, a las ciénagas y a las bahías de Cartagena y Barbacoas", CD.ID.113.HIDR.INF.00-006.

Consorcio Dique (2015a). "Evaluación del componente de navegación elaboración", CD.IB.115.HIDR.INF.00-002-C.

Consorcio Dique (2015b). "Uso de agua en la región del Canal Del Dique", CD.ID.113.HIDR.INF.00-004.

Consorcio Dique (2015c). "Estudio cuña salina", CD.ID.113.HIDR.INF.00-007.

Consorcio Dique (2015d). "Recalibración de los modelos hidráulicos del Canal del Dique", CD.IB.121.MOD.INF.00-005.

Consorcio Dique (2015e). "Modelo de transporte de sedimentos en suspensión SOBEK Canal Del Dique", CD.IB.121.MOD.INF.00-003.

Consorcio Dique (2015f). "Desarrollo, evaluación y selección de las alternativas", CD.IB.120.MOD.INF.00-002.

Consorcio Dique (2015g). "Descripción de las obras y estimación preliminar de costos", CD.IB.120.MOD.INF.00-003.

Consorcio Dique (2015h). "Informe de localización y dimensión conceptual de estructura hidráulica en Calamar", CD.IC.130.GEN.INF.00-001.

Consorcio Dique (2015i). "Informe estudio hidrológico elasticidad de ciénagas", CD.ID.113.HIDR.INF.00-005.

D'Enno, D., Gerd Marmulla, and R. L. Welcomme (2002). Fish Passes: Design, Dimensions and Monitoring. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.