

Control ambiental del proceso de deltificación de las bahías de cartagena y barbacoas, incluida la solución del uso y manejo de sedimentos en calamar (Bolívar).

CONTENIDO

Introducción.....	2
Antecedentes Generales.....	3
1. Control ambiental del proceso de deltificación de las bahías de cartagena y barbacoas, incluida la solución del uso y manejo de sedimentos en calamar (bolívar).....	3
1.1. Control Ambiental en sedimentos de agua salada/salobre (delta).....	5
1.1.1. Problemática.....	5
1.1.2. Propuesta de solución.....	9
1.2. Control ambiental en sedimentos de agua dulce (río Magdalena).....	31
1.2.1. Problemática Específica.....	31
1.2.2. Propuesta de Solución.....	31
1.2.3. Ejercicio Piloto para la Aplicación del Modelo.....	37
Referencias.....	38

Introducción

El proceso de formulación del Plan para el ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Canal del Dique reviste no solo una gran extensión superficial y una diversidad institucional importante, sino una gran complejidad en su conceptualización como territorio. La cuenca esta localizada en 3 departamentos (Atlántico, Bolívar y Sucre) y 24 Municipios, así como tres jurisdicciones de autoridades ambientales y una nacional, en cabeza del Sistema de Parques Nacionales.

El ordenamiento de cuencas es una herramienta para la administración del territorio que debe ser en un todo, armónica con los principios y los fines que se establecen en los marcos normativos que rigen y orientan la vida nacional y los procesos de desarrollo, por lo cual sus diferentes niveles deben ser concordantes y coherentes entre si aunque correspondan a diversos alcances y coberturas.

El Decreto 1729 de 2002, define y reglamenta la ordenación de cuencas como una prioridad del país e instruye a todas las Corporaciones Autónomas Regionales a realizar en un plazo prudencial este ejercicio de planificación que permita, por medio del Plan de Ordenamiento y Manejo, atender con la debida prelación y el debido soporte técnico, el proceso de reorientación para lograr un esquema de mejoramiento de las dinámicas hidrogemomorfológicas, el uso del suelo y el manejo armónico de los recursos naturales por parte de las poblaciones allí asentadas. En tal sentido, el Decreto en su artículo 4, establece de que la ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.

Entre los argumentos considerados por CARDIQUE para definir la priorización del ordenamiento de esta cuenca se incluye que el complejo de humedales de la ecorregión es la segunda oferta más importante del país, de la parte baja-baja de la cuenca del Río Magdalena que tiene el país después de Ciénaga Grande de Santa Marta y es adicionalmente un hábitat de gran diversidad biológica. En la argumentación para iniciar el proceso de ordenación, se indicó que la ecorregión requiere un proceso y un ejercicio coherente y estructurado de planificación que se lleve acabo dentro del marco de una acción estatal unitaria, y orientada a recuperar sustancialmente las condiciones ambientales de la ecorregión así como las socioeconómicas de sus pobladores. Para lograr un efecto integrado, con soluciones realmente eficientes en el manejo de la ecorregión, se necesitaba tener en cuenta las siguientes orientaciones: La problemática ambiental se deberá tratar en forma holística, intersectorial y participativa; El análisis situacional se sustentará con información secundaria que ha sido tratada en un proceso de control de calidad y con el desarrollo conceptual de los problemas ambientales críticos.; el programa debe revisar el actual concepto de subregionalización de la ecorregión con el propósito de ubicar espacialmente los problemas críticos y las actividades que se desarrollan.

Antecedentes Generales

Este proceso de formulación del Plan de Ordenamiento y manejo tomo más de dos años y, a pesar, de que concluyo formalmente en diciembre del 2006, CI quiso profundizar algunos de los aspectos coyunturales relacionados con el tema de sedimentación, zonificación de humedales y la participación comunitaria en el proceso. Los resultados presentados en el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuenca (diciembre del 2006 y junio del 2007) son anteriores a este informe se entregaron en su última versión a la Comisión Conjunta el día 20 de Junio del 2007.

El Plan contemplo todas las acciones del uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables que en ella se encuentran, en pro de mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de estos y la conservación de su estructura físico-biótica, especialmente los recursos hídricos, mediante la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar (Decreto 1729 de 2002).

El proceso se inició en octubre del 2005 con la Etapa de Aprestamiento y la realización de los Talleres de homologación técnica e interinstitucional y concluyó en Diciembre del 2006. No obstante es menester indicar que debido a los requerimientos de lograr una amplia participación de todos los actores en el proceso de formulación, en razón a la gran cantidad de actores y municipios involucrados, algunos aspectos de conformación definitiva del Plan debieron ser reforzados. El alcance de este documento es precisamente lograrlo.

El Ordenamiento de la cuenca se concibió en el marco de un convenio de cooperación interinstitucional. El objetivo entre la autoridad ambiental regional y CI, fue apoyar a la CARs, CORMAGDALENA, la UAESPNN en la definición, diseño y estructuración de un Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica y la eventual declaratoria de un DMI que permitiera definir los requerimientos de desarrollo sostenible y conservación del patrimonio natural y cultural del territorio, así como también garantizar la protección de los bienes y servicios ambientales que soportan el desarrollo local y regional, con especial énfasis en la condición de humedal que tiene esta cuenca hidrográfica. Para tal efecto, se proveyeron todos los insumos y herramientas de planificación necesarias para definir los requerimientos de desarrollo sostenible y conservación patrimonial para ordenar y manejar con criterio ambiental la cuenca y apoyar a la Corporación en el desarrollo de Plan de Ordenamiento y Manejo y justificación ambiental para la declaratoria de un DMI utilizando la Guía Metodológica del IDEAM, ajustando los requerimiento del proceso para la aplicación con la metodología del Enfoque Ecosistémico y en el marco de una posible declaratoria de DMI. Entre los aspectos, más relevantes, sobresalen los siguientes criterios considerados en el marco conceptual.

La Ordenación y manejo de cuencas entendida como un proceso de planeación, en el cual “los datos e información se convierten en decisiones” debe contener, según el Decreto 1729 de 2002, las siguientes fases: 1) Prospectiva, 2) Formulación, 3) Ejecución y, 4) Seguimiento y Evaluación. Para ello se acordó, en el marco de la Comisión Conjunta, el Diseño y estructuración de los mapas de conflicto, actores, intereses; Análisis e interpretación de imágenes de sensores remoto para incorporar la información en un sistema de información; Talleres de trabajo con los diferentes actores institucionales y de la sociedad civil; la Modelación del balase hídrico y definición del caudal; los Requerimientos de conservación de la biodiversidad y la evaluación y análisis de los resultados con una zonificación para el posible DMI. En tal sentido, se ordenó la cuenca y se definieron los lineamientos para un DMI como estrategia de implementación siguiendo los siguientes pasos: Revisión de información secundaria; Consultas y entrevistas estructuradas y Reconocimiento del área de estudio y las visitas de campo. El proceso concluyo con una etapa complementaria de profundización que se sintetizo en el POMCA desde el mismo diciembre del 2006 y que en el presente informe a CORMAGDALENA, expone en forma detallada los procesos acopiados y complementados con mayor detalle.

1. Control ambiental del proceso de deltificación de las bahías de cartagena y barbacons, incluida la solución del uso y manejo de sedimentos en calamar (bolívar)

Colombia tiene tres situaciones asociadas a los sedimentos que portan el río Magdalena y el Canal del Dique¹ que se están atendiendo ineficientemente y comprometiendo recursos que podrían jugar un mejor papel. El País puede enfrentar esas situaciones con otro enfoque para convertirlas en oportunidades de inversión, si asume una postura de desarrollo sostenible, es

¹ Dos millones de toneladas/año. (Universidad Nacional, 2006)

decir, una en la cual lo social, lo ambiental y lo económico se manejan con equilibrio pensando en las presentes y futuras generaciones.

En primer lugar está la acelerada pérdida de suelos y desertificación de las tierras con vocación agropecuaria y forestal; la segunda tiene que ver con el impacto de los sedimentos vertidos al mar en los ecosistemas de arrecifes de coral de la Cuenca del Gran Caribe, incluyendo la concomitante exposición a una seria queja de países vecinos; la tercera es la obstaculización de la navegación en el propio río, el Canal del Dique, el Puerto de Barranquilla y las Bahías de Barbacoas y Cartagena.

Adicionalmente, se tiene una grave y no resuelta situación relacionada con el manejo apropiado de los residuos sólidos domésticos en la cuenca del Canal del Dique, incluyendo la ciudad de Cartagena. Para una población de aproximadamente 1,2 millones de habitantes en la Cuenca del Canal y una producción media de residuos sólidos diarios de 0,93 Kg/habitante/día para Cartagena, se estarían produciendo mas de 1000 toneladas/día de residuos sólidos (tabla 1). Como es muy difícil e inconveniente resolver estas situaciones con más y mayores intervenciones manejadas como gasto público a pérdida, este proyecto propone crear un circuito económico para el manejo de los sedimentos del río y de la materia orgánica proveniente de la correcta separación y reutilización de los residuos sólidos urbanos.

Es decir, parece mas conveniente invertir, con criterios de responsabilidad social, de rentabilidad y de sostenibilidad, en un proyecto comercial que venda abonos y precursores de suelos, fabricados con sedimentos de las aguas del Canal del Dique y materia orgánica biodegradable proveniente de los asentamientos humanos de la Cuenca y el Bajo río Magdalena, que continuar endeudándonos como Nación con alternativas sin rentabilidad, poco equitativas y definitivamente no sustentables²

El control Ambiental del proceso de sedimentación debe inscribirse en el marco del control de la Deltificación sedimentaria. Su abordaje debe ser por lo tanto un tema no solo de ingeniería sino de correctivos a la alteración de las causas y los efectos de este problema sobre la población, los ecosistemas y en últimas sobre los efluentes que movilizan o reciben estos aportes. En otras palabras, su solución debe tratarse de la forma más integral posible. La aproximación a las soluciones aquí planteadas sintéticamente, consiste en:

- a. Dragar los sedimentos salinizados en las bocas del Canal del Dique en las Bahías de Barbacoas y Cartagena para usarlos como sustrato para reforestar con manglares como protección costera y recuperación de la productividad pesquera.
- b. Recuperar sedimentos dulces de la Cuenca del Canal del Dique para utilizarlos para la fabricación abonos y suelos para uso agrícola y forestal.
- c. Separar, con fines de reutilización completa, residuos domésticos urbanos para obtener materia orgánica³ para procesarla mediante técnicas de biodigestión, compostaje, lombricultura, etc. y utilizarla como complemento de los sedimentos en la fabricación abonos y suelos.
- d. Mercadear y comercializar abonos y suelos en la Cuenca del Gran Caribe, que tiene una de las mayores tasas de desertificación del continente.
- e. Promover la reforestación comercial y la producción de biocombustibles en la Cuenca del Canal del Dique.
- f. Comercializar certificados de reducción de emisiones de CO₂ provenientes de las actividades del proyecto (manejo de residuos y producción de suelos, reforestación con manglares y otras especies maderables de tierra firme, sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en el transporte fluvial y terrestre asociado al proyecto en la Cuenca del Canal del Dique). Estos certificados también pueden servir para compensar la producción y consumo nacional de carbón.

³ El vidrio, el metal y los plásticos serán subproductos de la operación como materias primas para otras industrias y para mejorar el balance económico, social y ambiental del proyecto.

- g. Disminuir progresivamente los aportes sedimentarios de la Cuenca del Río Magdalena-Cauca, contribuyendo a una solución definitiva a las demandas internacionales que tiene Colombia ante el Protocolo del Gran Caribe, desde 1997 y la corte internacional.

1.1. Control Ambiental en sedimentos de agua salada/salobre (delta)

1.1.1. Problemática

El transporte marítimo y fluvial moviliza más del 82 % del comercio mundial, por lo tanto los proyectos de desarrollo en puertos, bahías, ríos y canales generalmente se asocian con beneficios económicos de largo alcance para las naciones en desarrollo. Los avances tecnológicos en el transporte marino y fluvial en la integración del transporte por tierra, mar y aire, han aumentado la complejidad del desarrollo de puertos y bahías. El carácter dinámico e importancia del transporte marítimo-fluvial (como es el caso de Cartagena de Indias) puede resultar en proyectos como el establecimiento de vías fluviales y terrestres de acercamiento, canales, vías acuáticas, áreas de rotación; construcción de muelles, malecones, rompeolas, y aristas de encuentro; y la posibilidad de construir puertos de aguas profundas y prefabricados, y terminales de costa afuera y móviles, todo lo cual unido a los temas de desarrollo y ordenamiento territorial debe considerarse con extremo cuidado por la seguridad de los pobladores y el medio ambiente.

El Canal del Dique y las bahías de Cartagena y Barbacoas, son en este contexto, un motivo de preocupación y análisis constante. Es claro, en este caso, donde el éxito del comercio marítimo y fluvial, la industria y hasta la defensa naval, dependen del desarrollo de los puertos y bahías, la toma de decisiones respecto de las obras necesarias de interconexión fluvial y marítima que requieren el mejor el diseño de construcción-mantenimiento-operación y mitigación sobre los recursos naturales ya que tal desarrollo suele generar problemas ambientales locales, y hasta producir problemas en la escala regional (impactos directos e indirectos sobre los ecosistemas y comunidades correspondientes en las cercanías del proyecto).

En este orden de ideas, el canal del Dique se construyó y se ha ido ampliando para facilitar el transporte fluvial de carga desde y hacia el interior del país, teniendo como base el puerto de Cartagena, donde los terminales portuarios ofrecen excelentes condiciones de operación para la navegación comercial. La configuración final y las dimensiones que tiene ahora el canal del Dique están generando efectos físicos y ambientales en la bahía de Cartagena y, en general en el delta, que han sido ya evaluados. CARINSA & INCOPLAN (1993) en su estudio ambiental sobre los dragados en el canal del Dique estableció que el mayor impacto no era el causado por la actividad del dragado sino por la existencia misma del canal y básicamente por el aporte de sedimentos de arrastre y en suspensión.

En el sitio de Calamar ingresan al canal del Dique un caudal líquido promedio anual del orden de los 540 m³/s y un caudal sólido estimado en 8,5 millones de toneladas al año (MTA) de sedimentos. De este material, está llegando a la bahía de Cartagena una descarga de 2 MTA, de los cuales 1,2 MTA son materiales de arrastre y 0,78 MTA son materiales en suspensión (ver Tabla 1). Este aporte de material está causando efectos ambientales de diferente índole en la bahía, entre ellos el efecto denominado *deltificación*, mediante el cual el material se deposita al perder velocidad la corriente, formando un cono de sedimentos en el fondo de la bahía, que aflora a la superficie bajo la forma de espigones, o barras laterales de sedimentos que encauzan el canal dentro de la bahía.

Tabla 1 Distribución de sedimentos en el Canal del Dique

ESTACION	Qs total (Ton/año)	Qs arenas (Ton/año)	Qs finos (Ton/año)	Volumen Depositabile (m³/año)
RÍO MAGDALENA CALAMAR	134,973,306	34,205,683	100,767,623	
Incora k7	8,614,953	3,210,266	5,404,686	5,270.555
Santa Helena 1	6,018,394	1,196,850	4,821,544	3,368,252
- Caño Correa	1,143,495	137,219	1,006,275	612,913
Santa Helena 2	4,789,901	1,101,677	3,688,224	2,725,454
- Caño Matunilla	1,683,975	538,872	1,145,103	1,003,649
-Caño Lequerica	427,702	81,263	346,439	238,230
Pasacaballos	1,931,062	405,523	1,525,539	1,087,188

NOTAS:

1. Volúmenes en m³/año

2. Suponiendo que el material depositabile es 100% de la carga de arenas + 50% de la de material fino.

3. Volúmenes estimados suponiendo : γ arenas = 1.25 Ton/m³ γ limos-arcillas = 1.0 Ton/m³

Fuente: Universidad Nacional, 2006

Desde el punto de vista ambiental, el avance del delta sobre el canal de acceso marítimo a la bahía es una de las principales preocupaciones de la sociedad cartagenera, pero está lejos de ser la única. Los efectos ambientales que se pueden derivar son de diversa índole, magnitud y severidad, como lo señaló en su oportunidad CARINSA & INCOPLAN (1993) cuando analizó el funcionamiento del canal del Dique como sistema. En general, los tres sistemas (abiótico, biótico y antrópico), desagregados en componentes y elementos resultan con algún grado de alteración, como se puede observar en la Tabla 2.

En cuanto al proceso de *deltificación*, es claro que la manifestación visible de los sedimentos en la bahía de Cartagena son los espigones (llamados lengüetas) del canal en la desembocadura en Pasacaballos. No obstante, es evidente que los espigones son apenas la *punta del "iceberg"* de un cono de sedimentos que se ha depositado en el fondo de la bahía cuyo volumen es de unos 40 millones de m³, y que de acuerdo con las batimetrías realizadas en diferentes épocas avanza muy rápidamente. La isóbata 20 avanzó cerca de 670 metros entre 1988 y 2000 en dirección al canal de acceso, es decir, unos 56 m/año (ver Figura 1), mientras que en diciembre de 1997 Universidad del Norte & Haskoning B.V., reportó un avance del delta medido de 73 m/año para el período feb/93 – ago/97. Con las mismas condiciones de caudales líquidos y sólidos entrantes y el mismo programa de mantenimiento con dragados, para el año 2007 habrá avanzado ya otros 350 metros y estará a unos 1,5 km del canal de acceso, es decir que estamos a menos de 30 años de que eso suceda.

Tabla 2 Descripción de indicadores ambientales en el sistema canal del Dique

SISTEMA	COMPONENTE	ELEMENTO	ALTERACIÓN
Abiótico	Agua	Inertes	Presencia permanente o aumentos recurrentes de sedimentos en suspensión en canal, ciénagas, áreas estuarinas y marinas.
		Biodegradables	Aportes recurrentes de carbono orgánico disuelto y macrófitas a zonas estuarinas y marinas.
		Tóxicos	Incorporación a ciénagas, áreas estuarinas y marinas de sustancias tóxicas presentes en agua/sedimentos del canal.
		Dinámica fluvial	Modificaciones en comportamiento hidráulico del canal por pérdida de regulación ejercida por los sistemas de ciénagas del Dique.
		Dinámica estuarina	Cambios en el sistema de corrientes del estuario por cambios morfológicos.
	Suelos y fondos	Contaminación	Introducción de sustancias que alteran las características físico-químicas.
		Morfología	Cambios en niveles, áreas, pendientes, perímetros, topografía, batimetría.

SISTEMA	COMPONENTE	ELEMENTO	ALTERACIÓN
Biótico	Hábitats	Ciénagas	Reducción de productividad biológica por modificación de ciclos de sequía/inundación y por restricción natural o inducida en las conexiones.
		Playones	Pérdida de productividad biológica por reducción natural o antrópica de las conexiones ciénaga - canal.
		Faja litoral	Cambios en las relaciones energéticas por vertido de dragados o por avance natural del delta.
		Bahías	Cambios en composición (flora/fauna) y dinámica (circulación/ciclos de nutrientes, O ₂ ,...) por contaminación, disminución de salinidad, transparencia y estructura de fondos.
		Corales	Deterioro y muerte de corales causada por turbidez, sedimentación, cambios en salinidad y en temperatura.
		Manglares	Deterioro, pérdida o cambios sucesionales en manglares y organismos asociados por aportes de sedimentos y reducción en salinidad.
Antrópico	Recursos	Manglar	Afectación como recurso para leña, madera, cacería, pesca, etc.
		Suelo	Limitación de la capacidad productiva de los suelos de playones por desecación de ciénagas al restringirse las conexiones.
		Agua	Alteración o pérdida de la oferta, calidad y posibilidades de uso múltiple y tratamiento. Sobrecosto en actividades de uso (riego, acuacultura, zootecnia,...)
		Pesca dulce-acuícola	Reducción del potencial ictiológico económico por modificaciones de hábitats, procesos alimenticios, rutas de migración, capacidad reproductiva, etc.
		Pesca marina	Alteraciones en el potencial ictiológico económico por contaminación del agua, modificación de hábitats, etc.
		Turísticos paisajísticos	Alteración o reducción del potencial por presencia de sedimentos en zonas estuarina, coralina e insular.
	Infraestructura	Vías acuáticas	Deterioro por colmatación de caños y zonas estuarinas.
		Estructuras de control	Colmatación de caños y deterioro de mecanismos en compuertas y en estructuras de la desembocadura.
		Zona portuaria	Colmatación en canales de acceso, áreas de maniobras, muelles y embarcaderos
		Acueductos	Restricciones y sobrecostos en captaciones y tratamiento de agua para consumo humano.
	Estructura	Ocupación de terrenos	Cambios de patrones de uso de playones y de posesión en orillas del canal o estuarios por alteración del régimen de inundaciones debida a colmatación natural o inducida de los caños de conexión.
		Movilidad	Cambios en rutas de movilización por deterioro de vías.
	Superestructura	Generación de expectativas	Expectativas de apropiación y/o adquisición de terrenos desecados en playones de ciénagas y en el delta.
		Arraigo	Pérdida del atractivo del modo de vida de los pescadores por desecación de ciénagas y por reducción del recurso pesca en zonas estuarinas.
		Interrelación social	Generación de conflictos por desacuerdos en el uso de los terrenos desecados o emergidos.

Fuente: Adaptado de CARINSA & INCOPLAN, 1993

Figura 1. Crecimiento del Delta del Canal del Dique en Pasacaballos

**Año 1955**

Fuente: Universidad de Cartagena, 2003

**Año 2006**

Fuente: Google Herat, 2006

Adicionalmente, entre los problemas que deben enfrentar actualmente las autoridades están las operaciones de dragado, eliminación de materiales, desarrollo de la zona playera, tránsito marítimo y vehicular en los puertos, etc. Los potenciales impactos acuáticos incluyen: derrames y descargas de sustancias; liberación de contaminantes en base a la resuspensión del sedimento, destrucción del hábitat; cambios en la composición química y circulación del agua; preocupaciones ocupacionales y de salud pública; y, seguridad en el transporte, etc. Los impactos terrestres pueden incluir: la contaminación debido a la eliminación de materiales dragados; erosión y sedimentación debido a cambios hidrológicos ocasionados por la profundización y ampliación del canal y desarrollo de la zona playera (construcción de rompeolas, etc.); pérdida de hábitats frágiles (Por ejemplo: tierras húmedas, manglares) debido al desarrollo de la playa y con relación al puerto; y, pérdida de usos existentes y futuros de la tierra.

El dragado de mantenimiento es realizado en los sectores de barras de sedimentos que se forman en la desembocadura por la reducción de la velocidad de la corriente del Dique cuando llega a la bahía, y tienen por objeto mantener su profundidad y amplitud y asegurar un acceso seguro para las embarcaciones. Los materiales provenientes del dragado de mantenimiento generalmente presentan un mayor problema de eliminación que el sedimento más profundo que se extrae en dragados de construcción, puesto que el sedimento de la superficie se compone de materiales recientemente depositados que normalmente son contaminados.

De otra parte, los principales efectos ambientales que ha reportado CORMAGDALENA (2001) como consecuencia de las obras y del transporte de materiales por la corriente, hacen referencia a la sedimentación del Canal, la eventual deltificación de la propia bahía de Cartagena, la sedimentación de la bahía de Barbacoas y la destrucción paulatina de los corales de las islas del Rosario y describe como ejemplarizante los fenómenos de sedimentación causados por el río Sinú. Universidad Nacional (2002) señala que debido a estos deterioros numerosas empresas deben realizar dragados anuales para mantener el acceso a sus muelles. Mediciones en el muelle de Malterías Unidas mostraron la pérdida profundidad: en 1984 tenía más de 60 pies de profundidad, pero hoy en día cuenta con menos de 40 pies. Además algunas mediciones sobre el muelle en Mamonal realizadas por Ecopetrol encontraron 18 pies de lodo (CORMAGDALENA, 2001).

Todos estos efectos mencionados por CORMAGDALENA (2001) tienen alta probabilidad de ocurrencia, pero también debe ser observada la serie de consecuencias ambientales que se están derivando de estos efectos y no sólo en las bahías sino también a lo largo del trazado del canal desde Calamar. La pesca, servicios públicos, agricultura, turismo, agroindustria y las áreas de interés ecológico y cultural son sectores que también están involucrados en estas consecuencias ambientales. En resumen, es evidente la necesidad de ejercer controles para reducir la llegada de sedimentos y aguas dulces a la bahía de Cartagena y de manejar con más criterio ambiental las actividades de dragado de mantenimiento en el sector de Pasacaballos.

La Universidad Nacional (2006) analizó varias alternativas de control a los sedimentos, entre ellas, una alternativa con control de caudal mediante compuertas y esclusa; una con una estructura denominada esclusor, que permite controlar la entrada de

sedimentos de fondo en Calamar y una tercera alternativa consiste en dejar el canal en la situación pero mejorando con dragados las condiciones de flujo.

Ninguna de estas alternativas garantiza reducir el transporte de sedimentos hasta el delta del canal del Dique en más allá del 50% al 55% del volumen actual que se registra. La alternativa de manejo de estos sedimentos que seleccionó el Ministerio de Transporte es la construcción de una estructura de exclusiva en Calamar, con un costo estimado de un poco más de US\$ 100 millones y con la que se espera reducir a un 50% – 55% el volumen actual del material transportado hasta la bahía. El Ministerio aspira a contratar próximamente un paquete completo de ítems de trabajo que incluye el diseño, la construcción y la operación de la estructura de contención de sedimentos en Calamar.

1.1.2. Propuesta de solución

En esta sección se propone un manejo de los sedimentos que se aspira sea más adecuado desde el punto de vista ambiental, con mejor eficiencia en el control de las descargas y a unos costos notoriamente menores. Los componentes principales son:

- Deltificación controlada en la bahía de Barbacoas
- Manejo de sedimentos en Pasacaballos

Estas propuestas se presentan a nivel de diseño esquemático y por lo tanto se deben estudiar más fondo para verificar su eficiencia.

A. Deltificación controlada en la bahía de Barbacoas

La base central de esta propuesta es la de trasladar el proceso de formación del delta que actualmente se da en la bahía de Cartagena a la bahía de Barbacoas, donde serán confinados los sedimentos transportados por la corriente en el recinto formado entre los caños Lequerica y Matunilla mediante un proceso controlado de distribución de las descargas dentro del recinto y de retención de los sedimentos a través de cordones de manglar.

A continuación se señalan los componentes principales del proyecto, que en adelante se denominará **prototipo**, destacando que es necesario implementar primero un ejercicio piloto simplificado del proceso de deltificación controlada, que permita determinar las condiciones reales de parámetros de desarrollo del proyecto prototipo, como taludes de la pantalla, volúmenes de material de dragado requerido, condiciones hidráulicas del flujo que se introducirá al recinto, densidades de plantación del manglar, sistemas de siembra, manejo de espigones, etc. Las condiciones específicas del ejercicio piloto se plantean más adelante.

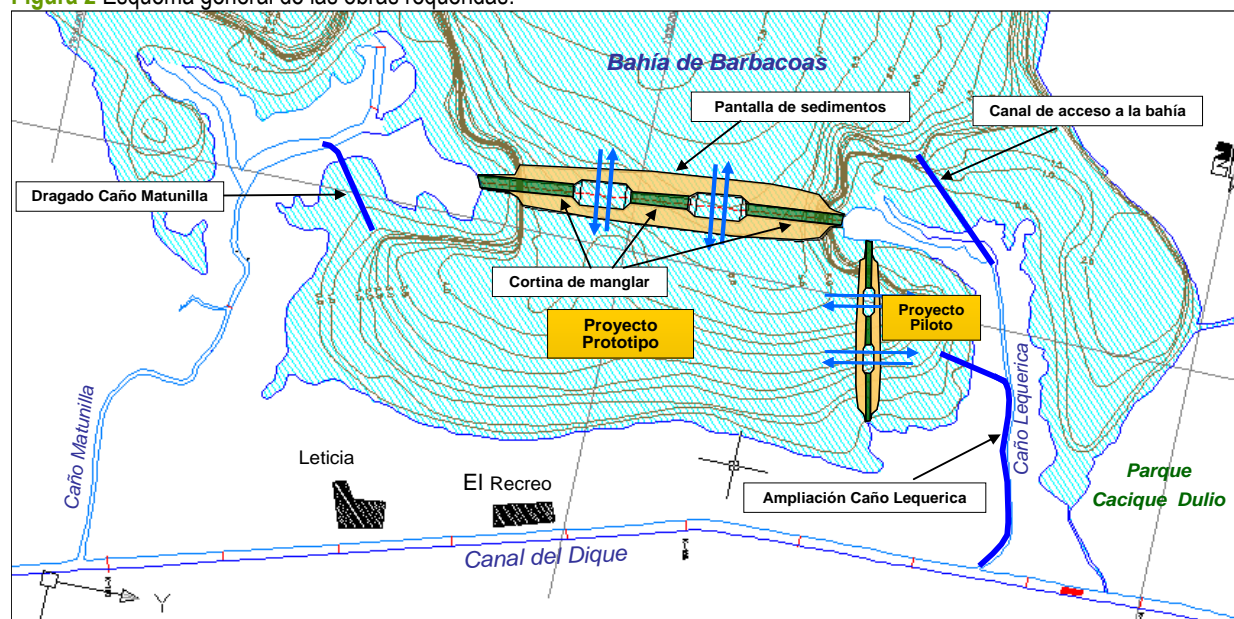
• Componentes principales del prototipo

Esta alternativa contempla los siguientes alcances y aspectos de manejo (Figura 2):

- ✓ Diseño de las estructuras del prototipo, en el cual se debe prever que en el sector del canal del Dique entre Lequerica y Pasacaballos se mantendrá una sección mínima y sus respectivos caudales, que sea la estrictamente necesaria para permitir la navegación
- ✓ Traslado hacia la bahía de Barbacoas de la corriente principal del canal del Dique que ahora va a Pasacaballos, ampliando mediante dragado de las secciones de los caños Lequerica y Matunilla.
- ✓ Conformación de un recinto entre los caños Lequerica y Matunilla, a manera de trampa de sedimentos, mediante la construcción de una barrera con materiales de dragado, cuya corona tendrá un ancho de 80 metros y su altura llegará hasta los 0,20 metros por debajo del nivel de pleamar, con dos ventanas a modo de vertederos de excesos para permitir a velocidades adecuadas el tránsito del prisma de marea desde y hacia el recinto.
- ✓ Instalación sobre la corona de la barrera o pantalla de una cortina de manglar cuyo objetivo es el de contribuir a retener dentro del recinto la pluma de sedimentos en suspensión.

- ✓ Rehabilitación mediante dragado del canal de acceso desde la bahía de Barbacoas hacia el canal del Dique por el caño Lequerica.
- ✓ Operación y monitoreo del prototipo.

Figura 2 Esquema general de las obras requeridas.



Fuente: CI, 2007; adaptado sobre la base cartográfica de Universidad de Cartagena (2003).

• Diseño de las estructuras del prototipo

En este estudio de diseño se deben dimensionar todas las obras y estructuras involucradas en el proceso de deltificación controlada y para ello es fundamental que se consideren los resultados de los monitoreos y evaluaciones que hagan a partir de la operación del proyecto piloto. Dentro de los estudios básicos y diseños se incluyen los siguientes aspectos:

- ✓ Determinación de las condiciones hidráulicas de la porción del caudal del canal del Dique que será desviada a Barbacoas y de la porción que seguirá hacia Pasacaballos para asegurar la navegación.
 - ✓ Análisis y selección de la estructura hidráulica de reparto más adecuada en el sitio de derivación del caño Lequerica para que se cumpla la distribución de caudales planteada en el punto anterior.
- Recinto**
- ✓ Definición de la sección hidráulica más apropiada para el tramo del canal del Dique entre la derivación del caño Lequerica y la desembocadura en Pasacaballos.
 - ✓ Análisis del comportamiento futuro de la cuña salina ante las nuevas condiciones de funcionamiento hidráulico del canal del Dique.
 - ✓ Análisis de las características del sedimento y de los suelos que serán dragados para establecer los taludes más adecuados de la pantalla y sus cantidades de obra.
 - ✓ Determinación de las dimensiones y configuración de las ventanas en la pantalla que permitirán el ingreso y salida del prisma de mareas y de los volúmenes derivados del canal del Dique hacia el recinto.

- ✓ Selección de los aspectos principales de las condiciones hidráulicas que deberán ser monitoreadas para asegurar el más eficiente funcionamiento del proceso de deltificación controlada.
- ✓ Determinación de los requerimientos mínimos de personal y de equipos para la operación y monitoreo de las estructuras y del proceso de distribución de los sedimentos dentro del recinto.

- **Redistribución de caudales**

De acuerdo con UniNorte (2001), el caudal medio que sale por Pasacaballos es de 140 m³/s. De otra parte, Universidad de Cartagena (2003) presenta la lista de aforos realizados por UniNorte en los caños Matunilla y Lequerica entre los años 1996 y 2000, que arrojan un caudal medio de 147 m³/s para el Matunilla y de 47 m³/s para el Lequerica. Se propone entonces una redistribución de los caudales de los caños (Figura 3) para lograr la reducción de sedimentos hacia Pasacaballos y a la bahía de Cartagena:

Con esta redistribución de los caudales líquidos (QL) el tramo del canal del Dique entre Lequerica y Pasacaballos contará con un caudal medio de 50 m³/s para permitir la navegación de convoyes de carga. Obviamente, habrá que redefinir también la sección actual del canal en este sector para que no se produzca depositación de sedimentos; en la actualidad, según los reportes de aforos realizados por UniNorte la base del canal tiene anchos entre 100 y 120 metros, que son muy superiores a los establecidos en el canal de diseño de las obras de 1984, que fue de 65 metros de ancho en la base y que permite en el paso simultáneo de 2 embarcaciones en sentido contrario.

La redistribución de los QL tendría una repercusión en la distribución de los caudales sólidos (QS), que para efectos de su estimación se ha asumido que sea en forma proporcional a la del QL. En realidad la correlación entre el QL y el QS es de tipo logarítmica e intervienen factores complejos de carácter hidráulico; para simplificar el cálculo en este nivel de estudio se ha asumido que la correlación es lineal.

Los caudales sólidos QS considerados se tomaron de Universidad de Cartagena (2003). Con esta redistribución, el material de arrastre que llegará a Pasacaballos se reducirá de 1,2 a 0,45 millones de toneladas/año (MTA) y el de suspensión pasará de 0,78 a 0,26 MTA, como se puede observar en la tabla siguiente.

El recinto en la bahía de Barbacoas recibirá de los caños Lequerica y Matunilla un caudal líquido derivado de 137 m³/s y un transporte total de sedimentos del orden de los 1,84 MTA.

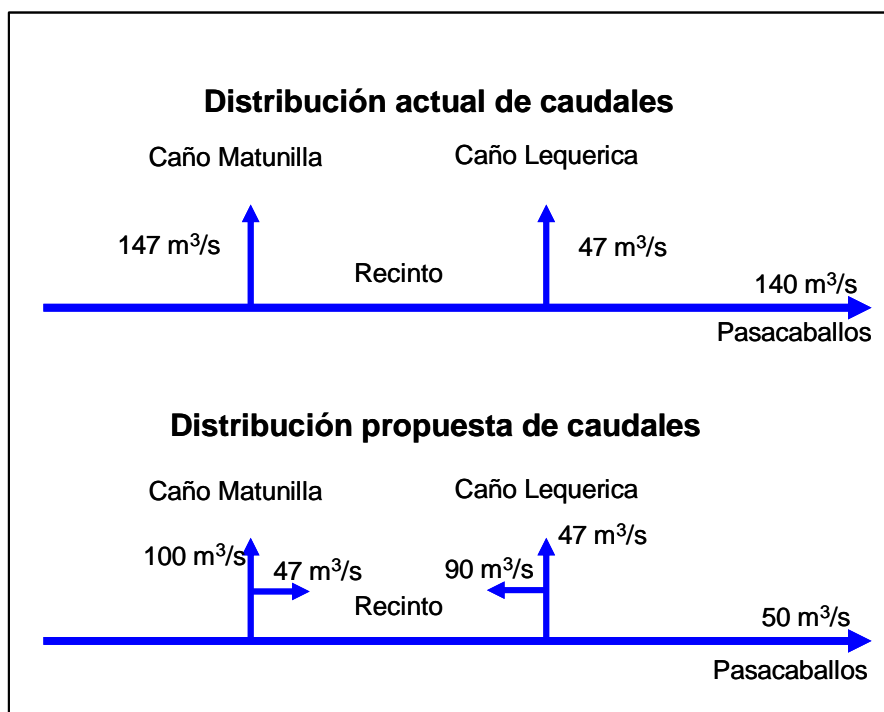


Figura 3 Redistribución de caudales en el delta.

Distribución actual de caudales líquidos y sólidos

Caños	QL (m3/s)	Qs (MTA)		
		Arrastre	Suspensión	Total
Pasacaballos	140	1,2	0,78	1,98
Lequerica BB	47	0,3	0,16	0,46
Matunilla BB	147	1,25	0,73	1,98
Total	334	2,75	1,67	4,42

Distribución propuesta de caudales líquidos y sólidos

Caños	QL (m3/s)	Qs (MTA)		
		Arrastre	Suspensión	Total
Pasacaballos	50	0,45	0,26	0,71
Lequerica BB	47	0,40	0,23	0,63
Lequerica recinto	90	0,76	0,45	1,21
Matunilla BB	100	0,85	0,50	1,35
Matunilla recinto	47	0,40	0,23	0,63
Total	334			

- **Pantalla del recinto del prototipo**

Esta pantalla une los extremos de los caños Matunilla y Lequerica en un estrecho que se forma hacia el costado oriental de la bahía de Barbacoas. Su longitud es de unos 3100 metros. En la parte central de la franja, la profundidad máxima de la bahía es de 6,3 metros.

Será conformada con material de dragado extraído del fondo del recinto. El talud designado es de 1V:10H, considerando que en el levantamiento batimétrico presentado por Universidad de Cartagena (2003), el delta de los caños avanza sobre la bahía con taludes de equilibrio de los materiales entre 1V: 5H y 1V:15H (Figura 4).

Sus características son:

- ✓ Longitud de corona, 3.100 m
- ✓ Ancho de corona, 80 m
- ✓ Taludes 1V:10H
- ✓ Volumen de la pantalla, 1'876.300 m³
- ✓ Menos volumen de canales, 320.000 m³
- ✓ Volumen total por dragar, 1'556.300 m³

- **Recinto**

El recinto o trampa de sedimentos está ubicado sobre el costado oriental de la bahía de Barbacoas, en la zona encerrada entre los caños Lequerica y Matunilla y entre la faja de tierra al oeste del canal del Dique y la pantalla.

Sus dimensiones son:

- ✓ Ancho promedio, 1,8 km
- ✓ Longitud, 6,0 km
- ✓ Área del recinto, 10,8 km², ó 1.080 hectáreas.
- ✓ Profundidad media, 3,0 m
- ✓ Capacidad, 32,4 Mm³ (millones de m³)

Con esta capacidad y asumiendo que todo el material de arrastre y en suspensión se quedara atrapado en la trampa, y una densidad de 1,25 ton/m³, la vida útil del recinto del proyecto de Deltificación Controlada sería de unos 22 años.

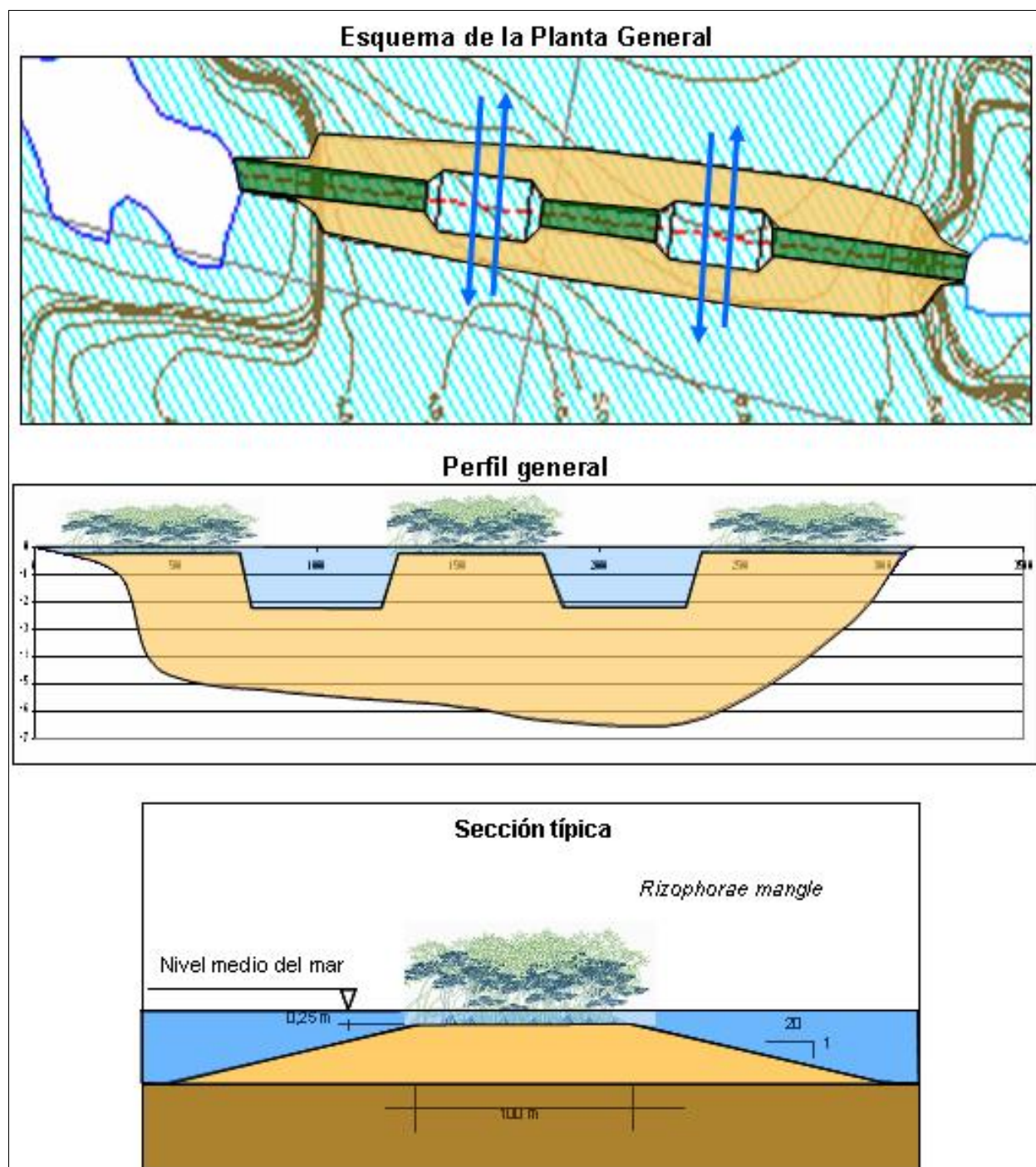
- **Canales de acceso desde la bahía**

Con el fin de permitir que los volúmenes derivados desde el canal del Dique que llegan al recinto puedan salir a la bahía, y que el volumen correspondiente al prisma de mareas pueda hacer su flujo y reflujo, se definieron dos canales de acceso en el cuerpo de la pantalla, a manera de vertederos.

Según Universidad de Cartagena (2003), las mareas en el mar Caribe son semidiurnas, no regulares, es decir, que no se presentan exactamente dos pleamares y dos bajamares en un período de 24 horas, sino que se presenta una pleamar y una bajamar seguido de un ascenso y descenso leve del nivel de las aguas. La amplitud media multianual, es del orden de los 0.30 m. (oscilación del nivel a partir del nivel medio). Para definir el volumen del prisma de marea, se asumió una duración de 6 horas para las mareas entrante y saliente.

Las velocidades de las corrientes establecidas por Universidad de Cartagena (2003) en la zona de la bahía entre los caños es del orden de 0,1 y 0,16 m/s para la parte central y hacia la costa entre 0,01 y 0,08 m/s. Para efectos de estos cálculos se asumió una velocidad media de 0,13 m/s.

Figura 4 Plantas y cortes del la pantalla del prototipo.



- **Recinto**

El recinto o trampa de sedimentos está ubicado sobre el costado oriental de la bahía de Barbacoas, en la zona encerrada entre los caños Lequerica y Matunilla y entre la faja de tierra al oeste del canal del Dique y la pantalla.

Sus dimensiones son:

- ✓ Ancho promedio, 1,8 km
- ✓ Longitud, 6,0 km
- ✓ Área del recinto, 10,8 km², ó 1.080 hectáreas.
- ✓ Profundidad media, 3,0 m
- ✓ Capacidad, 32,4 Mm³ (millones de m³)

Con esta capacidad y asumiendo que todo el material de arrastre y en suspensión se quedara atrapado en la trampa, y una densidad de 1,25 ton/m³, la vida útil del recinto del proyecto de Deltificación Controlada sería de unos 22 años.

- **Canales de acceso desde la bahía**

Con el fin de permitir que los volúmenes derivados desde el canal del Dique que llegan al recinto puedan salir a la bahía, y que el volumen correspondiente al prisma de mareas pueda hacer su flujo y reflujo, se definieron dos canales de acceso en el cuerpo de la pantalla, a manera de vertederos.

Según Universidad de Cartagena (2003), las mareas en el mar Caribe son semidiurnas, no regulares, es decir, que no se presentan exactamente dos pleamares y dos bajamares en un período de 24 horas, sino que se presenta una pleamar y una bajamar seguido de un ascenso y descenso leve del nivel de las aguas. La amplitud media multianual, es del orden de los 0.30 m. (oscilación del nivel a partir del nivel medio). Para definir el volumen del prisma de marea, se asumió una duración de 6 horas para las mareas entrante y saliente.

Las velocidades de las corrientes establecidas por Universidad de Cartagena (2003) en la zona de la bahía entre los caños es del orden de 0,1 y 0,16 m/s para la parte central y hacia la costa entre 0,01 y 0,08 m/s. Para efectos de estos cálculos se asumió una velocidad media de 0,13 m/s.

Para dimensionar los canales se utilizaron datos básicos:

- ✓ Caudal derivado por caños, 137 m³/s
- ✓ Caudal del prisma de mareas para un área de 10,8 km², amplitud de 0,3 m y duración de la marea de 6 horas, 150 m³/s.
- ✓ Caudal de marea saliente, 287 m³/s
- ✓ Velocidad de la corriente, 0,13 m/s
- ✓ Sección requerida, 2.208 m²

Luego de varias iteraciones en hoja electrónica de Excel con los anchos y taludes de los canales y se definieron las siguientes:

- ✓ Base, 520 m
- ✓ Altura, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1V:10H
- ✓ Ancho superior, 600 m
- ✓ Sección, 1.120 m²
- ✓ No de ventanas, 2

- **Dragado en los caños**

Para inducir las descargas del canal del Dique a la bahía de Barbacoas se debe ampliar el caño Lequerica desde el punto de bifurcación del canal del Dique, en el K107, hasta un punto intermedio del cauce actual del caño, y abrir un cauce nuevo sobre la margen izquierda del caño para conducir estas descargas adicionales hacia Barbacoas. Esta derivación, así como la del caño Matunilla, requiere de un estudio de diseño hidráulico para obtener sus dimensiones y las condiciones de operación. Para esta propuesta se consideraron las siguientes obras:

Para ampliar la sección existente, que actualmente es en promedio de unos 1,5 metros de profundidad y de unos 45 metros de ancho en su base:

- ✓ Base del canal del caño Lequerica, 60 m
- ✓ Profundidad, 3,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 2.150 m
- ✓ Volumen de dragado, 271.000 m³

Para el canal nuevo de derivación sobre la margen izquierda del caño Lequerica:

- ✓ Base del canal, 60 m
- ✓ Profundidad, 3,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 1.200 m
- ✓ Volumen de dragado, 238.000 m³

Para abrir la derivación del caño Matunilla en dirección a la bahía:

- ✓ Base del canal, 30 m
- ✓ Profundidad, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 1.100 m
- ✓ Volumen de dragado, 75.000 m³

Dado que el acceso desde la bahía de Barbacoas hasta el canal del Dique por el caño Lequerica tiene una gran barra de sedimentos que impide el paso seguro de embarcaciones menores y de turismo, se requiere remover esa barra y acondicionar un acceso seguro:

- ✓ Base del canal, 30 m
- ✓ Profundidad, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 1.200 m
- ✓ Volumen de dragado, 78.000 m³

Se debe tener en cuenta que parte de estos volúmenes serán utilizados en la conformación de la pantalla para el recinto del proyecto piloto; por tanto, es necesario investigar nuevas fuentes de materiales de dragado, preferiblemente dentro del recinto para aumentar su capacidad de retención de sedimentos.

- **Siembra de manglar**

Se pretende aumentar la cobertura de manglar en ese sistema en un total de 1.100 ha, mediante un proceso de siembra controlado en forma de pantallas que sirvan como elementos filtrantes y consolidadores del sedimento que transporta la fracción

de la corriente del canal del Dique que será introducida al recinto de Barbacoas. Inicialmente, se hará una siembra sobre la corona de la pantalla para que actúe como filtrante; cuando comience el ingreso de aguas del Dique se harán siembras sucesivas sobre los espigones que formará el delta dentro del recinto, que actuarán como retenedores de sedimentos. De esta manera, se estaría acelerando un proceso que naturalmente se produce dentro de la dinámica deltaica, pero que resulta benéfico para la bahía de Cartagena por la reducción de la descarga de sedimentos y para el delta del Canal del Dique por el aumento de su cobertura de manglar. De este último aspecto, también se verían beneficiadas las comunidades de manglares de la zona, pues son los ejecutores de la estrategia en todo lo relativo al manglar.

- **Operación y monitoreo**

Se asume un tiempo de 21 a 22 años (50 ha/año aproximadamente)⁴ para colmatar el recinto de deltificación controlada, tiempo durante el cual se realizarán dos actividades principales: la operación y el monitoreo.

- ✓ **Operación**

La operación tendrá dos frentes principales de acción. El primero se relaciona con el manejo hidráulico del delta, con el fin de distribuir los caudales dentro del recinto de tal manera que la carga de sedimentos se disperse de forma más o menos homogénea dentro del recinto; este trabajo implica el empleo de mano de obra no calificada para hacer mediante pequeños canales la distribución en el recinto. Eventualmente, se necesitarán dragados para remover las barras de sedimentos que habitualmente se forman en las desembocaduras de las corrientes.

El segundo está relacionado con el manejo de las coberturas de mangle; en consecuencia, a partir del año 1, se programarán plantaciones de esa magnitud anual con trabajo comunitario, el cual podría generar no menos de 2500 jornales para los manglares de Pasacaballos y poblaciones vecinas principalmente, hasta completar el espacio proporcionado. En este aspecto, se perseguirá la formación de módulos o islas de manera sistemática, manejando la configuración del delta dentro del recinto y ajustando las dimensiones de la siembra anual para permitir flujos laminares adecuados entre cada módulo, de manera que el “nuevo sistema” sea, no solamente un generador de biodiversidad, consolidador de línea de costa y/o filtro natural, sino también un lugar de interés eco-turístico que pueda ser visitado por personas y arreglado o manejado de manera adecuada para que constituya un parque natural o un área protegida y funcione como modelo de manejo de los recursos costeros o conservación de la biodiversidad. En este tiempo se espera acopiar información relevante respecto de la sucesión natural, el desarrollo de “nuevos ambientes” o “ambientes creados” y la sistematización en forma conveniente como aporte al conocimiento o para compararla con experiencia similares.

- ✓ **Monitoreo**

Esta actividad también tendrá dos frentes de trabajo. El monitoreo de las condiciones hidráulicas está referido al posicionamiento de los diferentes canales de distribución del agua, a la medición de caudales en los canales mediante registro de velocidades y secciones y al muestreo y tratamiento en laboratorio de muestras indicadoras de la concentración de sólidos suspendidos en diferentes puntos antes y después de las barreras de manglar y a lo largo de los canales de manejo del agua. Para ello, se adquirirán los equipos respectivos de medición, muestreo y laboratorio y se instalarán en una oficina adecuada para ello.

Par el monitoreo de las coberturas, sobre el área del recinto se instalarán 3 Parcelas Permanentes de Crecimiento de Manglar sobre los módulos implementados, buscando representatividad en el grado de exposición a las corrientes y marea. Cada parcela tendrá un área de 100 m² de forma cuadrada sobre las cuales se determinará con carácter anual el crecimiento y desarrollo con mediciones de altura y diámetro a la altura del pecho (una vez superen los 2,5 cm). Adicionalmente, sobre las parcelas se establecerá el reclutamiento (regeneración natural) y los procesos sucesional, identificando las especies (además del mangle) que colonizan los nuevos ambientes. En lo posible se cuantificará o se estimará cobertura. A su vez, anualmente se monitorearán 4 puntos estratégicos del manglar adyacente al recinto (Figura 5) en lo relativo a estructura, composición y mortalidad, con anotaciones ecológicas sobre el proceso desencadenado una vez efectuada la intervención.

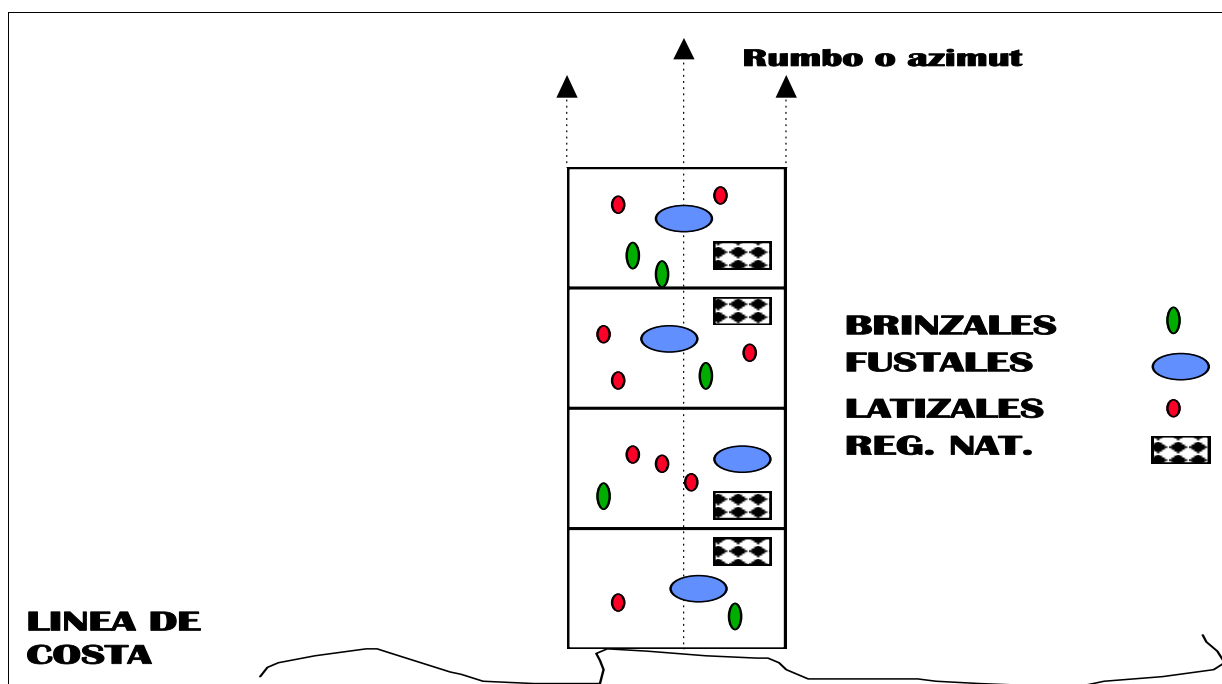
⁴ Los cálculos y referencias de los volúmenes de sedimento a utilizar se describen en el título x

Figura 5 Disposición de transectos perpendiculares para establecer estructura y estado fisiológico del manglar existente en las áreas adyacentes al proyecto una vez en funcionamiento



Estos puntos serán representativos de los caños Matunilla y Lequerica (2), así como del sector de Piedrecitas (2 - zona intermedia). Las mediciones se efectuarán trazando transectos lineales perpendiculares a la línea de costa mediante el método de cuadrantes alternos de 100 m² (Figura 6).

Figura 6 Esquema de trabajo con estructura de manglar adyacente



- Costos del Proyecto Prototipo

RELACION DE COSTOS DEL PROYECTO PROTOTIPO

ITEMS	Unidad	Cantidad	US\$/unitario	US\$ Total	COL\$ Total
1. Diseño y Plan de Obras				3.414.022	6.828.044.000
Diseño pantalla y desviaciones	Unidad	1	130.000	130.000	260.000.000
Dragado derivación caño Matunilla	m3	74.800	2,1	157.080	314.160.000
Dragado 2a Fase canal de derivación Lequerica	m3	90.000	2,1	189.000	378.000.000
Dragado ampliación caño Lequerica	m3	270.900	2,1	568.890	1.137.780.000
Dragado en el recinto	m3	1.128.120	2,1	2.369.052	4.738.104.000
Total Dragado		1.563.820	2,1	3.284.022	6.568.044.000
2. Operación y monitoreo Prototipo					
2.1 Coordinación técnica y Administrativa					
2.1.1 Costos de personal				4.800.750	9.601.500.000
Coordinador	mes	240	5.000	1.200.000	2.400.000.000
Asistente administrativo	mes	240	850	204.000	408.000.000
Profesional Hidrologo	mes	240	4.500	1.080.000	2.160.000.000
Profesional Biologo	mes	240	4.500	1.080.000	2.160.000.000
Ingeniero de campo	mes	240	1.350	324.000	648.000.000
Biólogo campo	mes	240	1.350	324.000	648.000.000
Comisión de aforos	mes	240	2.300	552.000	1.104.000.000
Profesional Ev. Pesquera	mes	7	1.750	12.250	24.500.000
Profesional Plancton	mes	7	1.750	12.250	24.500.000
Profesional Ev. Bentos - fco-químicos	mes	7	1.750	12.250	24.500.000
Técnico auxiliar	mes	240	800	192.000	384.000.000
2.1.2 Costos directos				1.030.000	2.060.000.000
Oficina		240	1.000	240.000	480.000.000
Análisis laboratorio parámetros físico químicos	Global	120	1.150	138.000	276.000.000
Laboratorio sedimentología	Global	4	13.000	52.000	104.000.000
Lancha y motor fuera de borda	Global	4	15.000	60.000	120.000.000
Equipos de muestreo aguas y sedimentos	Global	4	14.000	56.000	112.000.000
GPS	Global	4	3.000	12.000	24.000.000
Ecosonda	Global	4	11.000	44.000	88.000.000
Medidor de caudales	Global	4	17.000	68.000	136.000.000
Otros / varios (Papel-fungibles)	Global	240	1.500	360.000	720.000.000
Combustible vehículos		240	1.000	240.000	480.000.000
3. Componente manglar				946.000	1.892.000.000
Produccion material	Global	20	12.400	248.000	496.000.000
Establecimiento	Global	20	12.500	250.000	500.000.000
Modulos encapsulados	Global	20	22.400	448.000	896.000.000
Incentivo comunitario	Global	20	1.500	30.000	60.000.000
TOTALES				\$ 10.190.772	\$ 20.381.544.000

- Componentes principales del Proyecto Piloto

Una forma de empezar a evaluar las posibilidades reales de mitigación del impacto producido por los sedimentos y la forma como poner en operación costo- efectiva del proyecto **PROTOTIPO**, es iniciar a medir su bondades con un esquema de aplicación inmediata que no solo cumpla con este propósito, sino que en el corto plazo permita resultados suficientes con las variables controladas de un diseño experimental.

Aunque durante los dragados del año 1984 en el caño Lequerica se tuvieron algunas experiencias no documentadas cuando se estableció un gran sector de la margen izquierda con manglar nuevo por efecto de disponer el material dragado sobre el borde de la bahía, es necesario realizar un plan piloto previo a las obras definitivas del proyecto de Deltificación controlada. En las secciones subsiguientes de este informe se presentan con detalle los objetivos, alcances, metodologías de trabajo y

presupuestos de las actividades por desarrollar en el **Plan Piloto**. Se presenta a continuación un breve resumen de sus objetivos.

Como objetivo principal se plantea establecer la viabilidad técnica y ambiental del prototipo, mediante la determinación de las condiciones reales de los parámetros involucrados en el desarrollo del prototipo, como taludes de la pantalla, volúmenes de material de dragado requerido, condiciones hidráulicas del flujo que se introducirá al recinto, densidades de plantación del manglar, sistemas de siembra, manejo de espigones, etc.

Así mismo, se plantea como objetivo principal la investigación in situ y preparación de una línea base en razón de los efectos que causará sobre el medio ambiente del recinto y de su área de influencia la descarga masiva de aguas y sedimentos. Cabe señalar que antes de la llegada directa del canal del Dique a la bahía de Cartagena (hacia la década de los años 30 del siglo pasado), los caudales del Dique descargaban directamente en la bahía de Barbacoas, a través de la ciénaga de La Matuna.

Los componentes principales del proyecto piloto son los siguientes:

- ✓ Estudio de diseño de las estructuras del proyecto piloto, en el cual se determinarán sus dimensiones y características técnicas.
- ✓ Adecuación mediante dragados del caño Lequerica para que ingrese al recinto una descarga que se ha estimado es del orden de los 20 m³/s, lo cual incluye ampliar la sección del Lequerica y abrir un canal nuevo de derivación desde este caño hasta el recinto del piloto.
- ✓ Conformación de un recinto al costado sur del caño Lequerica que da hacia la bahía de Barbacoas para que actúe a manera de trampa de sedimentos, mediante la construcción de una barrera con materiales de dragado, cuya corona tendrá un ancho de 30 metros y su altura llegará hasta los 0,20 metros por debajo del nivel de pleamar, con dos ventanas a modo de vertederos de excesos para permitir a velocidades adecuadas el tránsito del prisma de marea desde y hacia el recinto.
- ✓ Instalación sobre la corona de la pantalla de una cortina de manglar cuyo objetivo es el de contribuir a retener dentro del recinto la pluma de sedimentos en suspensión.
- ✓ Rehabilitación mediante dragado del canal de acceso desde la bahía de Barbacoas hacia el canal del Dique por el caño Lequerica.
- ✓ Operación y monitoreo del proyecto piloto.
- ✓ Elaboración de los estudios básicos e investigaciones de campo para establecer la línea base ambiental de referencia.

• **Diseño de las estructuras del proyecto piloto**

Este estudio debe contemplar todos los estudios básicos requeridos para dimensionar las obras y estructuras que integran el proyecto piloto y los procedimientos para su ejecución. Se deben incluir, entre otros, los siguientes aspectos:

- ✓ Determinación de los caudales requeridos para el funcionamiento del proyecto piloto, considerando la disponibilidad de área y capacidad en el recinto previsto.
- ✓ Levantamientos topográficos para localización y dimensionamiento de las obras de derivación de caudales hacia el recinto del piloto.
- ✓ Análisis de las características del sedimento y de los suelos que serán dragados para establecer los taludes más adecuados de la pantalla y sus cantidades de obra.
- ✓ Determinación de las dimensiones y configuración de las ventanas en la pantalla que permitirán el ingreso y salida del prisma de mareas y de los volúmenes derivados del canal del Dique hacia el recinto.
- ✓ Selección de los aspectos principales de las condiciones hidráulicas que serán objeto de monitoreo estableciendo parámetros, metodologías y frecuencias de medición.
- ✓ Determinación de los requerimientos mínimos de personal y de equipos para la operación y monitoreo de las estructuras y del comportamiento de los sedimentos dentro del recinto.

- **Pantalla del recinto del proyecto piloto**

La localización de esta pantalla está prevista sobre costado izquierdo del caño Lequerica que da hacia la bahía de Barbacoas, como se indica en la Figura 2. Su longitud es de unos 1.600 metros. En la parte central de la franja, la profundidad máxima de la bahía es de 4,3 metros.

Será conformada con material extraído del dragado de la ampliación del caño Lequerica y de la remoción de la barra de sedimentos a la salida de este caño a la bahía de Barbacoas. En el evento de que se requiera mayor cantidad de materiales para la conformación de la pantalla, deberá ser obtenida del recinto previsto para el piloto. El talud designado es de 1V:10H.

Sus características son:

- ✓ Longitud de corona, 1.600 m
- ✓ Ancho de corona, 30 m
- ✓ Taludes 1V:10H
- ✓ Volumen de la pantalla, 214.100 m³
- ✓ Menos volumen de canales, 22.200 m³
- ✓ Volumen total por dragar, 191.900 m³

- **Recinto del piloto**

Como ya se mencionó, el recinto o trampa de sedimentos estará localizada entre la pantalla y la espiga sur caño Lequerica. Sus dimensiones son:

- ✓ Ancho promedio, 0,73 km
- ✓ Longitud, 1,475 km
- ✓ Área del recinto, 1,08 km², ó 108 hectáreas.
- ✓ Profundidad media, 1,5 m
- ✓ Capacidad, 1,62 Mm³ (millones de m³)

Con esta capacidad y asumiendo una densidad de 1,25 ton/m³, la vida útil del recinto del proyecto piloto sería de unos 7 años.

- **Canales de acceso desde la bahía**

Se requieren canales sobre la pantalla para permitir que los volúmenes derivados desde el canal del Dique que llegan al recinto del piloto puedan salir a la bahía, y que se realice el flujo y reflujo del prisma de mareas; se definieron dos canales de acceso en el cuerpo de la pantalla, a manera de vertederos.

Según Universidad de Cartagena (2003), las mareas en el mar Caribe son semidiurnas, no regulares, es decir, que no se presentan exactamente dos pleamares y dos bajamares en un período de 24 horas, sino que se presenta una pleamar y una bajamar seguido de un ascenso y descenso leve del nivel de las aguas. La amplitud media multianual, es del orden de los 0.30 m. (oscilación del nivel a partir del nivel medio). Para definir el volumen del prisma de marea, se asumió una duración de 6 horas para las mareas entrante y saliente.

Las velocidades de las corrientes establecidas por Universidad de Cartagena (2003) en la zona de la bahía entre los caños es del orden de 0,1 y 0,16 m/s para la parte central y hacia la costa entre 0,01 y 0,08 m/s. Para efectos de estos cálculos se asumió una velocidad media de 0,13 m/s.

Para dimensionar los canales se utilizaron datos básicos:

- ✓ Caudal derivado por caños, 20 m³/s
- ✓ Caudal del prisma de mareas para un área de 1,08 km², amplitud de 0,3 m y duración de la marea de 6 horas, 15 m³/s.

- ✓ Caudal de marea saliente, 20 m³/s
- ✓ Velocidad de la corriente, 0,13 m/s
- ✓ Sección requerida, 269 m²

Luego de varias iteraciones en hoja electrónica de Excel con los anchos y taludes de los canales y se definieron las siguientes:

- ✓ Base, 520 m
- ✓ Altura, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1V:10H
- ✓ Ancho superior, 140 m
- ✓ Sección, 130 m²
- ✓ No de ventanas, 2

• Dragados en los caños

Los materiales de dragado para la construcción de la pantalla se pueden obtener de diferentes fuentes, entre las cuales está el dragado para ampliar la sección del caño Lequerica, el requerido para construir la derivación desde el caño Lequerica hasta la bahía de Barbacoas y el dragado para la remoción de la barra de sedimentos en la zona de contacto entre el caño y la bahía de Barbacoas. Los volúmenes definitivos se obtendrán del estudio de diseño, pero en principio se han estimado los siguientes volúmenes provisionales:

La ampliación del caño Lequerica debe ser decidida por el estudio de diseño. La sección actual tiene en promedio unos 1,5 metros de profundidad y unos 45 metros de ancho en su base.

Para el canal nuevo de derivación sobre la margen izquierda del caño Lequerica:

- ✓ Base del canal, 20 m
- ✓ Profundidad, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 1.200 m
- ✓ Volumen de dragado, 57.600 m³

Para remover la barra de sedimentos a la salida del caño Lequerica a la bahía:

- ✓ Base del canal, 30 m
- ✓ Profundidad, 2,0 m
- ✓ Taludes, 1H:2H
- ✓ Longitud, 1.150 m
- ✓ Volumen de dragado, 78.200 m³

El volumen faltante para conformar la pantalla del piloto será obtenido del dragado del fondo del recinto.

• Siembra de manglar

La siembra inicial estará orientada a proveer de cobertura la corona de la pantalla, que tiene unos 1300 metros de longitud y 30 metros de ancho. La función como elemento filtrante ha sido ya explicada en la sección correspondiente del prototipo.

- Operación y monitoreo

El tiempo de operación del piloto está previsto en 24 meses. No obstante, al año de comenzado el proyecto se presentará un informe con resultados preliminares que servirán de apoyo para el estudio de diseño del prototipo. Las actividades por desarrollar son similares a las del prototipo, con algunas variantes, de la siguiente manera.

- ✓ Operación

El frente de acción correspondiente al manejo hidráulico del delta está orientado a definir y ejecutar la distribución de caudales dentro del recinto para que la carga de sedimentos se reparta uniformemente dentro del recinto; se utilizará mano de obra local no calificada para hacer mediante pequeños canales la distribución de aguas.

El frente relacionado con el manejo de las coberturas de mangle; se iniciará en la corona de la pantalla con siembra de mangle con 4 técnicas (siembra directa, plántulas de vivero, trasplante y mangle encapsulado) en 7 módulos diferentes (Figura 7); 3 de ellos se destinarán para siembra a partir de plántulas de vivero con una superficie de 1 ha cada uno, 2 módulos de siembra directa de 0,5 ha cada uno y 2 módulos para siembra a partir de trasplante y encapsulado respectivamente con una superficie de 0,4 ha. El piloto pretende determinar el método y la densidad de siembra más adecuada para lograr dos cosas: la mayor sobrevivencia del mangle a partir de material depositado y la mayor tasa de retención de sedimentos.

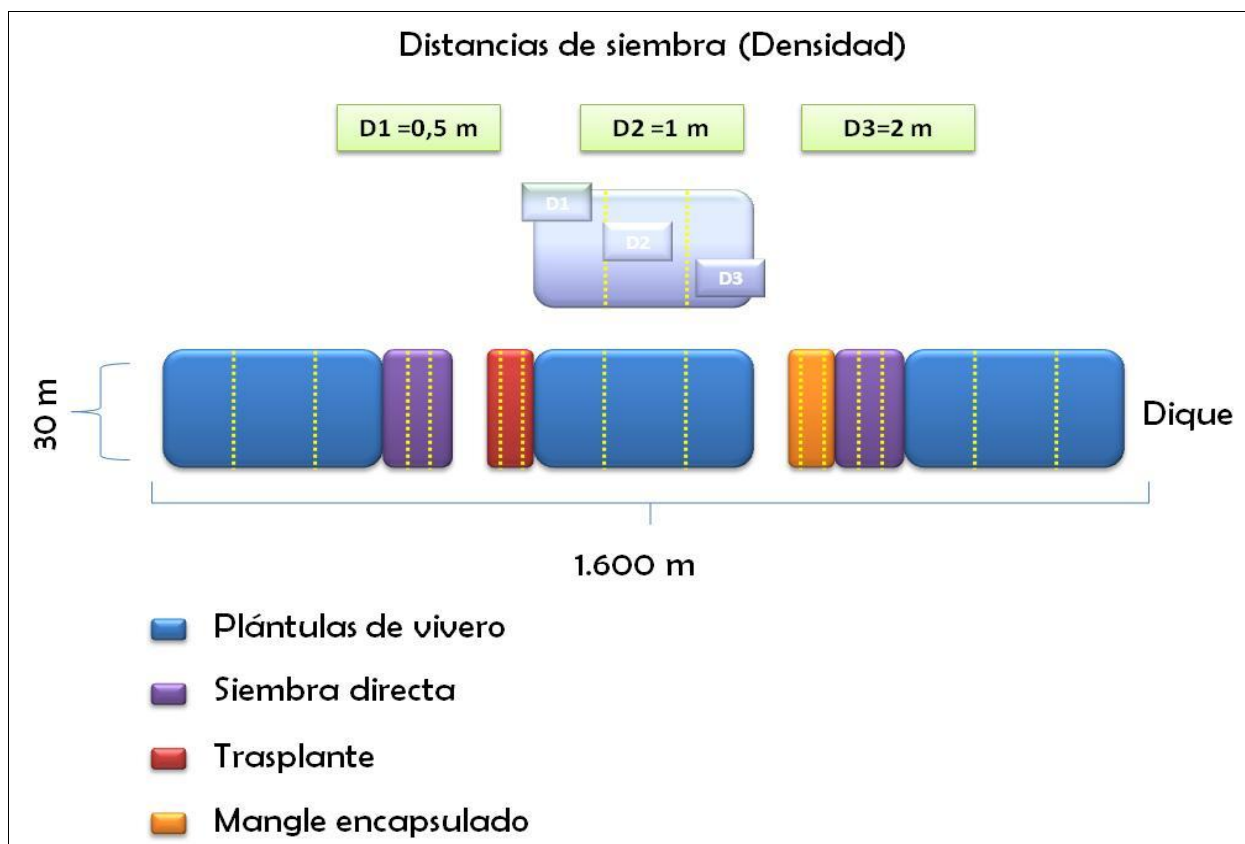


Figura 7 Esquema de siembra de mangle en el piloto

Tabla 3 Cuantificación del número de plántulas por módulo y método.

Método	Vivero (3 has)			Trasplante (0,4 Has)			Tubos (0,4 Has)			Siembra Directa (1 Ha)			Total
Densidad	0,5 m	1 m	2 m	0,5 m	1 m	2 m	0,5 m	1 m	2 m	0,5 m	1 m	2 m	
Numero de plántulas	60.000	15.000	3.750	8.000	2.000	500	8.000	2.000	500	40.000	10.000	2.500	
Total	78.750			10.500			10.500			52.500			152.250
Ajuste para reposición	80.000			11.000			11.000			55.000			157.000

Para ello se habilitará la construcción de un vivero en la población de Pasacaballos manejado con mangleros de la zona y reconocida trayectoria en actividades de recuperación de manglar. El vivero, inicialmente tendrá una capacidad de 80.000 plántulas y posteriormente para una cantidad superior (160.000)⁵ plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por ser el pionero de la sucesión, donde se producirá el material correspondiente. En principio se destinarán plántulas para monitoreo en vivero acerca de su crecimiento y desarrollo, propiciado con trabajo de la comunidad así como la recolección de propágulos para siembra directa y mangle encapsulado. Para trasplante se ubicarán alrededor de 11.000 plántulas de 1 año de vida aproximadamente obtenidas del medio natural y se llevarán con bola de raíz al módulo para ser dispuestas adecuadamente de acuerdo con lo estipulado. Para el mangle encapsulado y siembra directa se recolectarán los respectivos propágulos y se dispondrán convenientemente

✓ Monitoreo

Como en el monitoreo del prototipo, esta actividad también tendrá dos frentes de trabajo. El monitoreo de las condiciones hidráulicas, referido al posicionamiento de los diferentes canales de distribución del agua, a la medición de caudales en los canales mediante registro de velocidades y secciones y al muestreo y tratamiento en laboratorio de muestras indicadoras de la concentración de sólidos suspendidos en diferentes puntos antes y después de las barreras de manglar y a lo largo de los canales de manejo del agua. Para ello, se adquirirán los equipos respectivos de medición, muestreo y laboratorio y se instalarán en una oficina adecuada para ello.

De cada módulo de mangle, se monitoreará mensualmente crecimiento y desarrollo en las plántulas y del medio circundante se tomarán muestras físico-químicas del agua, antes (1 estación) y después de la barrera (2 estaciones), para establecer la eficiencia del piloto en términos de retención de sedimentos y fijación de nutrientes buscando gradiente (ver Figura 8). Las muestras serán aplicadas para determinar principalmente los parámetros de salinidad, temperatura, nutrientes (NO₃, PO₄), conductividad y sólidos suspendidos.

Sobre el piloto se definirán las muestras representativas para crecimiento y desarrollo en el marco de parcelas permanentes de crecimiento (PPC), aplicando monitoreo mensual los primeros 8 meses sobre aspectos de sobrevivencia, crecimiento (altura) y desarrollo (estructuras). Pasado el primer año de trabajo las mediciones se efectuarían cada año sobre las parcelas por un tiempo no menor de 5 años para la obtención de datos representativos y comparables de acuerdo a metodologías validadas.

• Línea base de referencia ambiental

Las actividades de dragado y eliminación de los materiales dragados para el desarrollo y mantenimiento de los canales de acceso a puertos y bahías pueden inducir impactos a corto y largo alcance sobre los sistemas acuáticos de naturaleza diferente:

- ✓ Degradación de tales recursos marinos como playas, esteros y pesquerías;
- ✓ Resuspensión y asentamiento del sedimento
- ✓ Reparación de contaminantes tóxicos y reintroducción en la columna de agua
- ✓ Ingestión y acumulación de contaminantes en el recurso hidrobiológico
- ✓ Mayor turbiedad ocasionando una disminución en la solubilidad del oxígeno disuelto
- ✓ Modificación de la batimetría, ocasionando cambios en la circulación de las aguas
- ✓ Alteración en la diversidad de las especies (generalmente disminución) y estructuras de las comunidades bénticas e incluso planctónicas, y fluctuaciones en la composición química del agua

⁵ Para la producción en la fase operativa del proyecto por 22 años

- ✓ Cambios en la estructura de la línea de costa
- ✓ Pérdida del hábitat y recursos pesqueros

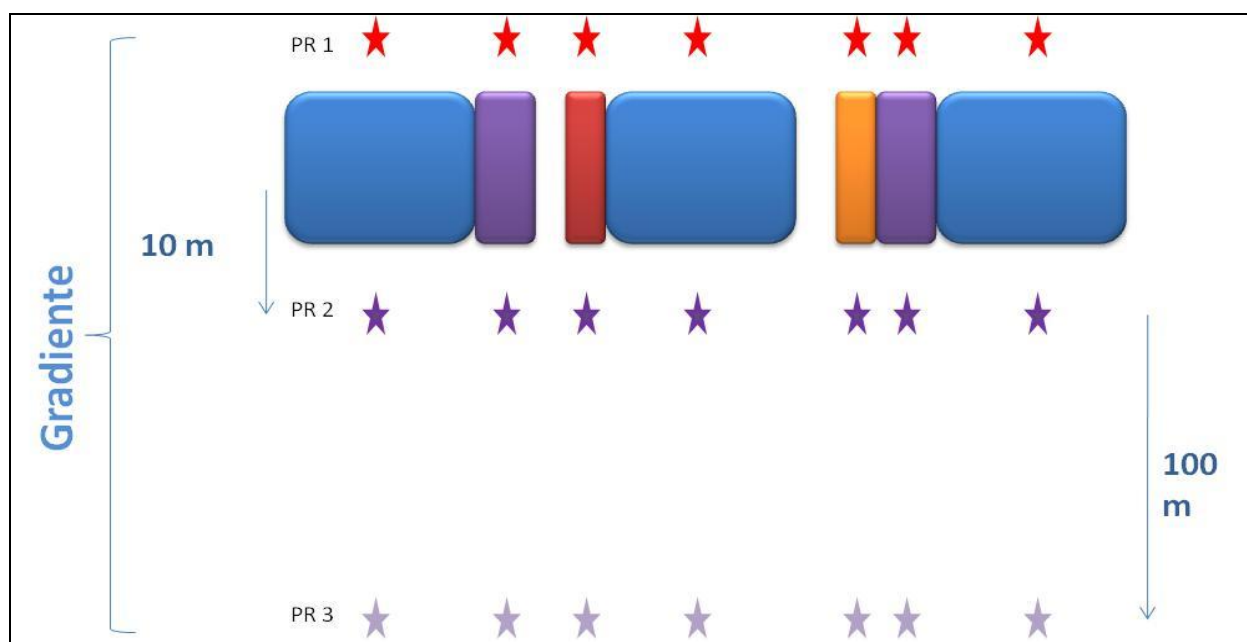


Figura 8 Ubicación de puntos de muestreo para parámetros físico químicos.

El proyecto se desarrollará sobre una amplia zona costera sobre la cual se asume interacción de comunidades biológicas con variables abióticas, que reflejarán de manera tangible las modificaciones en el medio por intervenir. Se requiere, pues, de información suficiente que permita dimensionar el estado actual de los recursos hidrobiológicos del área de influencia, ni de la calidad del agua y predecir el efecto ambiental de las acciones por adelantar.

La determinación de la línea base se centrará en los siguientes aspectos:

Análisis físico químico

En el área del recinto se establecerá un grupo de estaciones representativas que permita determinar el orden de magnitud de parámetros indicadores de las condiciones físico químicas (Tabla 4).

Variable	Unidad	Variable	Unidad
Color	UC	Nitritos	mg/l
Profundidad	m.	Nitratos	mg/l
Transparencia	m.	Amonio	mg/l
Turbiedad	UNT	Fosfatos	mg/l
Temperatura	°C	Sólidos Susp. Tot.	mg/l
pH	Unid. pH	DBO ₅	mg/l
Conductividad	µsiem/cm	Oxígeno disuelto	mg/l

Tabla 4 Variables físico-químicas de la línea base y monitoreo

Biota

Se determinará el estado actual de las comunidades plantónica e ictiológica en la columna de agua y la comunidad bentónica (de los fondos) en términos de⁶:

- Distribución
- Vulnerabilidad,
- Distribución estacional
- Riqueza y/o diversidad
- Existencia de áreas de reproducción y hábitats de interés ecológico de peces migratorios y demás especies que requieran de un manejo especial.
- Localización y descripción del estado de conservación de los principales ecosistemas y hábitats presentes en el área del proyecto
- Identificación de los grupos faunísticos más vulnerables a los impactos por pérdida de hábitat y descripción de sus relaciones funcionales con el medio ambiente.

Además se establecerá el estado del manglar adyacente al área directa de la intervención en términos de estructura, estado fisiológico, tensores (actuales y futuros) y perspectivas del sistema, a partir de información secundaria y trabajo de campo puntual en la misma forma descrita que para el prototipo.

Cronograma

Los tiempos de trabajo están divididos en años, puesto que la operación y monitoreo del proyecto definitivo de deltificación controlada es prácticamente permanente a lo largo de su vida útil, Se destacan los proyectos piloto y prototipo con sus principales componentes.

Items de actividades		Años																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proyecto Piloto	Línea base ambiental																				
	Diseños específicos																				
	Construcción de obras																				
	Operación y monitoreos																				
Proyecto Prototipo	Estudios de diseño																				
	Construcción de obras																				
	Operación y monitoreos																				

⁶ Con base en los lineamientos de MAVDT para los EIA de dragado

- Costos estimados

RELACION DE COSTOS DEL PROYECTO PILOTO

ITEMS	Unidad	Cantidad	US\$/unitario	US\$ Total	COL\$ Total
1. Diseño y construcción del Plan Piloto				465.132	930.264.000
Diseño pantalla y desviaciones	Unidad	1	60.000	60.000	120.000.000
Dragado barra del caño Lequerica	m3	78.200	2,1	164.220	328.440.000
Dragado 1a Fase canal de derivación Lequerica	m3	57.600	2,1	120.960	241.920.000
Dragado en el recinto	m3	57.120	2,1	119.952	239.904.000
Total Dragado		192.920	2,1	405.132	810.264.000
2. Operación y monitoreo Plan Piloto					
2.1 Coordinación técnica y Administrativa					
2.1.1 Costos de personal				174.075	348.150.000
Coordinador	mes	12	3.000	36.000	72.000.000
Asistente administrativo	mes	12	850	10.200	20.400.000
Profesional Hidrologo	mes	12	2.500	30.000	60.000.000
Profesional Biologo	mes	12	2.500	30.000	60.000.000
Ingeniero de campo	mes	12	1.350	16.200	32.400.000
Biólogo campo	mes	12	1.350	16.200	32.400.000
Comisión de aforos	mes	12	2.300	27.600	55.200.000
Profesional Ev. Pesquera	mes	1,5	1.750	2.625	5.250.000
Profesional Plancton	mes	1,5	1.750	2.625	5.250.000
Profesional Ev. Bentos - fco-químicos	mes	1,5	1.750	2.625	5.250.000
Técnico auxiliar	mes	12	800	9.600	19.200.000
2.1.2 Costos directos				127.600	279.200.000
Oficina		12	800	9.600	19.200.000
Análisis laboratorio parámetros físico químicos	Global	12	2.250	27.000	54.000.000
Laboratorio sedimentología	Global	1	13.000	13.000	26.000.000
Lancha y motor fuera de borda	Global	1	15.000	15.000	30.000.000
Equipos de muestreo aguas y sedimentos	Global	1	14.000	14.000	28.000.000
GPS	Global	1	3.000	3.000	6.000.000
Ecosonda	Global	1	11.000	11.000	22.000.000
Medidor de caudales	Global	1	17.000	17.000	34.000.000
Otros / varios (Papel-fungibles)	Global	12	1.500	18.000	36.000.000
Combustible vehiculos		12	1.000	12.000	24.000.000
3. Componente manglar				47.300	94.600.000
Produccion material	Global	1	12.400	12.400	24.800.000
Establecimiento	Global	1	12.500	12.500	25.000.000
Modulos encapsulados	Global	1	22.400	22.400	44.800.000
Incentivo comunitario	Global	1	1.500	1.500	3.000.000
TOTALES				\$ 814.107	\$ 1.652.214.000

B. Manejo de sedimentos en Pasacaballos

Sobre el espigón de la margen izquierda del canal del Dique en su desembocadura en Pasacaballos se han depositado materiales de dragado que han dado lugar a la formación de suelos emergidos que ocupan una extensión de unas 30 hectáreas. Dado que son suelos creados con operaciones ordenadas por el Gobierno Nacional, por una parte, y que se encuentran dentro de la denominada zona de bajamar, por otra, estos suelos creados constituyen bienes de uso público.

Sin embargo, en recientes visitas de campo se ha observado la existencia de linderos y la presencia de ocupantes que ostentan y defienden la propiedad de esos terrenos, lo que representa una forma ilegal de tenencia de una tierra que le pertenece a todos los colombianos y que de acuerdo con la Ley 161 de 1994 es CORMAGDALENA la entidad encargada de administrar esos bienes.

Por otra parte, sobre el costado sur de la bahía de Cartagena, se encuentran sectores con profundidades de más de 20 metros que se pueden constituir en trampas o receptores de sedimentos de futuros dragados de mantenimiento del acceso al canal del Dique.

Las opciones de manejo de CORMAGDALENA con relación al delta del canal del Dique en la bahía de Cartagena pueden ser de dos tipos:

- ✓ Adecuar los terrenos emergidos
- ✓ Conformar la trampa del sur de la bahía
- **Adecuación de los terrenos emergidos**

Estas acciones están encaminadas a CORMAGDALENA pueda recuperar la soberanía sobre esos terrenos, conformando unas piscinas (Figura 9) para confinar los materiales de dragado que se extraen de la barra de Pasacaballos, las cuales, luego de colmatadas, podrían ser adecuadas y niveladas para que sea factible entregarlas en concesión o comodato para fines de investigación científica evitando los usos portuarios, industrial o comerciales.

Con la construcción de unos terraplenes perimetrales según el esquema de la Figura 6, se podrían adecuar unas 45 hectáreas, permitiendo disponer a muy bajo costo los materiales del dragado de mantenimiento del canal en Pasacaballos por unos 2 a 3 años, dependiendo de la altura de los terraplenes y considerando un volumen anual de dragado de 450.000 metros cúbicos.

La recomendación de no permitir usos portuarios, industrial o comerciales está sustentada en lo dispuesto en el Plan de Expansión Portuaria 2002 – 2003 Zonificación Portuaria para el Siglo XXI (Documento CONPES 3149), mediante el cual se adoptó la zonificación del uso portuario de la costa colombiana de acuerdo con los lineamientos que fueron propuestos en el POFP (Plan de Ordenamiento Físico Portuario de los Litorales Colombianos) y cuyos resultados específicos para la bahía de Cartagena y para el delta de la cuenca hidrográfica del canal del Dique señalan que el sector de costa del distrito de Cartagena comprendido entre la margen occidental del canal del Dique y Punta San Bernardo ha sido calificado como ZONA CON RESTRICCIONES AMBIENTALES SIGNIFICATIVAS PARA ACTIVIDADES PORTUARIAS, limitándolas únicamente para la operación de embarcaciones de recreo y actividades ecoturísticas.

Por otra parte, el Documento CONPES 3342. Plan de Expansión Portuaria 2005 – 2006. Estrategias para la Competitividad del Sector Portuario reitera la necesidad de cumplir con los principios, estrategia y metas dirigidas al manejo integrado de las zonas costeras colombianas y su ordenamiento ambiental sustentable, y al uso más eficiente y eficaz de los bienes públicos portuarios establecidos en el POFP, y destaca del documento que las alternativas de desarrollo portuario deben ser analizadas con una visión integral técnico económica, soportada en una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del Sector Portuario, con el fin de que el Gobierno Nacional estimule esas inversiones privadas en algunas zonas portuarias del país, entre las cuales no está la de la bahía de Cartagena pero, no obstante, cita dentro de las inversiones prioritarias para la zona los proyectos de dragado del canal de acceso y complemento de los diseños y obras del canal del Dique, por un valor total de US\$ 33,84 millones.

Hasta la fecha, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial no ha adelantado la Evaluación Ambiental Estratégica del Sector Portuario en ninguna zona portuaria del país, con lo cual se restringen las posibilidades de apoyo del Gobierno Nacional para estimular las inversiones privadas en desarrollos portuarios nuevos. Por lo menos es claro que la actividad portuaria menor o de gran calado no está permitida en el sector de la bahía de Cartagena al occidente de la desembocadura del canal del Dique y, en consecuencia, CORMAGDALENA no podrá otorgar concesiones a desarrollos portuarios que involucren esos sectores; deberá orientar sus esfuerzos para impulsar la actividad portuaria de recreación y ecoturística, como lo ameritan las condiciones de la zona.

Conformación de la trampa de sedimentos al sur de la bahía de Cartagena

Esta opción recomienda que la disposición de los materiales de dragado de mantenimiento del acceso al canal del Dique se realice en los sectores profundos de la bahía ubicados en su costado sur. Esta sería una manera de evitar, o por lo menos

retrasar, que el cono de sedimentos que se ha formado en la desembocadura del canal del dique en la bahía de Cartagena alcance el canal de acceso a la zona portuaria de la ciudad de Cartagena.



Figura 6. Manejo de sedimentos en Pasacaballos. Fuente: CI, 2007, sobre imagen de Google.Earth

Hasta la fecha, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial no ha adelantado la Evaluación Ambiental Estratégica del Sector Portuario en ninguna zona portuaria del país, con lo cual se restringen las posibilidades de apoyo del Gobierno Nacional para estimular las inversiones privadas en desarrollos portuarios nuevos. Por lo menos es claro que la actividad portuaria menor o de gran calado no está permitida en el sector de la bahía de Cartagena al occidente de la desembocadura del canal del Dique y, en consecuencia, CORMAGDALENA no podrá otorgar concesiones a desarrollos portuarios que involucren esos sectores; deberá orientar sus esfuerzos para impulsar la actividad portuaria de recreación y ecoturística, como lo ameritan las condiciones de la zona.

- **Conformación de la trampa de sedimentos al sur de la bahía de Cartagena**

Esta opción recomienda que la disposición de los materiales de dragado de mantenimiento del acceso al canal del Dique se realice en los sectores profundos de la bahía ubicados en su costado sur. Esta sería una manera de evitar, o por lo menos retrasar, que el cono de sedimentos que se ha formado en la desembocadura del canal del dique en la bahía de Cartagena alcance el canal de acceso a la zona portuaria de la ciudad de Cartagena.

Por otra parte, habida cuenta del impedimento legal que existe para construir terminales portuarios de gran calado al occidente del canal del Dique, no habría ningún problema para ir rellenando poco a poco esas profundidades con materiales de dragado y, eventualmente, cuando se consigan láminas de agua apropiadas, se podrán aprovechar esos fondos para conformar zonas amplias para reforestar con especies de mangle. La capacidad de esa trampa, con profundidades de más de 20 metros, es

inmensa y resolvería el problema del manejo de los materiales de dragado dentro de la bahía, eliminando los sobre costos de la opción de ir a verterlos mar afuera.

De todas formas, se deben elaborar los estudios ambientales correspondientes sobre la calidad actual de los fondos y su biota, así como de la calidad de los materiales dragados, con el objeto de analizar los impactos ambientales y establecer medidas de manejo apropiadas.

1.2. Control ambiental en sedimentos de agua dulce (río Magdalena).

1.2.1. Problemática Específica

Durante los últimos años después de la última rectificación del canal del Dique del año 1981, el tema de los dragados permanentes a la entrada del brazo del Canal a la altura de Calamar ha sido materia de muchas controversias y ante todo un constante malestar para la población de este Municipio que ha tenido que convivir con problemas de acumulación progresiva de materiales articulados que se han dispuesto en patios de confinamiento en las proximidades de la cabecera municipal y residir con los problemas derivados de la masiva movilidad de partículas en el aire que generan serios trastornos a sus habitantes y a la salud de los mismos, por falta de una solución real y concreta con el confinamiento.

Los limos y sedimentos portados por el río Magdalena son una amenaza y un gran problema que puede arrastrar un enorme gasto en una dirección si no errada, por lo menos, no costo-efectiva ni sostenible. Es posible enfocar este problema de una manera alternativa para convertirlo en una oportunidad de inversión para el desarrollo económico de suelos, de manglares, de arrecifes de coral, de la navegación y de proyectos relacionados con la mitigación del cambio climático global.

En síntesis, los materiales ya depositados y portados por el río:

- Amenazan los corales de toda la cuenca del Gran Caribe⁷, razón por la cual Colombia está ante una posible demanda ambiental de grandes proporciones
- Dificultan y obstaculizan la navegación en el propio río Magdalena, el Canal del Dique y las Bahías de Cartagena y Barbacoas.
- Dificultan la disponibilidad de agua dulce para los núcleos humanos asentados en sus áreas de influencia.

1.2.2. Propuesta de Solución

La solución tiene que ver con el aprovechamiento comercial y ecosistémico de los sedimentos y los residuos sólidos domésticos de la cuenca del canal del dique. Esta es una alternativa apropiada, definitiva y auto sostenible, para reducir al mínimo el ingreso de sedimentos a las Bahías de Cartagena y Barbacoas, esto es, para mejorar la navegabilidad en el Canal del Dique y para reducir los impactos de los sedimentos en los arrecifes de coral.

En síntesis se trata de crear condiciones de mercado vía oferta y demanda para abonos y precursores de suelos en la Cuenca. Los suelos de la Cuenca del Gran Caribe se han venido erosionando y deteriorando paulatinamente debido a multitud de causas antrópicas y naturales, aparte del hecho que la población demanda cada vez mas alimentos y productos de origen agropecuario. En particular, la producción de maderas y biocombustibles tiene desde ya un papel geoestratégico preponderante en la planificación de la producción agropecuaria de la Región. Es por ello que el Gran Caribe es el mercado natural para los sedimentos portados por el río Magdalena y el Canal del Dique, siempre que los mismos sean recuperados y convertidos a abonos o precursores de suelos a costos que permitan su transporte y utilización a gran escala.

⁷ Ver por ejemplo: <http://www.cep.unep.org/programmes/spaw/spaw.html>;
<http://web.minambiente.gov.co/html/neginternal/AcuerdosRegionales/Spaw/Index.htm>

Los buenos abonos y precursores edáficos tienen texturas sueltas, de finas a medias, minerales y abundante materia orgánica. Los limos y sedimentos del río proporcionan las dos primeras propiedades, mientras que la tercera puede provenir de la reutilización de materia orgánica contenida en desechos domésticos urbanos.

- **Obtención comercial de materia orgánica a partir de residuos sólidos domésticos**

En este caso se trata primordialmente de incentivar, en los hogares de los asentamientos localizados a lo largo del Canal del Dique y, eventualmente, en el Bajo Magdalena, la separación apropiada de los residuos sólidos domésticos mediante la reducción o eliminación de la tarifa de aseo. Los residuos domésticos clasificados como vidrio, plásticos, metales y materia orgánica pueden ser manipulados con baja tecnología, a bajo costo por pequeñas y medianas empresas, de economía solidaria o del tipo MIPYMES, para ofertarlos a la industria como materias primas.

El destino de la materia orgánica sería una planta limpia para la fabricación de abonos y precursores de suelos a establecerse en Calamar. La posición de Calamar es estratégica para la replicabilidad del modelo a otros poblados y a Barranquilla, que de paso, es un buen mercado para otras materias primas recuperadas. Los demás productos (vidrio, plásticos y metales) y los certificados de reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, ayudan al flujo de caja para poder separar, cargar, descargar y transportar la materia orgánica a bajo costo hasta Calamar (río Magdalena aguas abajo o desde Cartagena por el Canal del Dique en barcazas de carbón).

La materia orgánica puede ser procesada en la planta con tecnologías limpias como, por ejemplo, compostaje, biodigestión y lombricultura, antes de ser mezclada con los limos y adicionada según corresponda para, posteriormente ser secada y empacada.

Con las actividades previstas se trata de iniciar un modelo económico y tecnológico modular fácilmente replicable en cualquier hogar, barrio y poblado, articulado por vía de mercado a un centro de transformación, mercadeo y comercialización de abonos y precursores de suelos.

El proyecto contempla, entre otras, las siguientes actividades para la obtención de materia orgánica:

- Negociaciones para la separación, recolección y transporte de residuos sólidos domésticos hasta Calamar.
- Establecimiento de MIPYMES para el acopio, manejo y embarque de residuos sólidos.
- Establecimiento/contratación PYME para el transporte fluvial/férreo de residuos sólidos no orgánicos.
- Montaje de una planta productora y comercializadora de abonos y precursores de suelos en Calamar.
- Mercadeo y comercialización de abonos y precursores de suelos en la Cuenca del Gran Caribe.

Tabla 1 Producción de residuos sólidos domésticos y contenidos de materia orgánica.

MUNICIPIO	POBLACION TOTAL	POBLACION CABECERA	Q/RS T/DIA	COMPOSICIÓN PORCENTUAL			
				0,82	0,09	0,06	0,03
				ORGANICO	PLASTICO	VIDRIO	METALES
Cartagena	895.400	845.801	592,06	485,49	53,29	35,52	17,76
San Cristóbal	6.578	4.936	2,47	2,02	0,22	0,15	0,07
Soplaviento	8.303	8.141	4,07	3,34	0,37	0,24	0,12
Mahates	22.983	8.759	4,38	3,59	0,39	0,26	0,13
Arjona	60.600	47.605	23,80	19,52	2,14	1,43	0,71
San Estanislao	15.269	10.906	5,45	4,47	0,49	0,33	0,16
Calamar	20.771	11.405	5,70	4,68	0,51	0,34	0,17
Maria la Baja	45.262	17.888	8,94	7,33	0,80	0,54	0,27

Supuestos: Únicamente se tienen en cuenta pobladores de cabecera; Cartagena produce 0,7 kilos/día/habitante de residuos sólidos, los demás municipios 0,5 kilos/día/habitante; Se tiene la siguiente distribución de material: orgánico 82%, plástico 9%, vidrio 6%, metales 3%.

Las plantas modulares de manejo de residuos sólidos requieren poco espacio, pocas adecuaciones y básicamente constan de equipos de baja tecnología, mantenimiento y costo, tales como: Lavadora a presión, Molino de pisonos, picadora de disco, picadora de plástico, prensa de pacas, banda transportadora, báscula, dotación de oficina.

La planta de abonos y precursores de suelo comprende una extensión de 20 ha, infraestructura de servicios industrial, áreas para almacenamiento de sedimentos y productos terminados, compostaje, biodigestión y lombricultura. En este caso el equipamiento es mas complejo y costoso y consta de: barcasas, draga, volquetas, mezcladora, retroexcavadora, bulldózer, motoniveladora, montacargas, biodigestores, secadora, prensa hidráulica, empacadora, banda transportadora, báscula camionera, extrusora-peletizadora, extrusora de manguera plástica, equipos de oficina, taller.

- **Plan de Negocios para el uso de sedimentos de Agua Dulce**

Esta sección esboza muy brevemente y cuantifica de manera muy general, a manera de plan de negocios, la apertura de un circuito económico que contempla a los sedimentos y a los residuos orgánicos urbanos como materias primas para abonos y precursores para la formación acelerada de suelos; los que, a su vez, puedan potenciar la reforestación y la producción de biocombustibles. Las tres actividades son potencialmente generadoras de certificados de reducción de emisiones de dióxido de carbono para los mercados regulados del Protocolo de Kyoto o para los mercados paralelos. Los certificados de reducción de emisiones de CO₂ pueden completar la rentabilidad del proyecto y hacerlo viable. Son varios los impactos positivos adicionales de un proyecto de esta naturaleza, desde la protección de las costas y la recuperación de la vida marina y la pesca, hasta mejores condiciones de salud, educación y empleo.

La idea general de este componente es establecer un plan de negocios para el mercadeo y la comercialización de abonos y precursores del suelo a partir de la utilización de los sedimentos del Canal del Dique que no han entrado en contacto con aguas salobres o marinas (como sustrato mineral) y la utilización masiva de residuos sólidos orgánicos como compost para revolver con los sedimentos.

La tabla 2 y el anexo 1 resumen el plan de negocios para la recolección de residuos sólidos domésticos en las localidades de la tabla 1, la recuperación de sedimentos del complejo cenagoso a lo largo del Canal del Dique, la fabricación de abonos y precursores de suelos, y la venta de los mismos en la Cuenca.

Tabla 2. Resumen del plan de negocios para el mercadeo y la comercialización de abonos y precursores de suelos (1 US\$ = 2000 COL\$).

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL COL\$	TOTAL US\$
INGRESOS				68.912.640.000	34.456.320
Venta de bienes y servicios				68.912.640.000	34.456.320
Abono	519.552	Tonelada	120.000	62.346.240.000	31.173.120
Plástico	432	Tonelada	400.000	2.073.600.000	1.036.800
Vidrio	288	Tonelada	50.000	172.800.000	86.400
Metales	144	Tonelada	2.500.000	4.320.000.000	2.160.000
GASTOS				24.376.956.783	12.188.478
Infraestructura y Maquinaria			3.013.695.000	3.013.695.000	1.506.848
Gastos de Personal			1.589.197.723	1.589.197.723	794.599
Gastos Generales				19.774.064.060	9.887.032
Extracción material	23.153	m ³	4.200	1.166.911.200	583.456
Adquisición de material domestico				9.872.640.000	4.936.320
Orgánico	3.936	Tonelada	100.000	4.723.200.000	2.361.600
Plástico	432	Tonelada	300.000	1.555.200.000	777.600
Vidrio	288	Tonelada	40.000	138.240.000	69.120
Chatarra	144	Tonelada	2.000.000	3.456.000.000	1.728.000

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL COL\$	TOTAL US\$
Transporte Fluvial			5.287.348.800	5.287.348.800	2.643.674
Transporte Terrestre			1.057.469.760	1.057.469.760	528.735
Servicios públicos			144.000.000	144.000.000	72.000
Impuestos			60.000.000	60.000.000	30.000
Dotaciones			60.600.000	60.600.000	30.300
Vigilancia			216.000.000	216.000.000	108.000
Mantenimiento			266.169.500	266.169.500	133.085
Empaque			1.246.924.800	1.246.924.800	623.462
Servicios Generales			96.000.000	96.000.000	48.000
Imprevistos			300.000.000	300.000.000	150.000
UTILIDAD (sin CREs)				44.535.683.217	22.267.842
CREs energéticos permanentes (64.200 t)				1.920.000.000	960.000
UTILIDAD (con CREs)				46.455.683.217	23.227.842

Supuestos: Cada una de las plantas transforma 20 t/día; el componente orgánico se mezcla con sedimentos en proporción 1:10; el precio de venta del bulto de 50 kilos de abono es de US\$3/COL\$6.000 y del kilo a US\$0,06/COL\$120; Certificado de Reducción de Emisiones (CRE) energéticos @US\$15.

• Producción de biocombustibles en la Cuenca del Canal del Dique

Es posible producir biodiesel a partir de algas en los complejos cenagosos de la Cuenca del Canal del Dique⁸ o en buena parte de las tierras aledañas al Canal mismo, muchas de las cuales están subutilizadas y mal utilizadas (al menos ambiental y socialmente) con ganadería extensiva.

El biodiesel ya está en uso masivo; tanto es así que en la Unión Europea ya se ha normalizado el producto (figura 4).

La revista Dinero ha evaluado el negocio así⁹: “Las cifras del negocio del biodiesel son enormes en el mundo. En Estados Unidos solamente, el consumo de este tipo de biocombustibles pasó de 25 millones de galones en 2004 a 75 millones de galones en 2005, un aumento del 200%. Además, se espera que la demanda siga creciendo sostenidamente a una tasa de 156 millones anuales.

En Colombia, las cifras son igualmente importantes. La ley establece que el 1 de enero de 2008, el 5% del consumo de gasolina diesel debe ser sustituido por biodiesel. Con esas cuentas, se sustituirán cerca de 4.000 barriles diarios del combustible fósil, lo que se traduce en cerca de 250.000 toneladas de biodiesel, y que equivale a una tercera parte de la producción actual de aceite de palma. Por eso, los palmicultores se están moviendo para ubicarse en el mejor sitio posible en el partidor.

La Contraloría General de la Nación calcula que si el 5% del consumo interno de ACPM se sustituyera por biodiesel, la siembra de palma requerida superaría las 900.000 hectáreas, casi cuatro veces más que las 243.000 hectáreas sembradas hoy. No sobra recordar que de ellas, solo 180.000 están en producción y el resto lo estará en varios años. La palma da frutos doce años después de su siembra. El área cultivada quizás crezca por efecto de la buena expectativa de demanda y por las exenciones tributarias, pero en esto no hay nada garantizado.

A fin de cuentas, el biodiesel parece ser uno de los negocios más promisorios de los próximos 20 años y en este semestre se tomarán algunas de las decisiones más importantes para dibujar su futuro. Está en manos de los empresarios que sean las mejores para mantener su competitividad en el largo plazo.”

Los sedimentos del río Magdalena son el abono natural para la producción mediante algas y también los precursores para mejorar el rendimiento para la producción agrícola intensiva a partir de especies de turno corto como maíz, ajonjolí, girasol, colza (o canola, *Brassica napus*), etc., bajo sistemas agroforestales con palmas nativas (como, por ejemplo, el corozo -*Acrocomia aculeata*, o la palma de aceite nativa *Elaeis oleifera*) y de especies arbustivas como el higuera (*Ricinus comunis*) o el piñón blanco (*Jatropha curcas*). Es decir, si se cultivan algas u otras especies en tierra firme a lo largo del Canal (figuras 1 y 2), se

⁸ Ver, por ejemplo: http://www.oilgae.com/algae/oil/biod/large_scale/large_scale.html

⁹ http://www.dinero.com/vf_InfoArticulo.aspx?IdArt=25097

pueden esperar altos rendimientos a bajos costos. Se ha reportado para el corozo una producción de 12 a 30 toneladas de fruto/hectárea¹⁰

Cuentas sencillas para el productor rural¹¹: En los Estados Unidos, los productores artesanales de biodiesel que usan aceite vegetal residual hacen biodiesel por US\$0,5-1,0/galón. Allí, la gente paga unos US\$1.700/año por combustible (a septiembre de 2005) mientras que los primeros estaban pagando solo US\$300-360/año por su combustible. Estas sencillas cuentas deberían atraer a los propietarios de tierras en la Cuenca del Canal del Dique que operan ganadería extensiva hacia una reconversión tecnológica enfocada a mitigar el Cambio Climático Global y la restauración de los suelos. Cabe recordar acá que el ganado es una fuente significativa de emisiones de gases con efecto invernadero por causa de la expulsiones ruminales de metano.

Figura 4 Normalización del biodiesel en la Unión Europea

Cuadro 1	
Norma de la Unión Europea	
Criterios	Biodiesel (EN14214)
Densidad @ 15 °C (g/cm ³)	0.86-0.9
Viscosidad @ 40 °C (mm ² /s)	3.5-5.0
Punto flash(°C)	>101
Azufre (% masa)	<0.01
Ceniza de Azufre (% masa)	0.02
Agua (mg/kg)	<500
Residuo de Carbono (% peso)	<0.03
Contaminación Total (mg/kg)	<24
Corrosión del Cobre 3h/50 °C	Clase 1
Número de Cetano	>51
Metanol (% masa)	<0.2
Contenido de Éster (% masa)	>96.5
Monoglicéridos (% masa)	<0.8
Diglicéridos (% masa)	<0.2
Triglicéridos (% masa)	<0.4
Glicerol Libre(% masa)	<0.02
Glicerol Total (% masa)	<0.25
Número de Yodo	120
Fósforo (mg/kg)	<10
Metales Alcalinos Na. K (mg/kg)	<5

(Fte: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2006000100006&lng=pt&nrm=iso).

Tabla 3 Rendimientos típicos de la extracción de 100 kg de semillas oleaginosas y rendimientos por hectárea por año.

(* adaptado de: <http://www.energyfarms.net/node/79>; ** Datos de Pahl, G., 2005. ° Calculado * y los rendimientos/hectárea reportados en <http://www.agmrc.org/agmrc/commodity/grainsoilseeds/sesame/sesameprofile.htm>).

Rendimientos típicos de la extracción de 100 kg de semillas oleaginosas		
Especie	% Aceite*	Litros/ha/año**
Higuerilla	36	1.413
Coco	62	2.689
Algodón	13	¿?
Mostaza	35	572
Colza o canola	37	1.190
Ajonjolí	50	1.482°
Solla	14	446

¹⁰ http://www.engormix.com/articulo_rendimiento_cultivos_oleaginosos_ref_40_forumview9191.htm

¹¹ http://journeytoforever.org/biodiesel_make.html

Rendimientos típicos de la extracción de 100 kg de semillas oleaginosas		
Girasol	32	952
Maíz	8	172
Palma Africana		5.950
Jatropha		1.590
Algas		>4.693

El estudio de la tabla 3 permite deducir que el ajonjolí, la higuera, la Jatropha y las algas pueden ser las mejores opciones para trabajar tortas para alimentación animal y aceites con fines combustibles en la Cuenca del Canal del Dique.

El precio del biodiesel no es muy competitivo aun con el petrodiesel por cuestiones tecnológicas y de mercado (en el 2007, el precio de 1 galón de biocombustible –etanol-estuvo en US\$1,74/COL\$3.480¹²), pero, recurriendo al comercio de certificados de reducción de emisiones de CO₂, es posible estimular e iniciar la producción.

Unas cifras muy aproximadas e indicativas para este negocio son las siguientes (tabla 4). La combustión de un galón de petrodiesel produce aproximadamente 10 Kg de CO₂. Si una hectárea de ajonjolí produce 390 galones de biodiesel/año, está evitando la combustión de sendos galones de petrodiesel y la emisión de 3.900 kilogramos de CO₂. Así, está reduciendo la emisión fósil de 3,9 toneladas/año de CO₂. Si un certificado de reducciones de emisiones de CO₂ (CRE) se vende en el mercado por US\$15/tonelada de CO₂, hay un retorno de aproximadamente US\$58,5/(COL\$117.000) por hectárea y por año para mejorar el balance económico del productor, que estaría recibiendo en total (biodiesel+CRE) US\$737¹³/(COL\$1'476.000) por hectárea y por año. El gran reto del productor está en aumentar su productividad, para lo cual cuenta, aparte de genética, clima y manejo, con los abonos y precursores de suelos ofertados por el proyecto. Como puede verse en la tabla 4, con un incremento del

Tabla 4 Ingresos crecientes por incrementos de la productividad de ajonjolí/ha basados en abonamiento y buenas practicas de manejo.

Incrementos del 10% en producción (t/ha/año)	Toneladas de CO ₂ a reducir	Precio CRE	Ingreso por CRE US\$	Ingreso por CRE COL\$	Ingreso total/ha/año (biocombustible y CRE) US\$	Ingreso total/ha/año (biocombustible y CRE) COL\$
390	3,9	15	\$ 58,50	\$ 117.000	\$ 737,10	\$ 1.474.200,00
429	4,3	15	\$ 64,35	\$ 128.700	\$ 810,81	\$ 1.621.620,00
472	4,7	15	\$ 70,79	\$ 141.570	\$ 891,89	\$ 1.783.782,00
519	5,2	15	\$ 77,86	\$ 155.727	\$ 981,08	\$ 1.962.160,20
571	5,7	15	\$ 85,65	\$ 171.300	\$ 1.079,19	\$ 2.158.376,22

Se estima que una hectárea requiere del orden de una tonelada de abono cada cinco años. Como 1 kilo costaría US\$0,06/COL\$120, abonar una hectárea estará en el orden de US\$60/COL\$120.000, costos que quedan pagos con los ingresos por certificados de reducción de emisiones para el primer año y que promueven el incremento de la productividad y los ingresos subsiguientes de la manera que se muestra en la tabla 4.

- **Comercialización de certificados de reducción de emisiones de CO₂**

Este proyecto puede inducir reducciones de emisiones de CO₂ a través de las siguientes actividades:

- ✓ Manejo de residuos orgánicos: desplazando el uso de combustibles fósiles mediante el uso de gas natural generado en biodigestores
- ✓ Producción de suelos (aumento del contenido de carbono en los suelos): evitando emisiones de CO₂ por descomposición de residuos orgánicos

¹² http://www.agrocadenas.gov.co/biocombustibles/biocom_articulos.htm

¹³ US\$ 390*1,74+59.

- ✓ Reforestación con manglares y otras especies maderables de tierra firme: fijando CO₂ en la biomasa de árboles de mangle y otras especies leñosas y maderables
- ✓ Sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en el transporte fluvial y terrestre asociado al proyecto en la Cuenca del Canal del Dique
- ✓ Conversión de ganadería extensiva a sistemas silvopastoriles y agroforestales (reducción/compensación de emisiones de metano ruminal)

Como en el caso anterior, la transacción de certificados de reducciones de emisiones de CO₂ provenientes de estas actividades no responde por la rentabilidad total de o las actividades, pero ayuda a mejorar el flujo de caja y a acercarse a una tasa interna de retorno aceptable que compense el riesgo de la inversión.

Como se revisó mas arriba, por cada galón de petrodiesel que se deje de quemar debido al uso de biogás, se estará reduciendo una emisión de CO₂ fósil de 10 Kg, recibiendo US\$0,15 y dejando de gastar otros US\$1,74, lo cual arroja un ingreso real de US\$1,89/galón no quemado. El proyecto contempla procesar mediante biodigestión un poco mas de la tercera parte de la materia orgánica recogida, es decir unas 200.000 toneladas. Como una tonelada de materia orgánica produce del orden de 100 m³ de biogás, se estarían produciendo 20 millones de m³ de biogás. 1 m³ de biogás equivale a 0,321 galones de petróleo con lo que se tendrían unos 6'420.000 galones de petrodiesel no quemados, es decir, se evitaría la emisión de unas 64 mil toneladas de CO₂, que a US\$15 equivalen a la suma de US\$960.000/COL\$1.920'000.000.

En el caso de la reforestación, una buena cifra de trabajo es la fijación de 12 toneladas de CO₂/ha/año. Como los certificados provenientes de las actividades de reforestación (con manglares o en tierra firme) son "menos permanentes", sus precios tienden a ser mas bajos. Puede especularse con US\$5/certificado. Si este fuera el caso, se está hablando de unos US\$60/ha/año (COL\$120.000/ha/año), cifra coincidencialmente parecida a la del biodiesel y que prudentemente no se añadirá al balance del plan de negocios. Debe anotarse si que los proyectos de reforestación son mas sensibles a los CRE pues sus flujos de caja son mas duros y de largo plazo. En otras palabras, los proyectos de reforestación requieren mas de los CRE.

Como no es posible en este estado de desarrollo saber con algún grado de certeza cuántas hectáreas se reforestarían, cuántas toneladas de biodiesel se producirían o cuántos galones de petrodiesel se cambiarían por biodiesel de manera directamente imputable al proyecto, lo mas prudente es dejar todas estas ganancias potenciales y adicionales por fuera del balance del plan de negocios de la tabla 2. De esta manera, el proyecto es sometido a un cuestionamiento mas fuerte en términos económicos para poder afinarlo mas.

1.2.3. Ejercicio Piloto para la Aplicación del Modelo

Para la aplicación de un modelo piloto se requerirá establecer un pequeño esquema de valoración y experimentación en la población de Calamar, posiblemente usando el mismo sitio de disposición de sedimentos que ha sido empleado por **CORMAGDALENA**. Los costos de este aplicativo dependerán ante todo de los arreglos locales que pueda hacerse con la autoridad municipal y eventualmente con **CARDIQUE** y definir si estarían dispuestos a incorporarse al ejercicio. Es importante anotar que el piloto debería ser de un año de experimentación para la recolección de desechos sólidos orgánicos domiciliarios, establecimiento de una pequeña planta de carácter causi-domestico, Estructuración de un programa de educación ambiental y montaje de una mínima organización local comunitaria de apoyo al proyecto, formación de compost, la utilización de sedimentos, las experimentaciones con diferentes mezclas para llegar a un producto optimo y el proceso de análisis sanitario para acceder a la certificación. Eventualmente, y dependiendo de las condiciones del producto final, incursionar en una apertura de mercado internacional en el Caribe, por lo menos de tipo exploratorio y definir las bases de requerimientos regionales de la cuenca del Canal del Dique y del departamento del Atlántico con un estudio de mercados verdes entre diferentes clientes potenciales.

Una aproximación al montaje del piloto, dependerá del interés de **CORMAGDALENA** y en caso dado se prepararan los términos de un esquema puntual. El esquema contendría la revisión de los siguientes aspectos:

Referencias

AGUILERA DIAZ, M.M. El Canal del Dique y su Subregión: Una economía basada en la riqueza hidráulica. Documentos de Trabajo sobre Economía regional N° 72. Mayo 2006. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER), Biblioteca Luis Angel Arango, Cartagena.

GUSTAVO A. BELL LEMUS. El Canal del Dique 1810-1840: El viacrucis de Cartagena. Boletín Cultural y Bibliográfico, Número 21, Volumen XXVI, 1989. Biblioteca Luis Angel Arango, Bogotá. (<http://www.lablaa.org/blaavirtual/publicacionesbanrep/boletin/boleti5/bol21/canal.htm#dirigir>)

PAHL, GREG. 2005. Biodiesel: growing a new energy economy. Chelsea Green Publishing Co. VT, USA. 281p.

http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/articulos/universidad/universidad_20070601_dique.html Junio 10/2007: "Colombianos pagarían tragedia ambiental de más de US\$ 100 millones "Obras proyectadas para el Canal del Dique serán un fiasco", advierte estudio de la Universidad Nacional de Colombia"

http://www.larepublica.com.co/noticia.php?id_notiweb=82684&id_subseccion=1&template=noticia&fecha=2007-06-01 Junio 1/2007: "Alistan construcción de las esclusas del Canal del Dique"