



Fonds d'Etudes et d'Aide au Secteur Privé – FASEP-Etudes – RESTAURACIÓN DEL CANAL DEL DIQUE



Informe de consolidación

 © <small>Compañía Nacional de Ríos</small> 2 rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04	<p> 33 4.72.00.69.69</p> <p>E.Mail diee@cnr.tm.fr</p> <p>CL 04 DI.EE 06-769</p>	<p>Fax 33 4.72.10.66.62</p> <p>Web http://www.cnr.tm.fr</p> <p>Noviembre de 2006</p>
---	---	---

Aseguramiento de calidad

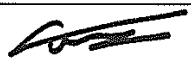


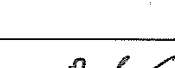

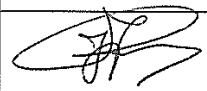
CLIENTE :	Ministère des Finances France D.G.T.P.E. DEVINTER2 – Aide-Projet
Dirección :	139 rue de Bercy – 75012 PARIS
CONTRATO :	« Fonds d'Etudes et d'Aide au Secteur Privé" FASEP n°703
Fecha :	15 de octubre de 2006
Título:	FASEP – Restauración del Canal del Dique Informe de consolidación

Asesor : CNR Compagnie Nationale du Rhône
Dirección de la Ingeniería
2 rue André Bonin, 69 316 Lyon cedex 04 France

Informe: FASEP – Restauración del Canal del Dique
Informe de consolidación
Nº: DI-EE 06-769, Noviembre de 2006, código asunto: CL04

☒ Inicial
 ☐ intermedio
 ☐ Final

Control de la calidad

	Apellido	Fecha	Firma
Hecho por:	Francis FRUCHART Parte Hidráulica Jacques GOUVERNEUR Parte Obras Civiles Guy COLLILIEUX Parte Medio Ambiente Pierre BOULESTREAU	Noviembre de 2006	   
Verificado por :	Pierre BOULESTREAU	Noviembre de 2006	
Aprobado por :	Jean Pierre PERSON	Noviembre de 2006	

Número de revisión

N°	Date	Modificaciones
Inicial	2006 Noviembre	Informe inicial

Documentos adjuntos

Numero	Objeto

SUMARIO

1	RESUMEN EJECUTIVO	8
2	PERÍMETRO DEL ESTUDIO.....	15
2.1	CONTEXTO	15
2.2	ESTUDIOS ANTERIORES PRINCIPALES.....	17
3	OBJETIVOS Y PRINCIPIO DE LA PROPUESTA	18
3.1	OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
3.2	SOLUCION PROPUESTA.....	19
3.2.1	<i>Control del caudal líquido y sólido</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Mejoramiento de las conexiones canal – ciénagas</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>Supresión de entrada de sedimentos en la Bahía de Cartagena</i>	<i>19</i>
3.2.4	<i>Obras propuestas.....</i>	<i>20</i>
3.2.5	<i>Efecto de la profundización del Canal</i>	<i>25</i>
3.3	UN EJEMPLO DE GESTION	27
3.3.1	<i>Funcionamiento actual del sistema</i>	<i>27</i>
3.3.2	<i>Una gestión posible</i>	<i>28</i>
4	ESTRATEGIA AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	30
4.1	GESTION AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	30
4.2	HACIA UN PLAN DE MANEJO DE AGUA	32
4.2.1	<i>Organismo de gestión: “Agencia del Canal del Dique”</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Misiones.....</i>	<i>32</i>
4.2.3	<i>Plan de manejo de agua</i>	<i>33</i>
4.2.4	<i>Gestión de las obras de regulación de caudal y de la esclusa</i>	<i>33</i>
5	MEDIO AMBIENTE: ESTIMACION DE INCIDENCIAS	34
5.1	METODOLOGIA.....	34
5.1.1	<i>Principio</i>	<i>34</i>
5.1.2	<i>Limites de la metodología.....</i>	<i>34</i>
5.1.3	<i>Incidencias del proyecto.....</i>	<i>36</i>
5.2	FACTORES AMBIENTALES FUNDAMENTALES	38
5.2.1	<i>Disponibilidad del agua para el consumo domestico.....</i>	<i>38</i>
5.2.2	<i>Disponibilidad del agua para el riego.....</i>	<i>39</i>
5.2.3	<i>Calidad ecológica de las ciénagas</i>	<i>40</i>
5.2.4	<i>Cuña salina.....</i>	<i>43</i>
5.2.5	<i>Migraciones de los peces.....</i>	<i>44</i>
5.2.6	<i>Equilibrio fluviomorfológico</i>	<i>46</i>
5.2.7	<i>Sedimentación.....</i>	<i>47</i>
5.2.8	<i>Actividades socio-económicas y gestión de los usos</i>	<i>48</i>
5.2.9	<i>Otras zonas de interés ecológico.....</i>	<i>50</i>
5.2.10	<i>Resumen de las características de los factores ambientales</i>	<i>52</i>
5.3	ESTIMACION AMBIENTAL DE LA SITUACION ACTUAL	53
5.4	IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO.....	56
5.4.1	<i>Obra de regulación de caudal en Calamar.....</i>	<i>56</i>
5.4.2	<i>Regulación de caudal en Calamar + Exclusa en Paricuica.....</i>	<i>62</i>

6	REDUCCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN	67
6.1	DATOS DE TRANSPORTE SOLIDO.....	67
6.2	DRAGADOS.....	68
6.2.1	<i>Dragados actuales.....</i>	68
6.2.2	<i>Dragados de mantenimiento del proyecto.....</i>	69
6.3	REDUCCION DEL CAUDAL LIQUIDO ENTRANDO AL CANAL	70
6.3.1	<i>Regulación del caudal: principios de gestión</i>	70
6.3.2	<i>Reducción de los picos de concentración.....</i>	70
6.3.3	<i>Gestión de los picos de polución</i>	73
6.3.4	<i>Evaluación de la eficiencia.....</i>	74
6.4	ESCLUSA EN PARICUICA (OPCIONAL)	75
6.4.1	<i>Principio de la obra complementaria.....</i>	75
6.4.2	<i>Balance sedimentológico.....</i>	75
7	MEJORAMIENTO DE LA NAVEGACIÓN.....	77
7.1	DIMENSIONES DE LOS BARCOS Y CONVOYES	77
7.2	PROBLEMAS DE NAVEGACION.....	78
7.2.1	<i>Estado actual.....</i>	78
7.2.2	<i>Efecto del proyecto</i>	81
7.2.3	<i>Tráfico</i>	82
8	CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS PROPUESTAS.....	84
8.1.1	<i>Ubicación de las obras.....</i>	84
8.1.2	<i>Obras en la entrada del canal - Alternativas</i>	84
8.1.3	<i>Protección de riberas</i>	89
8.1.4	<i>Nivelación de las riberas del canal</i>	90
8.1.5	<i>Conexiones canal -Ciénagas</i>	90
8.1.6	<i>Esclusa en Paricuica</i>	91
8.2	FASE DE CONSTRUCCION.....	92
8.2.1	<i>Obras canal arriba.....</i>	92
8.2.2	<i>Fase de construcción esclusa de Paricuica.....</i>	94
8.2.3	<i>Definición del tipo de fundación de las obras</i>	94
8.3	EXCAVACIONES NECESARIAS.....	95
8.3.1	<i>Canal de abastecimiento de caudal.....</i>	95
8.3.2	<i>Otras excavaciones.....</i>	95
8.3.3	<i>Total excavaciones</i>	96
8.4	CARACTERISTICAS DE LAS OBRAS PROPUESTAS	97
8.4.1	<i>Esclusa de navegación en Calamar.....</i>	97
8.4.2	<i>Obra de control de caudales</i>	99
8.4.3	<i>Franqueamiento para los peces</i>	102
8.4.4	<i>Planta hidroeléctrica.....</i>	103
8.4.5	<i>Esclusa Paricuica Canal abajo</i>	104
8.4.6	<i>Equipos eléctricos y de control comando.....</i>	105
9	PARTE ECONÓMICA	107
9.1	COSTOS DEL PROYECTO	107
	<i>Costos de inversión</i>	107
9.2	BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	109
10	CRONOGRAMA.....	110
11	BIBLIOGRAFÍA.....	112

12	ANEXOS	113
	ANEXO 1:	113
	ANÁLISIS DETALLADO DE UN EJEMPLO DE GESTIÓN DE LAS COMPUERTAS.....	113
	A. <i>Un ejemplo de gestión</i>	113
	B. <i>Evaluación de la eficiencia sedimentológica</i>	114
	C. <i>Impactos ambientales (simulación modelo matemático)</i>	116
	ANEXO 2:	121
	ÍNDICE DEL ESTADO LIMNOLOGICO	121

TABLAS

Tabla 1 :	Eficiencia del proyecto en términos de reducción de sedimentos	11
Tabla 2:	Caudales del canal del Dique con y sin profundización	12
Tabla 3 :	Caudales del canal del Dique con y sin profundización	26
Tabla 4 :	información de los diferentes componentes ambientales.....	35
Tabla 5 :	Consumos de agua potable por acueductos municipales	38
Tabla 6 :	Caudales de los distritos de riego	39
Tabla 7 :	Estado limnológico de las ciénagas	41
Tabla 8 :	Actividades económicas alrededor del canal del Dique	48
Tabla 9 :	Resumen de los factores ambientales y criterios de no afectación	52
Tabla 10 :	Estado ambiental de la ecoregión en la situación actual	54
Tabla 11 :	Incidencias de la obra de regulación sobre los usos y la economía	56
Tabla 12 :	Impactos ambientales de la situación de proyecto: obras de regulación en Calamar	60
Tabla 13 :	Balance sedimentológico promedio del proyecto	62
Tabla 14 :	Impactos ambientales de la situación de proyecto con obras en Calamar y en Paricuica	65
Tabla 15 :	Datos de transporte sólido	67
Tabla 16 :	Dragados actuales.....	68
Tabla 17 :	Dragados de mantenimiento del proyecto.....	69
Tabla 18 :	Eficiencia sedimentológica del proyecto1	74
Tabla 19 :	Dragados del proyecto (con esclusa Paricuica)	75
Tabla 20:	Eficiencia sedimentológica del proyecto2	76
Tabla 21 :	Calado disponible en función del nivel de agua	79
Tabla 22 :	Curvas de remanso con profundización del canal del Dique.....	81
Tabla 23 :	Transporte fluvial por el canal del Dique	82
Tabla 24 :	Modos de transporte y volúmenes correspondientes	83
Tabla 25 :	Productos transportados por vía fluvial	83
Tabla 26 :	Volúmenes necesarios para la protección de la orilla izquierda	89
Tabla 27 :	Volúmenes necesarios para la protección del canal navegable	89
Tabla 28 :	Características del canal de abastecimiento de caudal.....	95
Tabla 29 :	Volúmenes de excavación	96
Tabla 30 :	Costos de inversión del proyecto	107
Tabla 31 :	Costos de mantenimiento del proyecto	108

FIGURAS

Figura 1 : Mapa de ubicación de las obras	9
Figura 2 : Ejemplo de gestión de las compuertas	10
Figura 3 : Mapa de ubicación general del proyecto	20
Figura 4 : Esquema de principio de las compuertas en Calamar	21
Figura 5 : Esquema de principio de la esclusa en Calamar	22
Figura 6 : Esquema de principio de la esclusa en Paricuica	23
Figura 7 : Repartición de los caudales sólidos en el delta del canal del Dique	24
Figura 8 : Curvas de remanso del Canal del Dique sin profundización	25
Figura 9 : Curvas de remanso del Canal del Dique con profundización	25
Figura 10 : Curvas de gasto en la entrada del canal del Dique.....	26
Figura 11 : Hidrógrama del canal del Dique en Incora (K7) 1988-1991	27
Figura 12 : Ejemplo de gestión de las compuertas	28
Figura 13 : Esquema de la estrategia ambiental del proyecto.....	30
Figura 14 : Detalle de la estrategia ambiental del proyecto	31
Figura 15 : Capacidad de regulación de las compuertas en Calamar.....	36
Figura 16 : Ilustración de los escenarios posibles de regulación	37
Figura 17 : Migraciones de los peces	45
Figura 18 : Mapa de síntesis de la situación ambiental actual	55
Figura 19 : Mapa de síntesis de los impactos ambientales de la situación de proyecto.....	61
Figura 20 : Mapa de síntesis de los impactos ambientales de la situación de proyecto con esclusa en Paricuica	66
Figura 21 : Mapa de síntesis de los dragados actuales	68
Figura 22 : Curvas de calibración de sedimentos en suspensión	70
Figura 23 : Curvas de calibración de carga de sedimentos en Gambote	71
Figura 24 : Gestión de los picos de concentración de sedimentos finos	71
Figura 25 : Concentración en elementos finos en Gambote	72
Figura 26 : ejemplo de gestión de picos de polución	73
Figura 27 : Esquema de un convoye de 6 planchones	77
Figura 28 : Calado de los convoyes.....	78
Figura 29 : Río Magdalena en Calamar: frecuencia de niveles excedidos (1967-1997).....	78
Figura 30 : Calado a lo largo del Canal	79
Figura 31 : Calado necesario para navegar.....	80
Figura 32 : Perfil transversal del canal en Calamar	80
Figura 33 : Perfil transversal del canal en Calamar, con profundización.....	82
Figura 34 : Obras agrupadas en Calamar.....	85
Figura 35 : Esclusa Río arriba, compuertas Río abajo.....	86
Figura 36 : Esquema con profundización del canal navegable	88
Figura 37 : Esclusa Río abajo, Compuertas Río arriba	88
Figura 38 : Esquema de una conexión canal/ciénaga	90
Figura 39 : Tipo de conexión canal/ciénaga	90

Figura 40 : Obras en Paricuica	91
Figura 41 : Construcción de las obras, fase 1.....	92
Figura 42 : Construcción de las obras, fase 2.....	93
Figura 43 : Construcción de las obras, fase 3.....	93
Figura 44 : Construcción de las obras, fase 4.....	94
Figura 45 : Esclusa en Calamar	97
Figura 46 : Sección hidráulica de las compuertas.....	99
Figura 47 : Tipo de compuertas.....	100
Figura 48 : Compuertas Vistas de frente, desde el río Magdalena	100
Figura 49 : Compuertas vistas de encima.....	101
Figura 50 : Mantenimiento de las compuertas	101
Figura 51 : Otros tipos de compuertas.....	102
Figura 52 : Esclusa en Paricuica	104
Figura 53 : Nivel del mar Caribe (fuente SHOM www.shom.fr)	105
Figura 54 : Cronograma	111

1 RESUMEN EJECUTIVO

El estado actual de la ecoregión del canal del Dique no puede ser considerado como sostenible:

- Sedimentación de la Bahía de Cartagena, que a medio plazo podrá afectar el Canal marítimo navegable,
- Problemas de medio ambiente, de abastecimiento de las ciénagas en agua del canal,
- Falta de calado en algunos tramos del Canal, lo que afecta el pleno desarrollo de la navegación,
- Inundaciones extremas periódicas que afectan el desarrollo general de la región,

Los objetivos del proyecto de restauración del canal del Dique son los siguientes:

- Respetar el Medio Ambiente: garantizar el funcionamiento de las ciénagas, disminuir la sedimentación, asegurar la calidad de agua (Ej.: controlar una polución accidental en el Río Magdalena), controlar la cuña salina, disminuir los dragados (efecto sobre los peces), asegurar el tránsito de los peces.
- Controlar los sedimentos (Canal, ciénagas, Bahías) : *los sedimentos son un elemento indisociable del caudal líquido: no se pueden eliminar los sedimentos sin controlar el caudal entrando en el Canal*
- Mejorar la navegación : *en una perspectiva de desarrollo de la navegación, el Canal del Dique no debe ser el cuello de botella del Magdalena, cuando se realiza 90% del tráfico fluvial del Río por ese Canal*
- Minimizar el mantenimiento del Canal (dragados)

El control de los caudales con obras de regulación es un instrumento activo, que necesita una gestión ambiciosa por un organismo de manejo eficiente.

El proyecto debe tener una visión global: medio ambiente, sedimentación, navegación, pesca, agricultura, ganadería, infraestructuras, vida de las poblaciones,...

Es decir - **llegar a un desarrollo sostenible** -

Problemática

El problema actual del Canal del Dique viene de la rectificación y ampliación del Canal entre 1981 y 1984. Después de esas obras, el caudal promedio pasó de 320 a 520 m³/s, lo que ha conducido a una entrada masiva de sedimentos.

La gran entrada de materiales sólidos produce una sedimentación de los materiales gruesos en el primer tramo del Canal, y de los materiales finos en la Bahía de Cartagena por floculación.

Propuesta de la Compagnie Nationale du Rhône:

1. Obras de regulación de caudal (compuertas + esclusa) en Calamar

El principio del acondicionamiento propuesto es la reducción de los aportes sólidos al Canal, gracias a la reducción de los aportes líquidos. Para este control de caudal líquido, se necesitan **compuertas en la entrada del Canal**. Como las compuertas producen una caída de nivel de agua, una esclusa es necesaria.

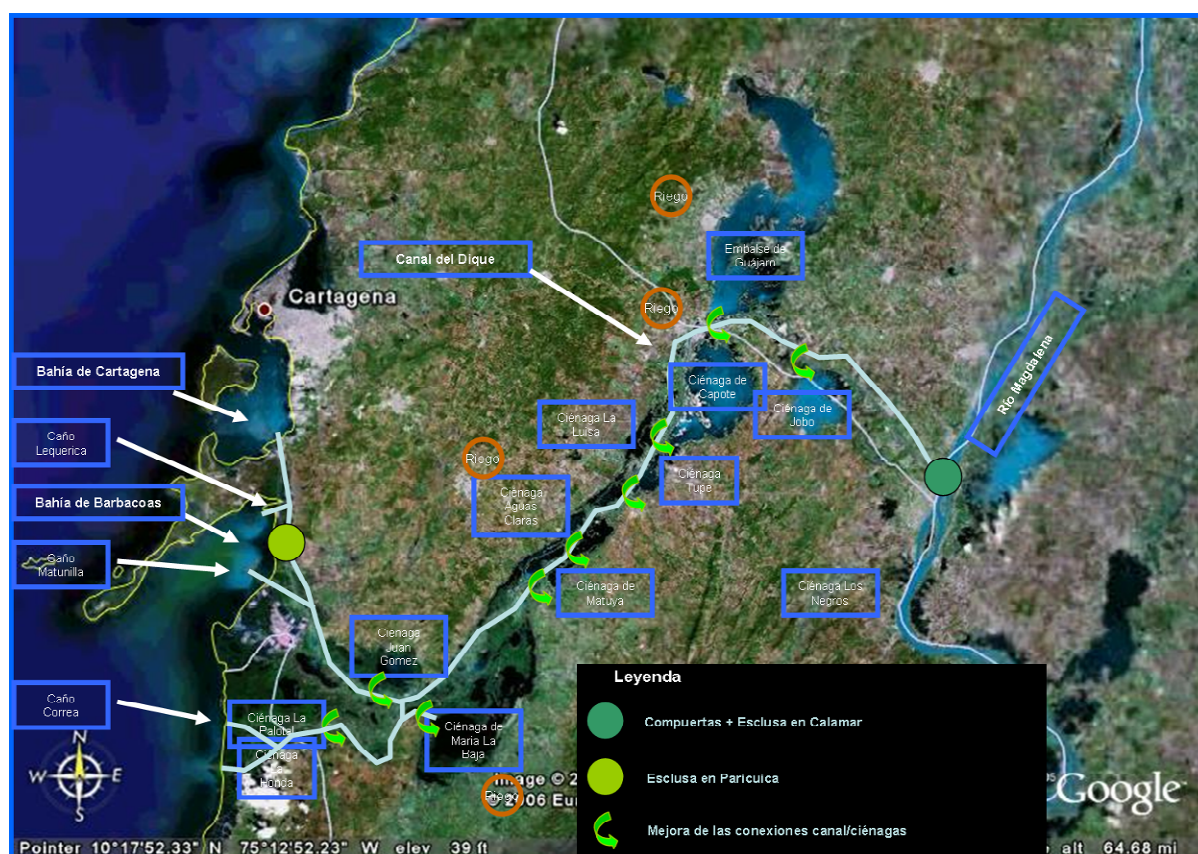


Figura 1 : Mapa de ubicación de las obras

Nótese que se podrá en cualquier momento abrir las compuertas y enviar el caudal que habría estado en el estado no acondicionado. Por ejemplo las compuertas serán abiertas por el estiaje.

2. Esclusa en Paricuica, en el tramo inferior del canal

Además de las propuestas anteriores, se propone **suprimir totalmente la entrada de sedimentos en la Bahía de Cartagena gracias a una esclusa en Paricuica**, entre los caños Matunilla y Lequerica. Esta esclusa tiene una caída débil y será relativamente barata.

Se puede construir esta esclusa en primera fase para una eficiencia inmediata para la bahía de Cartagena. Sin embargo, es esencial que esa obra no se construya sin hacer la obra de regulación en Calamar para no empeorar la entrada de sedimentos al mar y en la Bahía de Barbacoas.

Tipo de gestión de las obras

A partir del Hidrógrama de referencia 1988-1991 fue definida una propuesta de gestión de las compuertas (figura siguiente).

Los principios fundamentales son respetados:

1. **Respetar el ritmo anual de fluctuación de caudal :**
 - Cada año son respetados los dos picos de caudal en verano ($\sim 450 \text{ m}^3/\text{s}$) y en otoño ($\sim 700 \text{ m}^3/\text{s}$).
2. **No reducir el caudal de estiaje :**
 - Nunca se reduce un caudal “natural” cuando está inferior a $200 \text{ m}^3/\text{s}$,

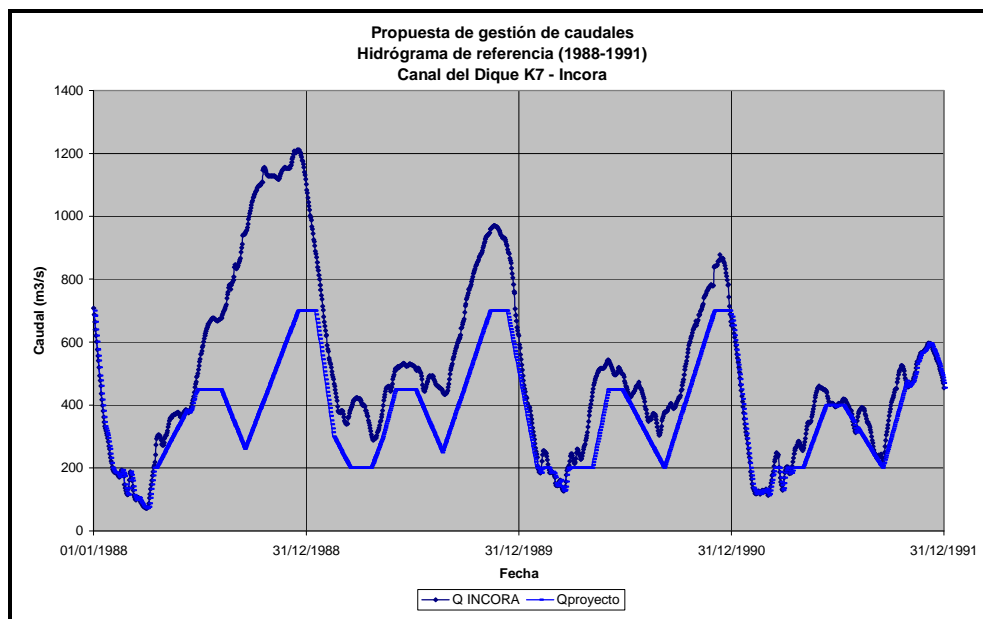


Figura 2 : Ejemplo de gestión de las compuertas

Así, se puede ver que el beneficio en términos de reducción de caudal, pues en reducción de transporte sólido depende del año:

- Por un año seco (1991) casi no se reduce el caudal (aprox. 10%)
- Por un año “normal” (1989), se reduce el caudal de aprox. 30%.
- Por un año húmedo (1988), se reduce mucho el caudal de aprox. 40%.

Eficiencia

La reducción de entrada de sedimentos por reducción de entrada de caudal líquido es del **orden de 35%**.

Además se reducirá el caudal del canal durante los picos de concentración de materiales finos que se observan en el río Magdalena, lo que dará una reducción adicional de la entrada de sedimentos del **orden de 15%**.

Los dragados de mantenimiento serán reducidos de 50 a 60%. Sin embargo, esos dragados también contribuyen a la reducción de sedimentos transportados por el canal del Dique (**aprox. 5%**).

Tabla recapitulativa, según simulación de gestión (año promedio 1988-1991):

Cantidad de sedimentos (M Ton/año)	Situación actual	Situación de proyecto 1: (Obras de regulación en Calamar)	Situación de proyecto 2: (Obras de regulación en Calamar + Esclusa Paricuica)
<i>Canal del Dique</i>	6.9	3.9 (-43%)	4.0 (-42%)
<i>Mar (por caño Correa)</i>	0.95	0.5 (-47%)	0.9 (-5%)
<i>Bahía de Barbacoas</i>	1.8	0.9 (-50%)	1.45 (-19%)
<i>Bahía de Cartagena</i>	1.6	0.7 (-56%)	0 (-99%)

Tabla 1 : Eficiencia del proyecto en términos de reducción de sedimentos

En comparación con la situación actual, la reducción de sedimentos en la Bahía de Cartagena es de:

- **55%** con las obras de regulación en Calamar,
- **99% (TOTAL)** con las obras de regulación en Calamar + la esclusa en Paricuica.

Medidas complementarias

1. Mejora de las conexiones hidráulicas canal/ciénagas

Las ciénagas se llenan por desborde del canal, lo que necesita un caudal fuerte del canal y no es incompatible con una buena gestión de los caudales sólidos entrando en el canal.

- Un primer mejoramiento consiste en rebajar el nivel de las riberas, para **mejorar el desbordamiento**.
- Otro mejoramiento consiste en **aumentar la capacidad hidráulica de las conexiones canal – ciénagas**, apoyar el llenado de las ciénagas, y llegar a una gestión del agua más lógica y menos despilfarradora.

Estos dos mejoramientos no parecen necesitar tantas excavaciones y deberían ser poco costosos. Se desarrollarán estas posibilidades en la continuación del estudio.

También se deberá tratar a largo plazo el problema de exceso de carga orgánica en las ciénagas, que no se puede resolver solamente por entrada masiva de agua.

2. Profundización del canal del Dique

La Navegación se beneficiara de un vía navegable sostenible con un **calado de 10 pies garantizado** durante todo el año. El trafico utilizara menos barcos debido al mejor calado, y menos energía para transporta la misma carga.

Además, la profundización del canal tendrá un efecto positivo sobre el medio ambiente, la cuña salina, la calidad de agua, el aprovechamiento del agua potable en periodo seco. En efecto, esa medida permite aumentar de una manera importante el caudal de estiaje del Canal del Dique:

Cota (msnm)	Caudal sin profundización (m³/s)	Caudal con profundización (m³/s)	Aumentación x
1	40	85	2.1
2	75	125	1.7
3	125	205	1.6
4	240	320	1.3

Tabla 2: Caudales del canal del Dique con y sin profundización

El efecto de la profundización es desdeñable para los caudales superiores a 500m³/s, es decir que la profundización no afecta el desborde del canal hacia las ciénagas.

3. Minicentral hidroeléctrica

Gracias a la caída de agua debida al efecto de las compuertas, será estudiada la posibilidad instalar una planta hidroeléctrica, para la producción de electricidad. En función de los niveles del río Magdalena y del Canal del Dique, esa minicentral hidroeléctrica tendrá una potencia máxima disponible de alrededor de **5 500 Kw**.

4. Protección contra las poluciones del río Magdalena

La obra de regulación de caudal en calamar permitirá también reducir el riesgo de polución accidental en la ecoregión del canal del Dique. En efecto, se podrán cerrar las compuertas en caso de picos de polución del río Magdalena, protegiendo el canal y las ciénagas.

5. Obra de franqueamiento para las migraciones de los peces

Durante los meses de Enero, Febrero, Marzo, que corresponden al estiaje, las compuertas están abiertas y permiten el paso libre de los peces. La “subienda” ocurre de Febrero a Marzo, y después de Septiembre a Noviembre, por cuales las compuertas están parcialmente cerradas, produciendo una caída. Una obra de franqueamiento en la orilla izquierda de las compuertas va a disminuir la incidencia sobre la migración en fase de regulación.

- La obra de franqueamiento de los peces es una escalera, constituida de cámaras sucesivas, al lado de la obra de regulación, para garantizar la atracción de los peces.
- La reactivación del canal viejo de las ciénagas Los Negros parece una alternativa interesante que permitirá también mejorar el estado de esta ciénaga.
- La realización en la esclusa de un caudal de atracción (puertas abiertas aguas abajo) va a permitir a los peces subir aguas arriba con los barcos.
- Se puede también proponer hacer funcionar regularmente la esclusa para los peces, como se hace en el río Ródano para la Alosa ('Alosa alosa').

6. Plan de manejo de agua

El proyecto será acompañado de un plan de manejo de agua. En su marco, serán definidos:

- Todos los usos vinculados al canal del Dique: pesca, navegación, agricultura, agua potable, etc.
- Las necesidades en términos cuantitativos y cualitativos de cada grupo de usuarios.
- Las reglas de gestión de los caños secundarios del canal del Dique. En particular :
 - o Las conexiones entre el canal del Dique y las distintas ciénagas,
 - o El nivel óptimo de las orillas para permitir un desborde adecuado del canal hacia las ciénagas.
 - o Los bombeos de alimentación de las ciénagas desde el canal del Dique.
- El modo de gestión de las compuertas.
- Las orientaciones de gestión en lo que refiere a la mejora de los usos: tratamiento de aguas, agricultura y pesca sostenible, etc.

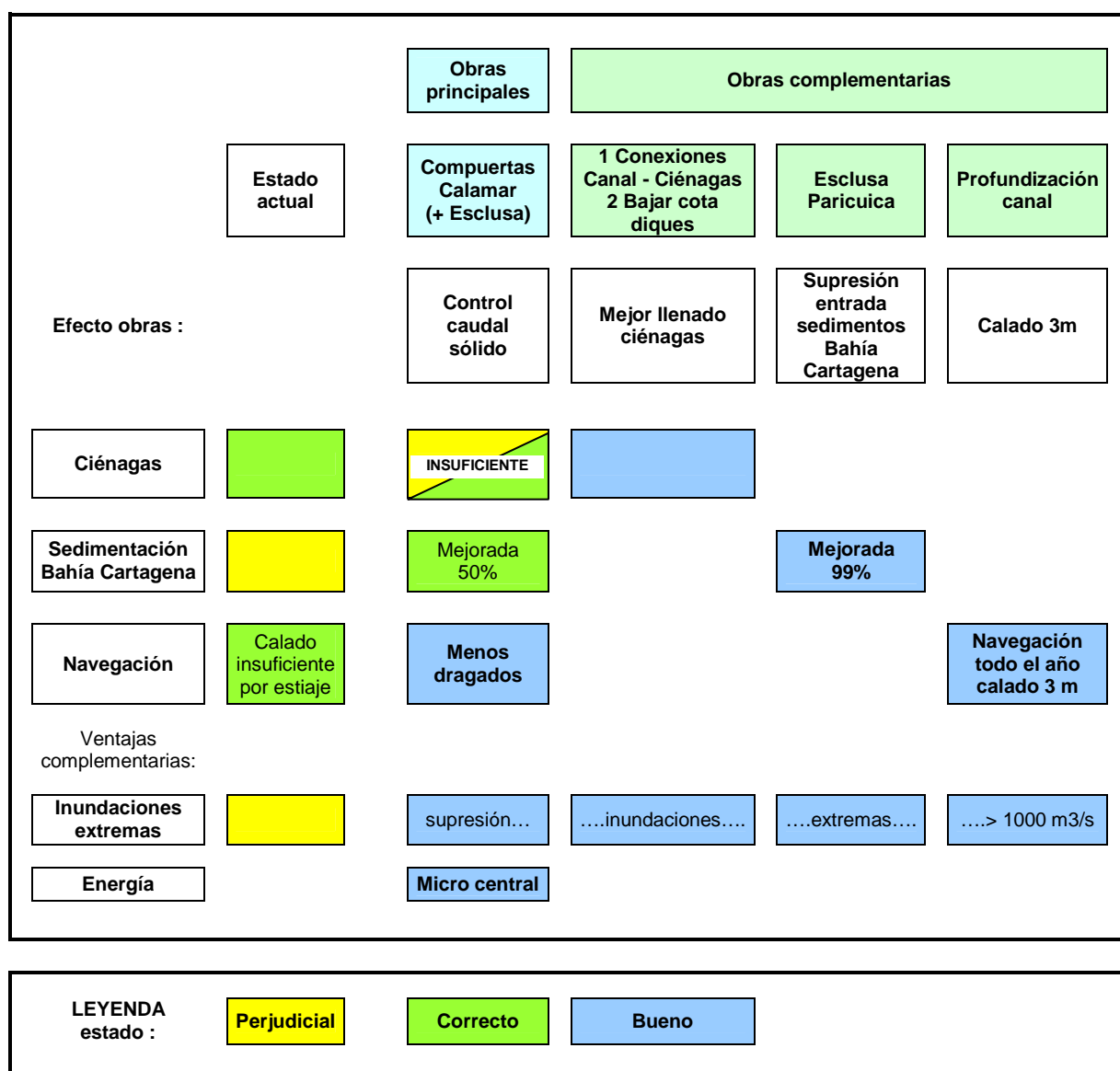
La definición y la aplicación del plan de manejo de agua serán beneficiosas para la población de toda la ecoregión del canal del Dique.

Otros beneficios

La reducción de los dragados de mantenimiento de 50 a 60 % será beneficiosa:

- Económicamente: el costo correspondiente pasará de 2M€ a 0.8 M€ por año.
- Para el medio ambiente: los dragados son perjudiciales para el medio ambiente y los peces. La reducción de los dragados tiene pues un impacto ambiental positivo.

Esquema sinóptico



Este estudio ha sido desarrollado con la colaboración del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, que tiene:

- herramientas adecuadas: modelos hidrológico, matemático, laboratorio de modelo reducido a fondo móvil
- un conocimiento notable de la región: hidrología, transporte sólido, medio ambiente, etc.

2 PERÍMETRO DEL ESTUDIO

2.1 Contexto

El gobierno Colombiano, con la creación por la ley de 1994 de la Corporación Autónoma Regional del Río Magdalena (CORMAGDALENA), impulso una nueva dinámica para el desarrollo sostenible del eje del río Magdalena y de su zona de influencia. Este proyecto estratégico tenía por objetivo central el establecimiento y la realización de un esquema de ordenación territorial y de gestión integrada de la cuenca del río Magdalena.

En el marco de sus misiones de gestión, una de las prioridades de CORMAGDALENA concierne el canal del Dique, que vincula el río Magdalena al puerto marítimo de Cartagena. Este canal, de un caudal promedio del orden de 530 m³/s, es un vector muy importante de sedimentos. En la situación actual, el flujo de materiales sólidos transportados por el canal del Dique hasta la Bahía de Cartagena esta estimado a cerca de 2 millones de toneladas por año. Las autoridades políticas locales (Alcalde de Cartagena) y nacional (Presidente de la Republica Álvaro Uribe) quieren encontrar una solución que permita reducir este fenómeno que podría llevar, a medio plazo, a la sedimentación de la Bahía de Cartagena.

A través del Convenio de Cooperación suscrito entre CORMAGDALENA y el FFEM, Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial, para el “Control de la erosión y de la sedimentación de origen antrópico y sus efectos sobre los ecosistemas fluviolacustres del Magdalena y sobre su zona de influencia, incluyendo la zona costera Caribe”, la CNR suscribió con Cormagdalena un contrato de asistencia técnica para la realización de la primera fase del “Plan de restauración ambiental y de navegación del Canal del Dique” . Esta asesoría se desarrolló en colaboración con el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia en Bogota, en el marco de los estudios que CORMAGDALENA ha confiado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia para la obtención de la licencia ambiental. En el marco de este contrato, un estudio de prefactibilidad de la solución con obras de regulación de caudal en Calamar fue entregado en junio de 2006 a Cormagdalena.

En la continuidad de este estudio, el gobierno francés, representado por del Ministerio de la Hacienda Publica, acordó una financiación a CORMAGDALENA por el estudio de factibilidad de la restauración del canal del Dique, a través del FASEP n°703 (Fondo de Estudio y de Ayuda al Sector Privado).

El objeto del presente informe de consolidación es precisar los elementos técnicos principales de la solución introducida en el estudio de prefactibilidad. En este informe van a ser precisados los elementos requeridos por la Resolución 0249 del 10 de marzo del año 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT:

Según esta resolución, el diseño de las obras de regulación y control hidráulico deberá garantizar:

- El caudal requerido en proyectos de riego existentes y proyectados.
- El caudal ECOLÓGICO para mantener ambientalmente los cuerpos de agua.
- La determinación del remonte de la cuña salina.
- La disponibilidad de agua para consumo doméstico.
- La continuidad de subienda y bajanza par los peces.
- La modelación hidrosedimentológica y la actualización topográfica y batimétrica.
- La modelación de la profundidad de las ciénagas.
- Identificar, prevenir y mitigar impactos ambientales sobre actividades de pesca, agricultura, ganadería, y sobre la vida de los pobladores.
- La elaboración y la presentación del Plan de Manejo de Aguas.
- Precisar esquemas de administración, operación y mantenimiento de las estructuras diseñadas.
- Analizar efectos sobre condiciones de vida de los pobladores, condiciones organizativas e institucionales, tendencias de desarrollo y conflicto social en el área de influencia.
- La participación de las comunidades locales en la evaluación de impactos y formulación de medidas de manejo.

El perímetro del estudio se basa sobre el plan de manejo hidrosedimentológico del Canal del Dique, en cumplimiento de los requerimientos de la Resolución 249 del MAVDT. Geográficamente, el perímetro del estudio se extiende sobre toda la región influenciada por el Canal del Dique, entre Calamar y Cartagena.

2.2 Estudios anteriores principales

CORMAGDALENA – Laboratorio de ensayos hidráulicos de Las Flores

Octubre 1997 – Diciembre 1997 : prefactibilidad

Julio 1998 – Mayo 1999 : factibilidad

Agosto 1999 – Julio 2000 : mediciones

Este estudio se concluyó con el Plan de Restauración Ambiental (1ª etapa) – Publicación Ediciones Uninorte – marzo 2001. La alternativa elegida se llama Alternativa 4.

HIDROESTUDIOS – STEER DAVIES & GLEAVE

ESTUDIO DE DEMANDA DE TRANSPORTE DEL SISTEMA FLUVIAL DEL RÍO MAGDALENA Y EVALUACION BENEFICIO-COSTO DE LA INSTRUMENTACION DE UN ESQUEMA DE REACTIVACION DE LA NAVEGACION FLUVIAL” (2001)

Estudios realizados después de este estudio de factibilidad

CORMAGDALENA – MINAMBIENTE

- Campañas hidrobiológicas y análisis de calidad del ecosistema en el complejo cenagoso asociado al Canal del Dique incluyendo el recurso pesquero ciénaga Jobo-Capote-Guájaro-María la Baja-Juan Gómez 2001-2002
- Dinámica fluvial deltáica y litoral del Canal del Dique 2002
- Evolución del Río Magdalena en Calamar 1999, 2000 Y 2002 (LEH-LF, UNINORTE)
- Estudio de navegabilidad del Río Magdalena-Canal del Dique 2000 (LEH – LF, UNINORTE)
- Tres campañas hidrosedimentológica en 2000 y 2002 (LEH-LF, UNINORTE)
- Estudio de demanda de transporte del sistema fluvial del Río Magdalena (HIDROESTUDIOS-STEER DAVIES GLEAVE) Abril 2002
- CAMPAÑA DE CALIDAD EN MAYO DE 2002 (LEH-LF, UNINORTE)

Estructuración técnica, económica, financiera y legal del proyecto de recuperación de la navegación en el Río Magdalena (COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE) JULIO 2002

Alcaldía de Cartagena – diseños conceptuales en el bajo Canal del Dique (UNICARTAGENA-UNINORTE-HIDROGECOL) 2001-2002

Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del Canal del Dique – Universidad Nacional - 2006: presentación en el foro de Cartagena del 12.06.2006 (« Presentación General Cartagena 12-JUNIO-2006 ppt »)

4 campañas hidrosedimentológicas (Años 2000, 2001- 2002, y 2003 - 2004)

Estudio de prefactibilidad para la restauración del canal del Dique

CORMAGDALENA – Compagnie Nationale du Rhône

Informe

CL02 DI-EE 06-índice a – 498 Agosto 2006

Canal del Dique Estudio de prefactibilidad

Plan de restauración ambiental y de navegación

Solución con obras de control en la entrada del Canal

3 OBJETIVOS Y PRINCIPIO DE LA PROPUESTA

3.1 Objetivos del proyecto

Los objetivos son los siguientes:

- Respetar el Medio Ambiente: garantizar el funcionamiento de las ciénagas, disminuir la sedimentación, asegurar la calidad de agua (Ej.: controlar una polución accidental en el Río Magdalena), controlar la cuña salina, disminuir los dragados (efecto sobre los peces), asegurar el tránsito de los peces.
- Controlar los sedimentos (Canal, ciénagas, Bahías) : *los sedimentos son un elemento indisociable del caudal líquido: no se pueden eliminar los sedimentos sin controlar el caudal entrando en el Canal*
- Mejorar la navegación : *en una perspectiva de desarrollo de la navegación, el Canal del Dique no debe ser el cuello de botella del Magdalena, cuando se realiza 90% del tráfico fluvial del Río por ese Canal*
- Minimizar el mantenimiento del Canal (dragados)

El control de los caudales con obras de regulación es un instrumento activo, que necesita una gestión ambiciosa por un organismo de manejo eficiente.

El proyecto debe tener una visión global: medio ambiente, sedimentación, navegación, pesca, agricultura, ganadería, infraestructuras, vida de las poblaciones,...

Es decir - **llegar a un desarrollo sostenible** -

El estado actual no puede ser considerado como sostenible:

- Sedimentación de la Bahía de Cartagena, que a medio plazo podrá afectar el Canal marítimo navegable.
REM: Ese transporte de sedimentos es debido a una erosión intensiva en la cuenca vertiente del río Magdalena. La solución local para el canal del Dique debe ser confortada por una solución global en la fuente del problema, es decir la mejora de los usos del suelo en el medio y alto Magdalena.
- Problemas de medio ambiente, de abastecimiento de las ciénagas en agua del canal, problemas de contaminación en algunas ciénagas.
- Falta de calado en algunos tramos del Canal, lo que afecta el pleno desarrollo de la navegación,
- Inundaciones extremas periódicas que afectan el desarrollo general de la región,

3.2 Solución propuesta

3.2.1 Control del caudal líquido y sólido

El problema actual del Canal del Dique viene de la rectificación y ampliación del Canal entre 1981 y 1984. Después de esas obras, el caudal promedio paso de 320 a 520 m³/s, lo que ha conducido a una entrada masiva de sedimentos.

La gran entrada de materiales sólidos produce una sedimentación de los materiales gruesos en el primer tramo del Canal, y de los materiales finos en la Bahía de Cartagena por floculación.

El principio del acondicionamiento propuesto es la reducción de los aportes sólidos al Canal, por la reducción de los aportes líquidos.

Para este control de caudal líquido, se necesitan compuertas en la entrada del Canal. Como las compuertas producen una caída de nivel de agua, una esclusa es necesaria para la navegación.

Nótese que se podrá en cualquier momento abrir las compuertas y enviar el caudal que habría estado en el estado no acondicionado. Por ejemplo las compuertas serán abiertas por el estiaje.

Picos de concentración de materiales finos se observan en el río Magdalena. Se propone detectar estos picos río arriba, y reducir el caudal de las compuertas cuando llegan frente a la obra, lo que aumentará la eficiencia del control de sedimentos entrando al canal. También se podrá cerrar las compuertas en caso de picos de polución del Magdalena.

3.2.2 Mejoramiento de las conexiones canal – ciénagas

Muchas ciénagas se llenan por desborde del canal, lo que necesita un caudal fuerte del canal, y es incompatible con una buena gestión de los caudales sólidos entrando en el canal.

Un primer mejoramiento consiste en rebajar el nivel de las riberas, para mejorar el desbordamiento. Otro mejoramiento consiste en aumentar la capacidad hidráulica de las conexiones canal – ciénagas, apoyar el llenado de las ciénagas, y llegar a una gestión del agua más lógica y menos despilfarradora.

También se deberá tratar a largo plazo el problema de exceso de carga orgánica en las ciénagas, que no se puede resolver solamente por entrada masiva de agua.

3.2.3 Supresión de entrada de sedimentos en la Bahía de Cartagena

Además de las propuestas anteriores, se propone suprimir totalmente la entrada de sedimentos en la Bahía de Cartagena por una esclusa en Paricuica, entre los caños Matunilla y Lequerica.

3.2.4 Obras propuestas

3.2.4.1 Mapa general de las componentes del proyecto

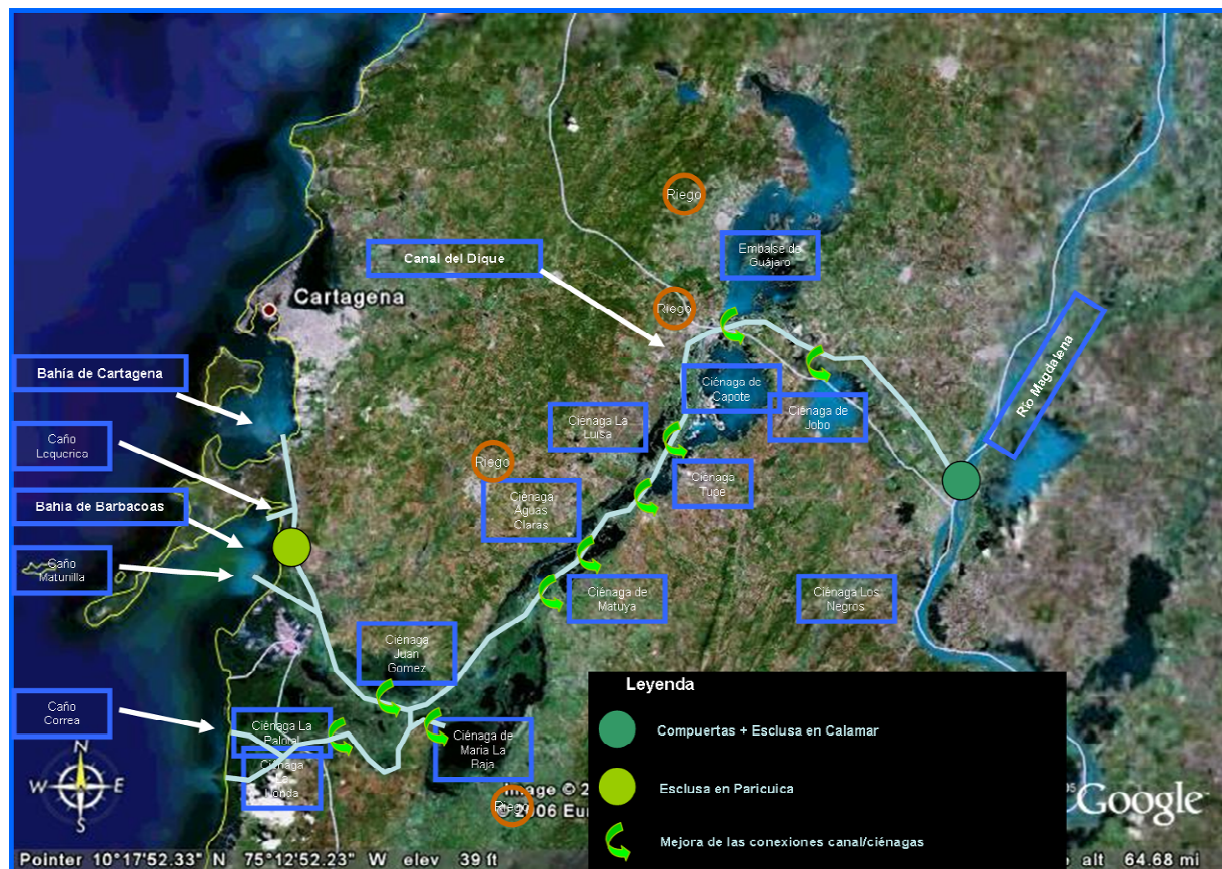


Figura 3 : Mapa de ubicación general del proyecto

3.2.4.2 Obras de regulación del Caudal en Calamar

Las obras de regulación de caudal entrante al canal en Calamar es el corazón del proyecto. En efecto, como el caudal sólido depende directamente del caudal líquido (de las velocidades para el arrastre, del volumen para la suspensión), la solución propuesta consiste en reducir el caudal que entra al canal del Dique.

En práctica, las obras de regulación consisten en compuertas dispuestas en Calamar en la entrada misma del canal. **Estas compuertas pueden reducir el caudal, pero también pueden enviar el mismo caudal que en el estado actual cuando están totalmente abiertas.**

Por supuesto, excepto en caso extremadamente grave de polución en el río Magdalena, nunca se cortará totalmente el caudal líquido que entra al canal. Al contrario, siempre será conservada la totalidad del caudal en situación de estiaje (compuertas abiertas). El beneficio en término de transporte sólido se hará durante las épocas de crecida esencialmente.

Con esas obras, y con una gestión sostenible para el medio ambiente, se puede reducir la sedimentación entrante en el canal del orden de 35% + supresión de picos de concentración \approx 15%, es decir **alrededor de 50%**.

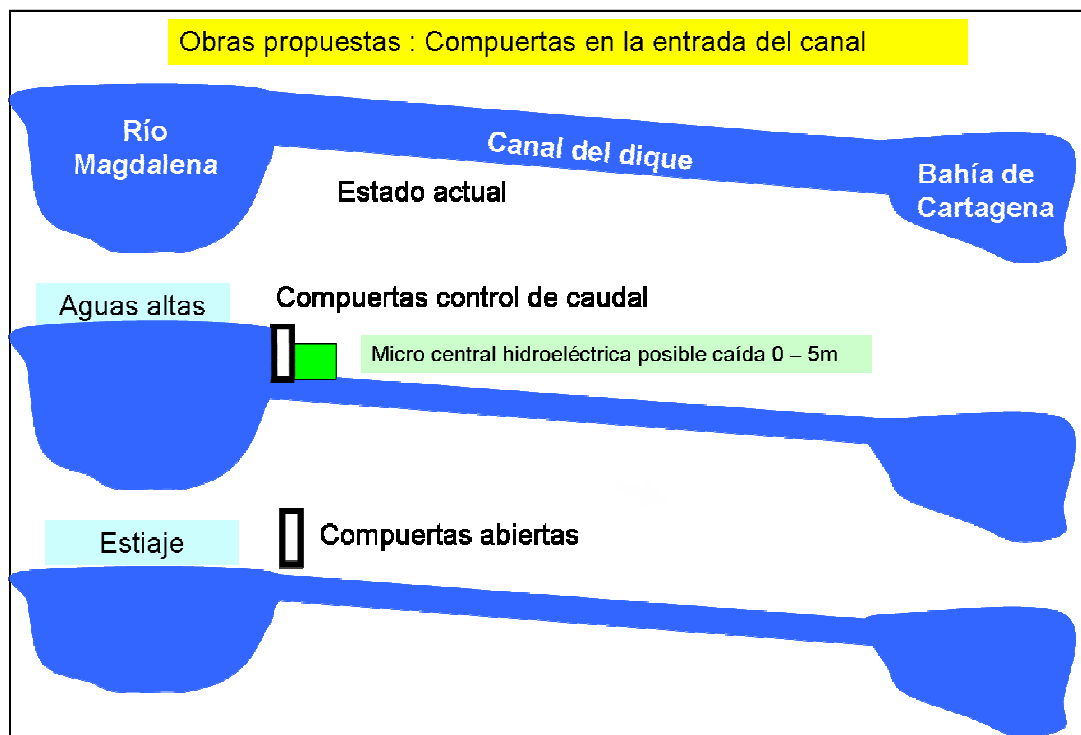


Figura 4 : Esquema de principio de las compuertas en Calamar

3.2.4.3 Esclusa en Calamar

Un efecto importante de las compuertas en Calamar es que, cuando se reduce el caudal entrante, se cree una caída entre el nivel del río Magdalena, y el nivel del canal del Dique. Esa caída será incluida entre 0 y 5 m aproximadamente en función del caudal del río Magdalena y del grado de apertura de las compuertas.

Por consiguiente, una esclusa es necesaria para permitir que los barcos entren al canal del Dique. Esa esclusa será ubicada sobre el canal actual y tendrá las dimensiones adecuadas para un convoy empujado con 6 planchones en pacha o sea 210 m x 26 m.

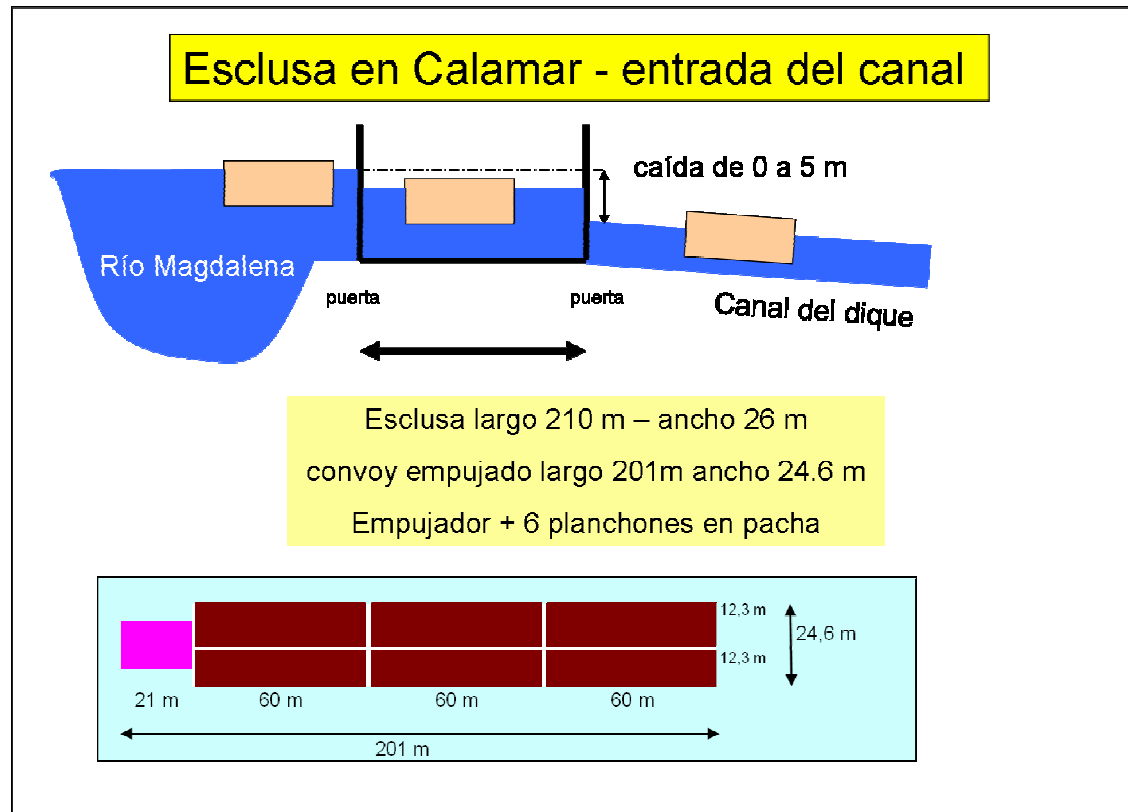


Figura 5 : Esquema de principio de la esclusa en Calamar

3.2.4.4 Esclusa en Paricuica

Esa segunda esclusa está prevista en el canal del Dique entre los caños Matunilla y Lequerica.

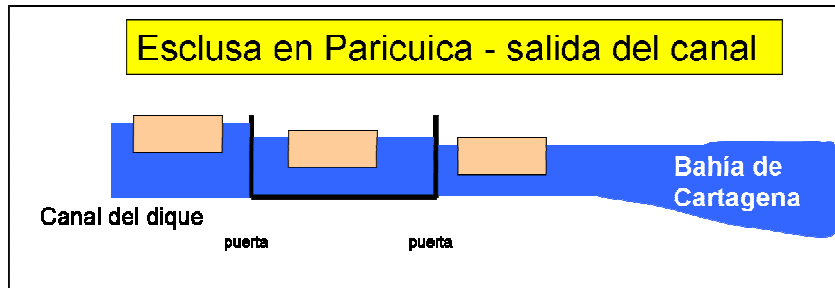


Figura 6 : Esquema de principio de la esclusa en Paricuica

Esa permitirá suprimir en casi totalidad la entrada de sedimentos en la Bahía de Cartagena. El caño Lequerica y el canal del Dique en Pasacaballos serán pues conectados aguas abajo de la esclusa, lo que permitirá el paso sin demora de los barcos turísticos que transitan ahí.

Esa esclusa deberá también permitir el paso de los convoyes empujados de 6 planchones en pacha, lo que corresponde a las dimensiones siguientes: 210 m x 26 m.

La caída de esta esclusa será muy débil, así que la esclusa será menos costosa y el paso mas rápido para los barcos.

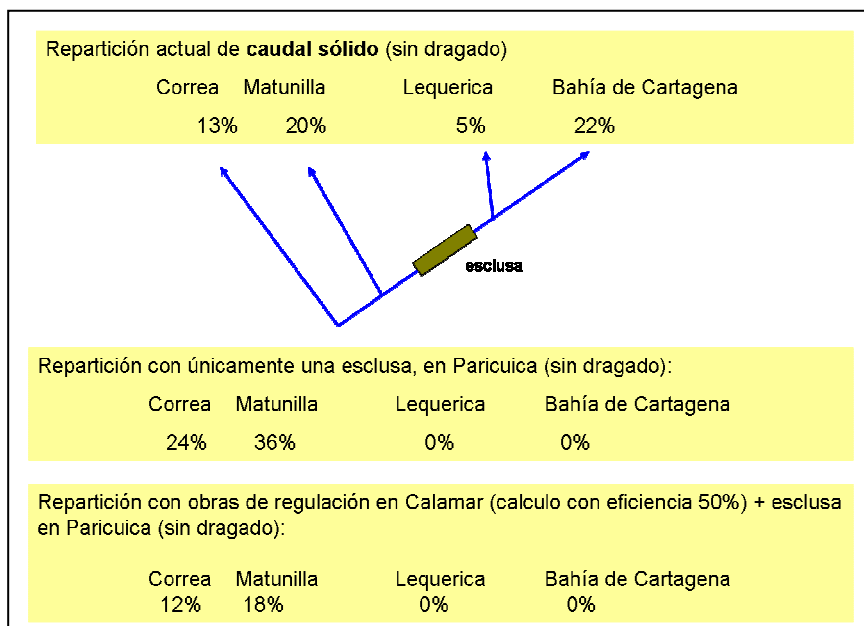
Se puede construir esta esclusa en primera fase, para un efecto inmediato sobre la sedimentación de la bahía de Cartagena.

Sin embargo, es **esencial que esa obra no se construya sin hacer (antes o justo después) la obra de regulación en Calamar**. En el caso contrario, haría:

- Un aumento fuerte del caudal hacia la Bahía de Barbacoas y al mar por los caños Correa y Matunilla, con el aumento similar de sedimentos. Podría llevar a una sedimentación rápida de la Bahía de Barbacoas, y tal vez (estudios a desarrollar) a la debilitación de los corales de la reserva de las islas del Rosario.
- Una restricción de las condiciones hidráulicas abajo (cuello de de botella), lo que llevaría a :
 - o Problemas de erosión en los caños Correa y Matunilla,
 - o Un aumento de nivel del canal, pues un aumento de los desbordes y las inundaciones, con consecuencias indefinidas sobre las ciénagas y el equilibrio socio-económico de la región.

Si esa obra se hace después de la obra de regulación de caudal en Calamar, no hay esos riesgos debidos al aumento de caudal en los caños Correa y Matunilla, ya que se puede controlar el caudal entrante al canal del Dique.

La Tabla siguiente da la repartición de caudal líquido y sólido entre los diferentes brazos



Hipótesis: Repartición entre Correa y Matunilla del caudal sólido que llegaba en Lequerica y Pasacaballos antes de la esclusa, en las mismas proporciones (Matunilla / Correa \approx 3/2).

Figura 7 : Repartición de los caudales sólidos en el delta del canal del Dique

La esclusa sola suprime la entrada de caudal sólido en la bahía de Cartagena, enviando esta cantidad hacia los otros brazos (Correa y Matunilla), lo que no es aceptable en términos de impacto ambiental.

La esclusa de Paricuica con el control de caudal líquido y sólido por obras en la entrada del canal, permite resolver problemas de la bahía de Cartagena, sin perorar los otros brazos, cuyas condiciones se encuentran ligeramente mejoradas.

3.2.5 Efecto de la profundización del Canal

Las curvas de remanso calculadas por la Universidad Nacional son las siguientes:

Sin profundización: (marea cero)

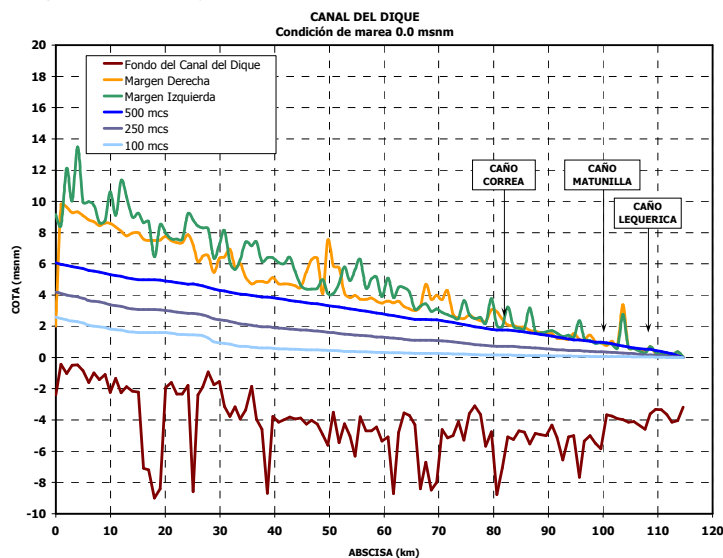


Figura 8 : Curvas de remanso del Canal del Dique sin profundización

La cota del azud en la entrada del Canal es (menos 0.5)

Con profundización: (marea cero)

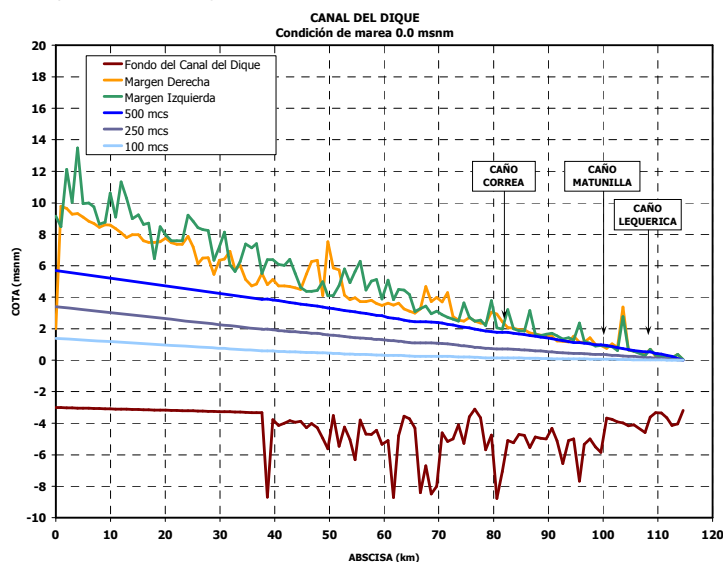


Figura 9 : Curvas de remanso del Canal del Dique con profundización

La curva de gasto en la entrada del Canal es la siguiente: (con marea cero)

Nótese que el nivel mínimo del Río Magdalena es (1)

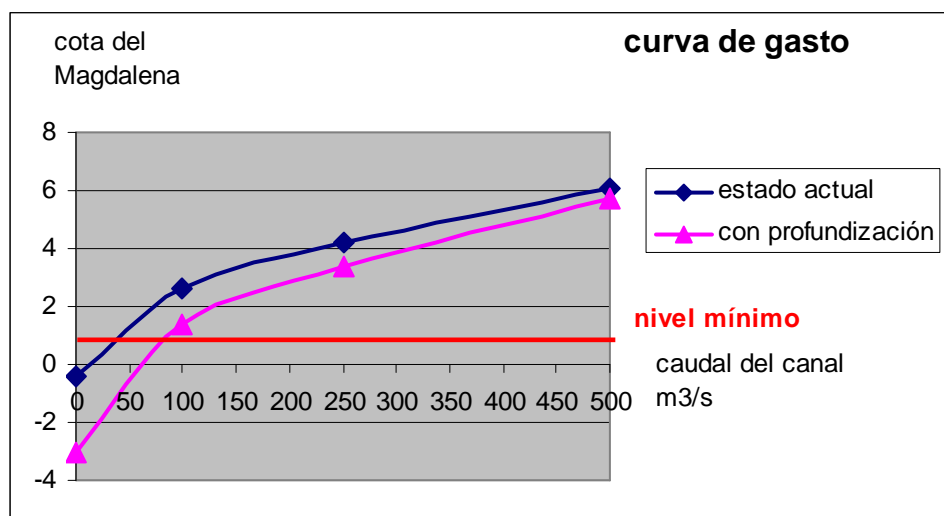


Figura 10 : Curvas de gasto en la entrada del canal del Dique

La profundización permite aumentar de una manera importante el caudal de estiaje del Canal del Dique:

Cota (msnm)	Caudal sin profundización (m³/s)	Caudal con profundización (m³/s)	Aumentación x
1	40	85	2.1
2	75	125	1.7
3	125	205	1.6
4	240	320	1.3

Tabla 3 : Caudales del canal del Dique con y sin profundización

La profundización mejorara el calado de los barcos, y tendrá un efecto positivo sobre el medio ambiente, la cuña salina, la calidad de agua, el aprovechamiento del agua potable en periodo seco.

El efecto de la profundización es desdeñable para los caudales superiores a 500m³/s, es decir que la profundización no afecta el desborde del canal hacia las ciénagas.

3.3 Un ejemplo de gestión

3.3.1 Funcionamiento actual del sistema

El Canal del Dique tiene un ciclo anual de fluctuación de caudal bien marcado.

Tomemos el ejemplo de los 4 años desde 1988 hasta 1991. En este hidrógrama de referencia (ver figura abajo) se pueden observar:

- Un año muy húmedo (1988): fenómeno la niña.
- Dos años “normales” (1989 y 1990)
- Un año seco (1991): fenómeno el niño.

Se pueden notar algunos asuntos generales:

- El año hidrológico empieza y termina hacia marzo/abril por un estiaje muy marcado,
- Hay dos picos de caudales anuales :
 - o El primero, de amplitud media ($\sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$) en los meses de mayo/junio/julio,
 - o El segundo, de amplitud fuerte ($\sim 800\text{-}1200 \text{ m}^3/\text{s}$) en los meses de octubre/noviembre/diciembre.

Además de eso remarcamos que:

- En el año muy húmedo, los dos picos fusionan en un solo pico de caudal anual
- En el año muy seco, el pico mayor alcanza apenas $600 \text{ m}^3/\text{s}$ durante menos de un mes.

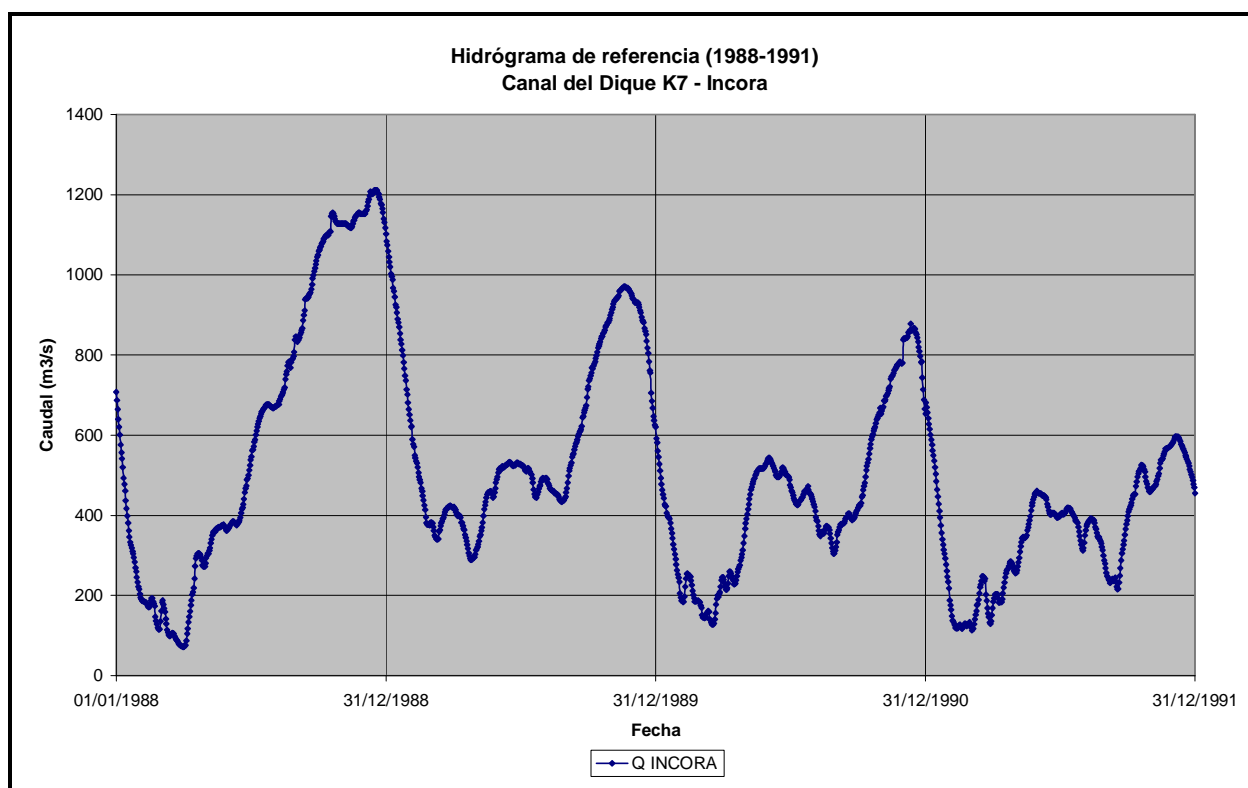


Figura 11 : Hidrógrama del canal del Dique en Incora (K7) 1988-1991

3.3.2 Una gestión posible

A partir del Hidrógrama de referencia 1988-1991 fue definida una propuesta de gestión de las compuertas (figura siguiente).

Los principios fundamentales son respetados:

1. Respetar el ritmo anual de fluctuación de caudal:

- Cada año son respetados los dos picos de caudal en verano ($\sim 450 \text{ m}^3/\text{s}$) y en otoño ($\sim 700 \text{ m}^3/\text{s}$).

2. No reducir el caudal de estiaje:

- Nunca se reduce un caudal “natural” cuando está inferior a $200 \text{ m}^3/\text{s}$,

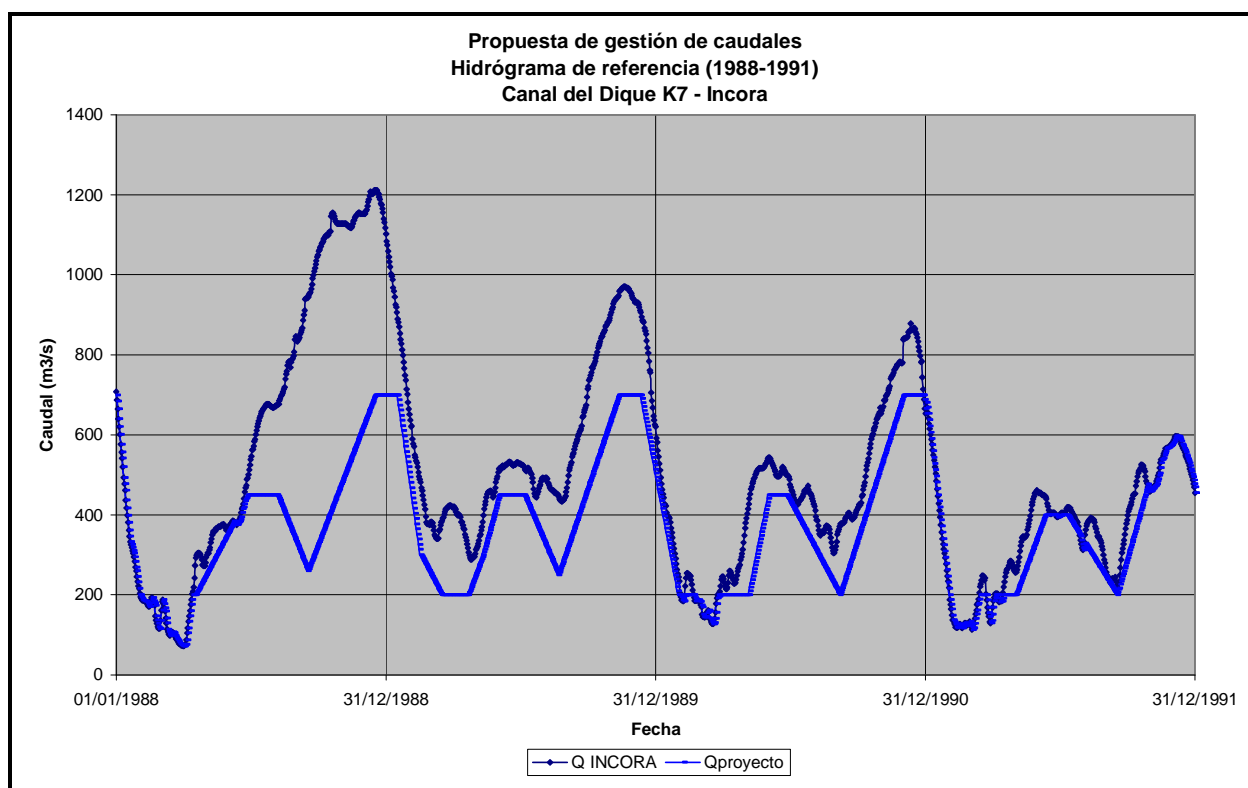


Figura 12 : Ejemplo de gestión de las compuertas

Así, se puede ver que el beneficio en términos de reducción de caudal, pues en reducción de transporte sólido depende del año:

- Por un año seco (1991) casi no se reduce el caudal (8%)
- Por un año “normal” (1989), se reduce el caudal de 28%.
- Por un año húmedo (1988), se reduce mucho el caudal (41%)

En promedio sobre los 4 años, el caudal se redujo de 27%, y los sedimentos de 35% (se reducen caudales altos, mas cargados en sedimentos).

Esta gestión en las condiciones actuales del sistema, no permite por el momento llenar suficientemente la totalidad de las ciénagas.

Un primer mejoramiento consiste en rebajar el nivel de las riberas, para un mejor desbordamiento.

Se debe también favorecer el mejoramiento de las conexiones entre el canal y las ciénagas para apoyar el llenado de una manera más lógica y menos despilfarradora.

Nota: Durante la parte siguiente del estudio, se mejorará la gestión propuesta y se simulará toda la hidrología conocida del río Magdalena (1984-2006).

4 ESTRATEGIA AMBIENTAL DEL PROYECTO

4.1 Gestión ambiental del proyecto

El presente proyecto de restauración del canal del Dique se integra en el marco de una estrategia ambiental basada en los siguientes datos de entrada:

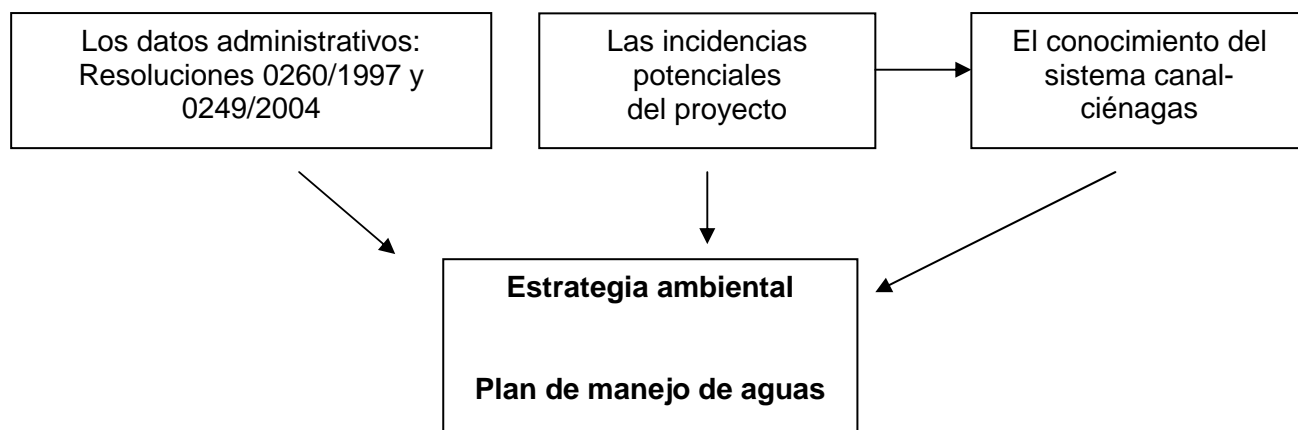


Figura 13 : Esquema de la estrategia ambiental del proyecto

Los propósitos del proyecto deben:

- tomar en cuenta las consecuencias relativas a la rectificación del Canal entre 1981 y 1984, según la resolución 0260/1997.
- respetar los requerimientos de la resolución 0249 del 10 de marzo del año 2004 (ver capítulo §2).

La resolución 0260/1997 impone de “disminuir la sedimentación en los cuerpos de agua para mitigar los daños ambientales y garantizar las diferentes actividades productivas en la zona de canal del Dique”.

Los requerimientos de la resolución 0249 indiquen la elaboración y la presentación del Plan de Manejo de Aguas a partir de una alternativa de manejo de los flujos sólidos del canal permitiendo mantener los equilibrios socio-económicos y ecológicos.

La estrategia ambiental

La lógica de la estrategia se inscribe en el principio del desarrollo sostenible.

La figura siguiente ilustra la estrategia ambiental que se traduce en particular por la elaboración de un **plan de manejo de aguas**, elemento mencionado en la Resolución 0249 del año 2004

La primera etapa del proyecto consiste en estimar el nivel de conocimiento del complejo Canal-ciénagas, y especialmente sus aspectos socio-económicos y ecológicos. Se deberán después desarrollar estudios complementarios.

La segunda etapa permitirá identificar los niveles de preservación, valorización y las acciones correspondientes. Entonces, podrán ser definidos los indicadores que permitirán:

- Describir el funcionamiento del sistema Canal-ciénagas (aspectos socio-económicos, físicos y biológicos),
- Medir la influencia de las acciones del proyecto,
- Traducir el grado de pertinencia de las acciones del proyecto y eventualmente sus reorientaciones.

Esta estrategia tiene una visión a largo plazo tomando en cuenta tanto la construcción de las obras como su explotación.

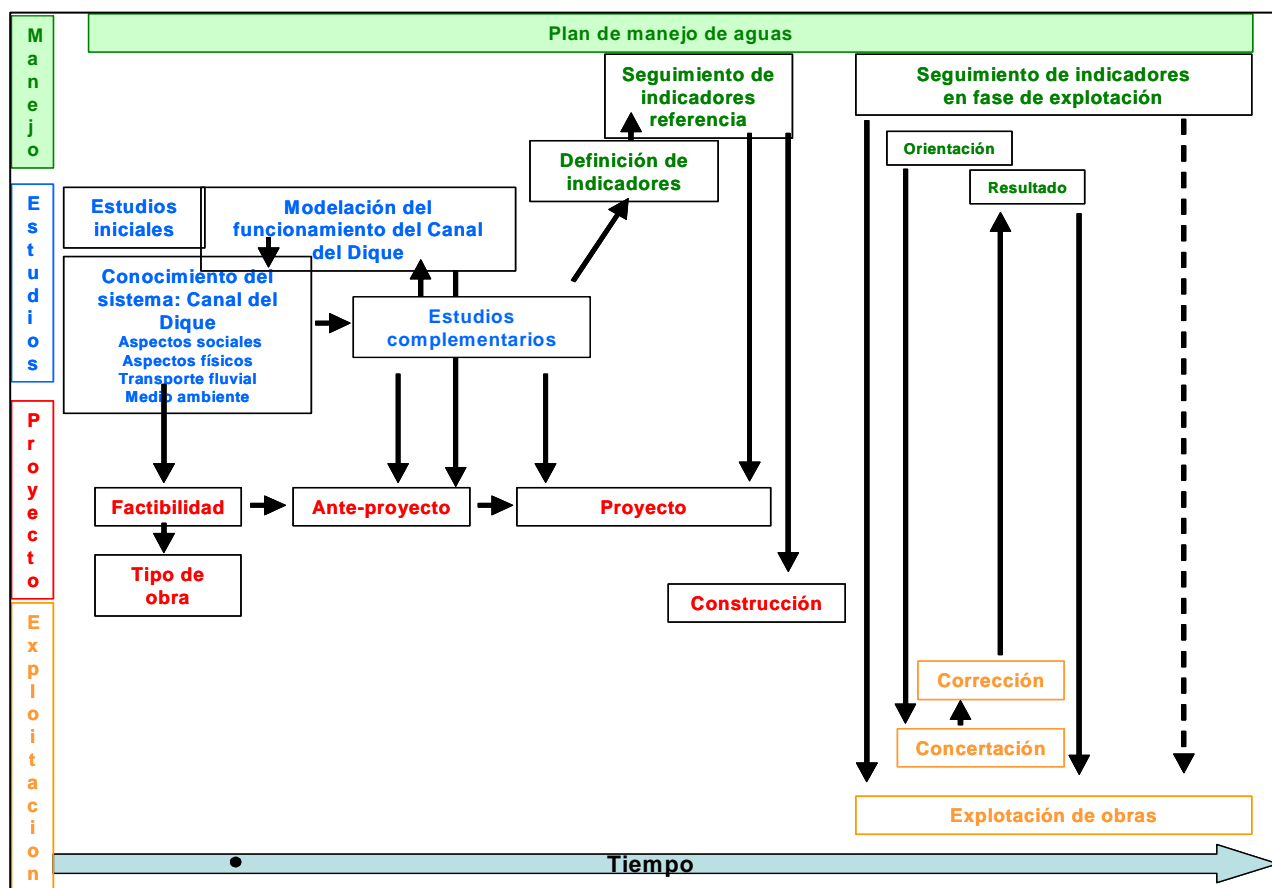


Figura 14 : Detalle de la estrategia ambiental del proyecto

La idea fundamental de este proceso de gestión ambiental a través el manejo del flujo sólido y líquido no consiste en fijar las condiciones hidráulicas sino en permitir una variada gama de posibilidades que dé a este proyecto una capacidad de reversibilidad en relación a sus eventuales incidencias (ver § 5.1.3).

4.2 Hacia un plan de manejo de agua

4.2.1 Organismo de gestión: “Agencia del Canal del Dique”

El sistema del canal del Dique es muy complejo y tiene una influencia sobre varios sectores de actividad. El primer paso hacia una mejora del sistema pasa por la creación de un organismo de gestión del Canal del Dique.

Se debe aprovechar la existencia del ente CARDIQUE, creado precisamente para administrar el recurso asociado al canal del dique.

Sin embargo, a fin de hacer democrática la toma de decisiones, se propone la creación de un nuevo organismo de gestión, en el cual sean tenidas en cuenta las siguientes organizaciones:

- 1/3 (una tercera parte) – Representantes de los usuarios del Canal del Dique :
 - Pescadores
 - Agricultores
 - Camaroneros
 - Navegantes
 - Puerto de Cartagena
- 1/3 (una tercera parte) – Representantes de las colectividades locales :
 - Alcaldía de Cartagena
 - Alcaldes ribereños del Canal del Dique
 - Departamentos de Sucre, Bolívar y del Atlántico
- 1/3 (una tercera parte) – Representantes del Estado :
 - CORMAGDALENA
 - CARDIQUE
 - Ministerio del medio ambiente
 - Ministerio de transporte

4.2.2 Misiones

Las misiones de la “agencia del canal del Dique” podrían ser las siguientes:

- Restaurar y mantener los medios acuáticos,
- Gestionar los recursos en aguas superficiales y subterráneas,
- Mejorar la calidad del agua para el abastecimiento en agua potable,
- Ayudar al tratamiento de los efluentes al nivel de las colectividades,
- Luchar contra las poluciones industriales, agrícolas y urbanas.
- Monitorear el sistema
- Promover el desarrollo sostenible y la apropiación de los problemas por los ribereños

Una de las prioridades de este organismo será la elaboración de un plan de manejo de agua al nivel regional.

4.2.3 Plan de manejo de agua

En el plan de manejo de agua, deberán ser definidos:

- Todos los usos vinculados al canal del Dique: pesca, navegación, agricultura, agua potable, etc.
- Las necesidades en términos cuantitativos y cualitativos de cada grupo de usuarios.
- Las reglas de gestión de los caños secundarios del canal del Dique. En particular :
 - o Las conexiones entre el canal del Dique y las distintas ciénagas,
 - o El nivel óptimo de las orillas para permitir un desborde adecuado del canal hacia las ciénagas. Una pequeña nivelación de ciertas orillas será posible si se revela necesaria.
 - o Los bombeos de alimentación de las ciénagas desde el canal del Dique.
- Si se construye una obra de regulación de caudal: el modo de gestión de las compuertas.
- Las orientaciones de gestión en lo que refiere a la mejora de los usos: tratamiento de aguas, agricultura y pesca sostenible, etc.

El plan de manejo de agua y la gestión de las obras confirman la necesidad de elaborar un proceso de monitoreo a partir de indicadores pertinentes.

4.2.4 Gestión de las obras de regulación de caudal y de la esclusa

Compuertas:

Una vez las reglas generales de la regulación por las compuertas estén definidas adentro del plan de manejo de agua, la gestión ejecutiva y el mantenimiento de la obras podrían ser a cargo de CARDIQUE o de CORMAGDALENA, ya que el último tiene competencia en manejo de obras.

El manejo y el mantenimiento de las compuertas y de la esclusa deberían ser hechos por la misma entidad.

Para que pueda optimizar esa gestión, el organismo de gestión deberá disponer en el sitio de un equipo capaz de:

- **Organizar el programa de gestión con los actores**
- **Analizar los datos** de concentración sólida y de calidad de agua, más arriba en el río Magdalena y detectar los picos de concentración. Se necesita previamente la instalación de una red de mediciones de sedimentos y de calidad del agua, por lo menos entre Barranca Bermeja y Calamar.
- **Modelar y simular el comportamiento hidráulico y ambiental del sistema** en función del manejo de las compuertas. Para eso, el equipo dispondrá de un modelo hidráulico y de calidad del agua adecuado, así como de un modelo de previsión de caudal del río Magdalena.
- **Manejar las compuertas**, adentro de reglas de gestión bien definidas,
- **Asegurar el mantenimiento de la obra.**

5 MEDIO AMBIENTE: Estimación de incidencias

5.1 Metodología.

5.1.1 Principio

Tomando en cuenta el tiempo disponible y el nivel de conocimiento de los datos de entrada, el objetivo no consiste en realizar un estudio de impactos sino un análisis somero de las incidencias producidas por las obras planteadas sobre el canal del Dique en el marco de este proyecto.

El desarrollo de este análisis es el siguiente:

- Síntesis del estado actual con un apoyo científico local.
- Definición de factores ambientales (§ 5.1.3), y de sus condiciones de satisfacción actual y futura.
- Identificar las incidencias potenciales de las obras, en principio como elementos cualitativos en el marco del equipo multi-disciplinario del proyecto. Se intentará representar las incidencias mediante recursos variados: esquemas, gráficos, tablas, además del texto pertinente.
- Se efectuará una visualización de impactos por superposición cartográfica, lo que permitirá evaluar la amplitud geográfica de los mismos, así como el tipo de recursos afectados.
- Se resumirán los impactos en forma de Tabla.

De acuerdo con el nivel de información y las características de las obras surge la calificación de las incidencias de la manera siguiente: degradada, aceptable o buena.

5.1.2 Limites de la metodología

Las informaciones provienen de la bibliografía y de los datos suministrados por la Universidad Nacional de Colombia.

Los niveles de información son un aspecto fundamental para el análisis de las incidencias del proyecto. Los niveles estimados por cada tema son ilustrados en la tabla siguiente:

Temas	Nivel de información			Observación
	escaso	general	preciso	
<i>Hidrología-hidráulica</i>				Falta una visión precisa de las condiciones de desborde de la ciénagas y de los aportes de los afluentes
<i>Agua para consumo domestico</i>				
<i>Agua para riego</i>				
<i>Calidad ecológica de las ciénagas</i>				Índice limnológico confirmar por seguimientos suplementarios
<i>Cuña salina</i>				Faltan informaciones de la influencia de la cuña salina sobre la camaronicultura, los manglares
<i>Migración de los peces</i>				Conocimiento débil del fenómeno de migración
<i>equilibrio fluviomorfológico</i>				Balance de la suspensión a mejorar
<i>Sedimentación</i>				<ul style="list-style-type: none"> - Falta una visión precisa de la sedimentación de las ciénagas - Faltan mediciones de picos concentración en el río Magdalena. - Conocimiento general débil : Dinámica de playas, corrientes marinos, sedimentación.
<i>Economía y usos locales</i>				

Tabla 4 : información de los diferentes componentes ambientales

Considerando el insuficiente conocimiento del estado ambiental actual, este análisis de las incidencias debe ser considerado como intermedio y evolutivo, en función de los estudios complementarios de corto y mediano plazo que serán necesarias en el marco del plan de manejo de agua.

5.1.3 Incidencias del proyecto

A. Incidencias hidráulicas

Las incidencias esenciales provienen de la regulación del canal del canal del Dique. Las capacidades de regulación de la obra son las siguientes:

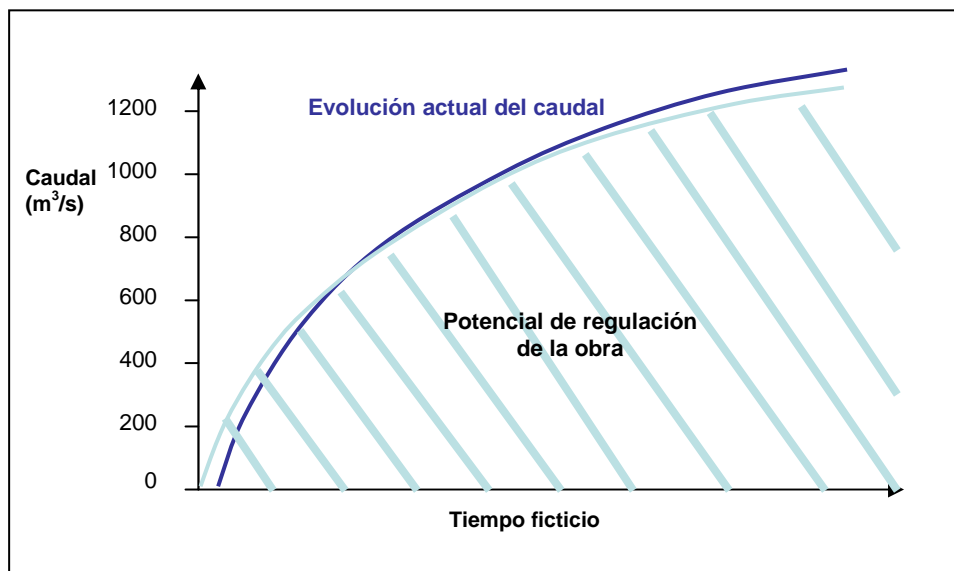


Figura 15 : Capacidad de regulación de las compuertas en Calamar

Se puede observar la amplia capacidad de regulación a favor de un manejo del agua y sobre todo de caudal sólido. Es posible reducir el caudal según los objetivos deseados entre el estiaje y hasta cualquier caudal, o de dejar el caudal total en las mismas condiciones que actualmente.

Nótese que:

- Las condiciones del estiaje son mejoradas por la solución de proyecto gracias a la profundización inicial,
- Para los caudales muy fuertes ($1000\text{ m}^3/\text{s}$ y más), la estructura introduce una muy ligera pérdida de carga (por ejemplo, un caudal de $1200\text{ m}^3/\text{s}$ podría ser reducido a $1150\text{ m}^3/\text{s}$).

La figura siguiente permite ilustrar algunos escenarios posibles de regulación.

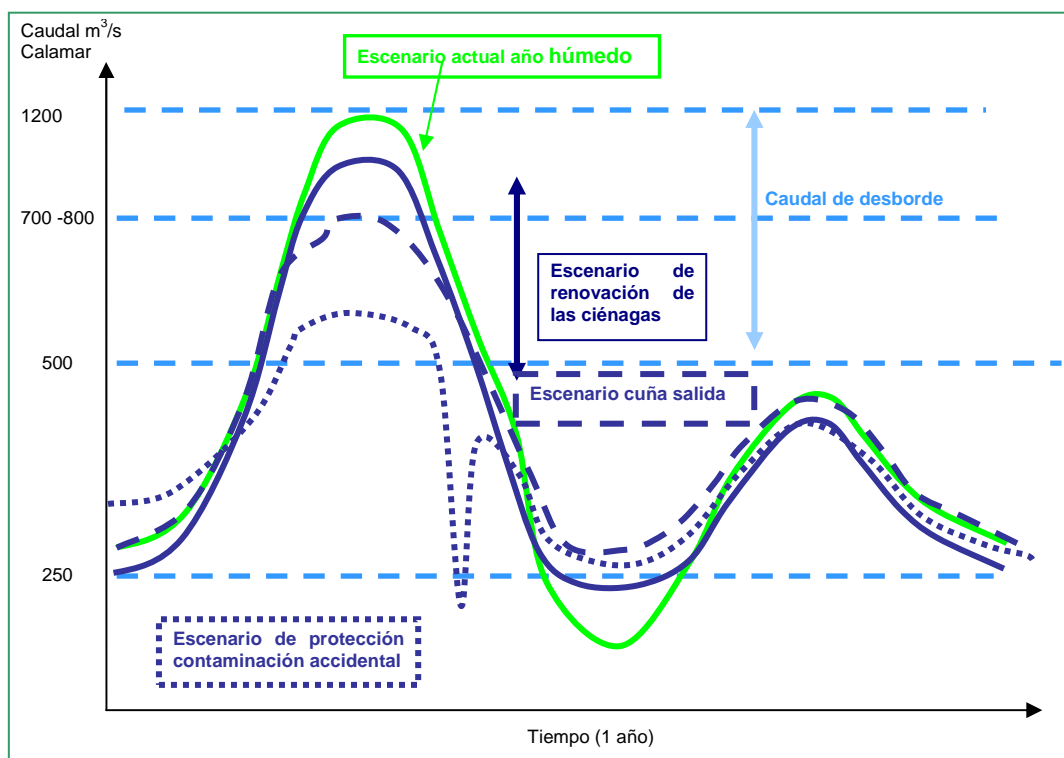


Figura 16 : Ilustración de los escenarios posibles de regulación

Un ejemplo de gestión de las obras esta presentado en el §3.3.2

B. Incidencias ambientales: definición de factores ambientales

La primera etapa del análisis ambiental consiste en definir cuales son los factores ambientales que puedan definir el estado del sistema ecológico y socio-económico del canal del Dique. A la luz de los datos existentes (datos socio-económicos y ambientales, resolución 0249 del año 2004) y después de una concertación con Cormagdalena, 9 factores fundamentales fueron definidos para estimar la situación actual y los impactos del proyecto:

1. La disponibilidad del agua para el consumo domestico,
2. La disponibilidad del agua para el riego,
3. La calidad ecológica de las ciénagas,
4. La cuña salina,
5. Las migraciones de los peces,
6. El equilibrio fluviomorfológico del canal del Dique y del río Magdalena,
7. La sedimentación inducida por el canal del Dique (hacia la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas, el mar, las ciénagas, los caños secundarios, el canal principal),
8. Las actividades socio-económicas de la región y la gestión de los usos,
9. Las otras zonas de interés ecológico (manglares, mar)

Para cada una de esos factores, se debe definir cuales son las condiciones necesarias al buen funcionamiento del sistema.

Si esas condiciones no son cumplidas, se debe entonces proponer una mitigación que permita suprimir o, si no es posible, disminuir el impacto correspondiente.

5.2 Factores ambientales fundamentales

5.2.1 Disponibilidad del agua para el consumo domestico

El canal del Dique es la principal fuente de abastecimiento de acueductos de varios municipios como: San Cristóbal, Soplaviento, San Estanislao, Santa Rosa, Villanueva, Mahates y Cartagena por ejemplo.

La tabla siguiente resume los consumos actuales por acueductos municipales¹.

Acueducto	Consumo (l/s)
<i>San Cristóbal</i>	10
<i>Soplaviento, San Estanislao, Santa Rosa, Villanueva (acueducto regional)</i>	67
<i>Mahates</i>	15
<i>Arjona, Turbaco, Turbana (acueducto regional)</i>	187
<i>Cartagena</i>	2500
Total	2779

Tabla 5 : Consumos de agua potable por acueductos municipales

El consumo actual en agua potable por acueducto es de aproximadamente 2800 l/s o sea 2.8 m³/s.

Sin embargo, la cobertura actual es imperfecta (entre 50 y 90% para la población urbana, entre 0 y 90 % para la población rural²). En el hipótesis muy conservador que 50% de la población no tiene acceso al agua potable por acueducto y con la tasa de crecimiento de la población prevista por el DANE en 1999 en esa región de 16% hasta 2015, llegamos a una necesidad máxima en agua de 6.5 m³/s en 2015 por el consumo domestico.

Finalmente, se confirma que con los hipótesis más conservadores, la necesidad en consumo domestico a medio y largo plazo desde el canal del Dique no alcanza los 10 m³/s.

Criterio aceptado:

Necesidad en agua para el consumo domestico < 10 m³/s
--

¹ Fuente: CARDIQUE – Plan de acción trianual 2001-2003, p36

² Fuente : Canal del Dique – Plan de restauración ambiental (1ª etapa)- Ediciones Uninorte, p22

5.2.2 Disponibilidad del agua para el riego

Diferentes distritos de riego existen en el área de influencia del canal del Dique (ver Figura 18 : Mapa de síntesis de la situación ambiental actual). Estos distritos utilizan directamente el agua del río Magdalena y del canal o además de las ciénagas. La tabla siguiente sintetiza las características de los principales distritos.

Distrito	Area (ha)	Abastecimiento	Caudal bombeado m ³ /s
Sur	37000	Bombeo en el río Magdalena	4.8
		Compuertas en el río Magdalena	6x15
Embalse Guajaro	10000	Bombeo en el Canal del Dique	30
Repelón	3800	Bombeo en el embalse de Guájaro	5
San Estanislao	4800	Ciénaga la Luisa (via CD)	3
Maria la Baja	19400	Embalses arroyo Grande y arroyo Matuya	-
Conejos (proyecto)	4500	Ciénaga Juan Gomez (via CD)	-
Total Canal del Dique			33

Tabla 6 : Caudales de los distritos de riego

Así, el caudal máximo bombeado en el canal del Dique para el riego es del orden de 33 m³/s. Si se considera que la necesidad en agua para el riego llegando por gravedad del canal del Dique es del mismo orden de tamaño, llegamos, con hipótesis conservadores, a una necesidad total en caudal para el riego desde el canal del Dique (bombeo + gravedad) de aproximadamente 60 m³/s.

Criterio aceptado:

Necesidad en agua para el riego \approx 60 m³/s
--

5.2.3 Calidad ecológica de las ciénagas

A. Introducción

Una ciénaga es un sistema de acumulación de sedimentos que sigue ahora una evolución llevando a su llenado progresivo hasta, a largo plazo, su desaparición. Esa evolución depende de la importancia de los aportes de sedimentos procediendo del canal en crecida, así que de los aportes de la cuenca vertiente, a menudo amplificadas por las actividades humanas.

Durante las crecidas, los flujos de materias sólidas transportadas por las aguas del canal se acumulan para constituir una carga almacenada en las aguas mismas o en los sedimentos de las ciénagas. A esa carga endógena se añade una carga exógena en procedencia de la cuenca vertiente. Al curso del tiempo, la carga endógena de las ciénagas aumenta. El enriquecimiento del medio es pues progresivo e inexorable, tomando en cuenta la dinámica actual del sistema.

Los intercambios entre el agua y los sedimentos conducen, aparte de periodos de crecida, a mantener en el agua una carga nutritiva importante, lo que explica las degradaciones de la biodiversidad y de los distintos usos vinculados a las ciénagas. Por ejemplo, las proliferaciones vegetales son una reacción sintomática del medio acuático a un exceso de nutrientes. El Jacinto de agua es en efecto muy abundante, y produce una materia vegetal que puede ser parcialmente exportada aguas abajo durante una crecida del canal, o integrar el compartimiento sedimentario.

La crecida del canal produce, por un efecto “empujador”, la dilución temporal de las cargas nutritivas en el agua, así que una exportación parcial de materia (en solución y en suspensión). Se trata pues solamente de una mejora temporal. En cuanto termine la crecida, los aportes de la cuenca vertiente y los sedimentos restablecen progresivamente la fertilidad del agua con sus inconvenientes. Convendría sin embargo tener un mejor conocimiento de las condiciones de renovación de las ciénagas en términos de caudal del canal del Dique, de duración y de temporada.

La ambición de acentuar la frecuencia de renovación de las aguas es pues una alternativa que esconde el **origen de la contaminación** procediendo de la cuenca vertiente, así que de la carga nutritiva de los sedimentos.

Trabajar en la fuente del problema, reduciendo por ejemplo los aportes de la cuenca vertiente y exportando la vegetación (y valorización agrícola) puede revelarse una solución de restauración de las ciénagas a largo plazo. Convendría profundizar en esa perspectiva.

B. Calidad ecológica de las ciénagas vinculadas al canal del Dique

La Universidad Nacional de Colombia determina la calidad ecológica de las ciénagas en función de un índice limnológico “parcial” basado en 6 parámetros físico-químicos (datos colectados entre 1984 y 2006) y un parámetro hidráulico.

Este índice no toma en cuenta el compartimiento sedimentario, y los datos disponibles varían en función de las ciénagas, en particular en términos de información biológica.

Los valores de este índice traducen 4 estados limnológicos, a saber: ideal, adecuado, aceptable y crítico.

El análisis de este índice muestra que las ciénagas son en mayoría en un estado aceptable. Tres ciénagas están en un estado crítico (ver Figura 18 : Mapa de síntesis de la situación ambiental actual).

Ciénaga	Área (km ²)	Caudal del canal de desborde (m ³ /s)	Índice limnológico actual (según UN ³)
Los Negros	10 ⁽²⁾	No conectada al CD	
Jobo	10 ⁽¹⁾	~ 850	
Guájaro	100 ⁽¹⁾	~ 850	
Capote	32 ⁽¹⁾	~ 850	
Tupe	3 ⁽²⁾	Entre 700 y 850	
La Luisa	3 ⁽¹⁾	Entre 700 y 850	
Matuya	7 ⁽¹⁾	Entre 700 y 850	
Aguas claras	8 ⁽¹⁾	Entre 700 y 850	
Maria la Baja	40 ⁽¹⁾	La ciénaga alimenta al canal	
Juan Gómez	9 ⁽¹⁾	~ 600	
La Honda	8 ⁽²⁾	~ 600	
La Palotal	8 ⁽²⁾	~ 600	
Total	230		

(1) UNINORTE (2) estimación aproximativa



estado crítico



estado aceptable

Tabla 7 : Estado limnológico de las ciénagas

La ciénaga « Los Negros » esta muy deteriorada según la Universidad Nacional, debido a la falta de conexión con un curso de agua (canal o río). La restauración del canal viejo podría ser una solución de mejora.

Las 3 ciénagas de la tercera parte “alta” del canal (Jobo, Guájaro y Capote) son realimentada por desborde del canal del Dique por caudales superiores a 850 m³/s. Esos

³ Gabriel Pinilla: Estado limnológico de las ciénagas_oct_06.ppt

desbordes no suceden durante los años secos. Un sistema de bombeo permite sin embargo alimentar el embalse de Guájaro desde el canal del Dique.

El embalse de Guájaro era una pequeña ciénaga antes del funcionamiento del sistema hidráulico a favor de la irrigación, que le confiere un funcionamiento artificial. La conductividad es alta, probablemente por causa de capas geológicas salinas.

En la parte “media” del canal, las aguas de desborde se escurren paralelamente al canal. Las aguas decantan lentamente, lo que induce que las aguas sean claras en las ciénagas de destinación, como lo atesta el nombre de la ciénaga de « Aguas Claras ». El caudal de desborde es también del orden de 700 a 850 m³/s en la situación actual aunque los niveles de las ciénagas sean mucho más bajos. Esos desbordes se pueden mejorar por la nivelación optimizada de las orillas del canal del Dique.

En periodo seco, el curso aguas abajo es ampliamente alimentado por el caudal en procedencia de la ciénaga de Maria la Baja. Esa ciénaga es de buena calidad ecológica.

La parte “baja” es influenciada en parte por las aguas marinas, en función de la hidrología del canal. Esa situación puede explicar el estado crítico de las ciénagas “La Honda” y “La Palotal”. El caudal necesario para permitir los desbordes en la parte baja del canal del Dique es del Orden de 600 m³/s.

Así, la necesidad en caudal para permitir la alimentación por desborde de las ciénagas del orden de 850 m³/s.

Para cada una de esos desbordes, la duración estimada como necesaria, según los criterios de la Universidad Nacional, es de 2 aproximadamente meses.

Criterio aceptado:

Caudal necesario para la alimentación por desborde de las ciénagas:

Tramo alto ≈ 850 m³/s durante 2 aprox. meses
Tramo medio ≈ Entre 700 y 850 m³/s durante 2 aprox. meses
Tramo bajo ≈ 600 m³/s durante 2 aprox. meses

5.2.4 Cuña salina

Según campañas realizadas por la Unidad de Estudios Fluviales – Buque Explorador entre 1990 y 1992, en el estuario del canal del Dique hay un fenómeno de cuña salina.

La cuña salina presenta una estratificación muy alta con un gradiente positivo de la concentración desde el fondo hacia la superficie del agua por razón de diferencia de densidad y de mezcla de las aguas.

Las mediciones en periodo de fuerte estiaje del río Magdalena y del Canal del Dique (20 y 23 de marzo de 1992: $Q_{\text{Magdalena}} \approx 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{\text{Dique_Incora}} \approx 100 \text{ m}^3/\text{s}$) dan los resultados siguientes:

- Por un valor de salinidad de 30 por mil (a proximidad del fondo), la cuña salina avanza 4 km
- Por un valor de salinidad de 1 por mil (a proximidad del espejo de agua), la cuña salina avanza 8km, hasta alrededor del K-107, en cercanías de la boca del caño Lequerica⁴.

Así, aun en las peores situaciones de estiaje del canal del Dique, la cuña salina no alcanza la ciénaga crítica de Juan Gómez, fuente de agua potable para la ciudad de Cartagena.

Finalmente, para evitar la agravación del remonte de la cuña salina, es imprescindible no agravar los estiajes: dejar las compuertas totalmente abiertas cuando el caudal del canal del Dique en Incora pasa debajo de los $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Criterio aceptado:

No agravar el estiaje: compuertas 100% abiertas por $Q_{\text{Incora}} < 200 \text{ m}^3/\text{s}$

⁴Fuente : Canal del Dique – Plan de restauración ambiental (1ª etapa)- Ediciones Uninorte, p119

5.2.5 Migraciones de los peces

La migración de los peces es un fenómeno instintivo de desplazamiento de hábitat con el fin de cumplir funciones vitales tales como la reproducción por ejemplo.

En el caso del sistema Magdalena, se observan dos fases de migración, la **subienda** y la **bajanza**.

La primera, la “subienda”, se inicia entre febrero y marzo y corresponde al principio del periodo de lluvia. Esta primera migración es la más importante por el hecho de la sequía y del estiaje precedentes. Esa época corresponde al estiaje anual generalmente más severo del río Magdalena, y por consiguiente las compuertas estarán la mayor parte del tiempo totalmente abiertas y dejarán pasar libremente los peces.

La segunda “subienda”, entre julio y septiembre, es menos intensiva, y interese otras generaciones de especies. El estiaje correspondiente a esa época es menos intensivo, y las compuertas serán probablemente parcialmente cerradas durante esos meses.

Durante estos periodos de subienda, las poblaciones de peces, estimuladas por los cambios de nivel del agua juntos con las variaciones de calidad de la misma, se concentran e inician una migración masiva y escalonada aguas arriba: salen de las ciénagas y siguen un desplazamiento en sentido contrario a la corriente, buscando aguas más frías, claras y oxigenadas en el Medio Magdalena.

Los animales sexualmente maduros efectúan la reproducción en el lecho menor del Magdalena y se inicia el desarrollo de los huevos y de las larvas, las cuales migran aguas abajo hacia el Bajo Magdalena y entran a las ciénagas, que son los criaderos naturales de esta zona para la gran mayoría de estas especies. Este fenómeno corresponde a la “bajanza”.

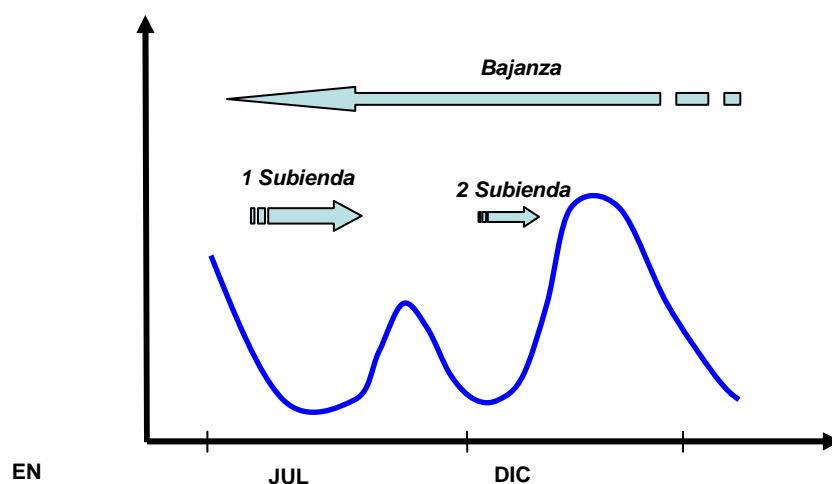


Figura 17 : Migraciones de los peces

Las informaciones científicas señalan que la migración piscícola concierne 13 especies cuyas algunas son de gran interés económico (bocachico, bagre, ..).

En resumen, una interrupción de la migración longitudinal y una dificultad de migración lateral entre el lecho menor y los cuerpos de aguas tienen una incidencia muy fuerte sobre el reclutamiento piscícola anual.

Criterio aceptado:

- Respetar un ciclo hidrológico,
- Mejorar la comunicación entre canal y ciénagas,
- Permitir la comunicación entre el canal del Dique y el río Magdalena

5.2.6 Equilibrio fluviomorfológico

El equilibrio fluviomorfológico del sistema constituido por el conjunto “Río Magdalena - Canal del Dique – Ciénagas” es de primera importancia. En la situación actual, este equilibrio corresponde a los datos promedios siguientes de caudal sólido y de caudal líquido:

Río Magdalena en Calamar:

- Caudal Promedio: 7200 m³/s
- Caudal sólido promedio: 135 Millones de Ton./año

Canal del Dique en Incora (Km7):

- Caudal promedio: 530 m³/s
- Caudal sólido promedio: 8.6 Millones de Ton./año

El transporte sólido de un río depende básicamente de las condiciones del escurrimiento líquido: velocidad para el arrastre, caudal y concentración para la suspensión. Por eso, para conservar el equilibrio fluviomorfológico del río, es esencial conservar la misma proporción entre transporte sólido y caudal líquido.

Al contrario:

- Si se reduce el caudal sólido sin reducción del caudal líquido, el río va a restablecer el equilibrio fluviomorfológico tomando los materiales sólidos en el lecho y en las orillas: problemas de erosión.
- Si se aumenta el caudal sólido sin aumento del caudal líquido, el río va a depositar la carga que no puede transportar, lo que creará zonas de sedimentos.

Criterio aceptado:

Reducir el caudal sólido en correspondencia con la reducción del caudal líquido
--

Eso permite conservar el equilibrio fluviomorfológico y limitar los depósitos y fenómenos de erosión en el canal del Dique así como en el río Magdalena.

5.2.7 Sedimentación

El problema de sedimentación es esencial en el análisis de la situación actual. El principal efecto negativo de la rectificación y ampliación del canal del año 1984 consiste en el aumento de materiales sólidos que transporta el canal del Dique.

En la situación actual (sin tomar en cuenta los dragados), 8.6 Millones de Toneladas de sedimentos por año que entran en el canal del Dique, y se depositan según las condiciones promedias siguientes:

- En las ciénagas y los canales: 3.4 M T/año ($\approx 40\%$)
- En la Bahía de Cartagena: 1.9 M T/año ($\approx 22\%$)
- En la Bahía de Barbacoas (caños Lequerica y Matunilla): 2.1 M T/año ($\approx 24\%$)
- En el Mar (caño Correa): 1.1 M T/año ($\approx 13\%$)

Los dragados efectuados anualmente por Cormagdalena (1.2 M T/año) para mantener las condiciones de navegación en el canal del Dique permiten reducir un poco (aprox. 15%) esos fenómenos de sedimentación.

Esas cantidades se acumulan y llevan progresivamente al llenado y a la desaparición progresiva de los cuerpos de agua (Bahía de Cartagena, Bahía de Barbacoas, ciénagas). La situación es ya estimada como crítica para la Bahía de Cartagena, lo que motivo el estudio de restauración del canal del Dique (ver Figura 18 : Mapa de síntesis de la situación ambiental actual).

Sin embargo, la construcción de una obra destinada en primer lugar a disminuir la sedimentación en la Bahía de Cartagena, no deberá agravar las condiciones de sedimentación en los otros cuerpos de agua: Bahía de Barbacoas, mar, ciénagas, río Magdalena

Criterios aceptados:

- 1. Reducir substancialmente la sedimentación en la Bahía de Cartagena (50% o más)**
- 2. No aumentar la sedimentación hacia los otros cuerpos de agua: Bahía de Barbacoas, Ciénagas, Mar, río Magdalena.**

5.2.8 Actividades socio-económicas y gestión de los usos

Los recursos hídricos del área del Canal del Dique constituyen el marco de las actividades económicas de las poblaciones locales (sea ~ 1 500 000 personas incluido Cartagena).

La tabla siguiente traduce las principales actividades económicas⁵.

Usos del suelo	Superficies (%)	Actividad económica	Características
<i>Ganadería</i>	51	Ganadería	352 000 ha y 500 000 cabezas
<i>Agricultura</i>	7	Agricultura	70 000 ha
<i>Bosques</i>	1	Selvicultura	sobre explotación y deterioro de manglares
<i>Área</i>	1.5	Camarones	7000 a 9000 T/ año exportación
<i>Preservación El Corchal</i>	< 1		
<i>Otros</i>	40	Pesca	2500 pescadores
-	-	Minería	-
-	-	Turismo	-
-	-	Transporte fluvial	-

Tabla 8 : Actividades económicas alrededor del canal del Dique

La ganadería corresponde a la actividad dominante en términos de ocupación del suelo (~ 50 %) y se explota de manera extensiva o semi-extensiva.

La agricultura ocupa alrededor de 10 % del área del canal del Dique, esta actividad queda de tipo artesanal para el autoconsumo. Con 70 000 ha, 50 % son cultivos transitorios (arroz, maíz, sorgo,...) y 50 % cultivos permanentes (plátano, tabaco, palma,...) (CEER-2006).

Selvicultura explota los manglares para producir leña y madera de construcción. Esa actividad genera el deterioro por sobre-explotación de este ecosistema.

Acuicultura de camarones permite la producción de 7 000 a 9 000 T/año sobre todo un producto de exportación. La literatura indica 4 zonas importantes de producción de camarones y señala también una contaminación del hábitat y del agua.

La pesca reagrupa alrededor de 2500 pescadores que realizan una actividad artesanal sobre todo de subsistencia y en algunos casos de comercialización.

10 especies constituyen la base de la producción pesquera. No se respecta una talla mínima de captura. Este practica con el deterioro del medio natural conduce a la precariedad de este actividad.

Existe localmente un sistema de producción pesquera en jaulas flotante: actualmente se identifica más de 40 jaulas.

⁵ Fuentes: Uninorte 2001, CEER-Cartagena 1998 & 2006

Minería

Esta actividad concierne esencialmente la producción de materiales de construcción. 82 canteras están identificadas (CEER 2006).

Transporte

El eje del río Magdalena es el principal eje económico de Colombia. Los principales centros de transformación industrial y de consumo están localizados lejos en el interior de las tierras, a Bogotá y Medellín. Numerosas materias primas son transportadas a lo largo de este eje fluvial desde los puertos de Barranquilla y sobretodo de Cartagena. Barrancabermeja y Tamalameque, dos puertos fluviales del Magdalena exportan petróleo y carbón hacia los puertos marítimos. Esos dos usos representan ahora la mayoría del transporte fluvial actual (70%).

El canal del Dique es la vía navegable principal de transporte entre Cartagena y el interior del país. En el periodo 2000-2004, la carga transportada por el canal del Dique alcanza alrededor 1 700 000 T/año o sea el 85% de la carga del río Magdalena. La profundidad del canal del Dique (1.8m en promedio) es muy inferior a la de la parte aguas arriba del río Magdalena, entre Barrancabermeja y Calamar. Así, de un punto de vista de la navegabilidad, y en las condiciones actuales, ese canal constituye el principal cuello de botella del eje fluvial del río Magdalena.

El cerramiento del canal marítimo al puerto de Cartagena por los sedimentos llegando por el canal del Dique constituiría un impacto catastrófico para la economía de la región.

Turismo

En Colombia la participación del sector turístico en el PIB es débil en comparación de otros países del Caribe. Sin embargo existe un potencial y un patrimonio muy rico.

La ciudad de Cartagena es un centro turístico esencial al nivel del área del canal del Dique y también de Colombia.

Otros centros de interés turísticos se ubican en el sector del Canal del Dique, podrían participar al desarrollo del ecoturismo: por ejemplo, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, el santuario de fauna y flora El Corchal.

En el Magdalena, existen proyectos de ferry turístico de una capacidad de 70 personas y de muelles Flotantes para movimiento de pasajeros y el ecoturismo (CORMAGDALENA 2005). Ese proyecto se desarrolla esencialmente en el área del canal y de Cartagena.

Criterio aceptado:

Plan de manejo de agua y medios de aplicación de los objetivos

5.2.9 Otras zonas de interés ecológico

A. Los manglares

Los manglares son considerados como los ecosistemas más productivos, sin embargo esta productividad depende de equilibrios físicos y químicos, lo que explica la diversidad de manglares y sus diferentes modos de adaptación.

Los manglares presentan una tolerancia a la salinidad, al nivel de oxígeno, a la naturaleza de los sedimentos.... Sin embargo, el mangle queda un ecosistema frágil.

Los manglares en el área del Canal del Dique dan refugio a especies amenazadas de extinción o en curso de rarefacción, y constituyen un área de preservación del patrimonio genético (subespecies endémicas regionales). Los manglares son una fuente importante de bienes y servicios

Según un informe de la Universidad del Norte, el delta de canal del Dique y el litoral de las bahías cuentan alrededor de 70 000 ha de Bosque de manglar cuyos 60 % (4800 ha) se ubican en el delta del canal del Dique y la bahía de Barbacoas.

El manglar se observa principalmente en 3 zonas, a saber (Universidad Nacional):

- Las ciénagas Juan Gómez, Palotal y la Honda,
- Los caños de Matunilla y Lequerica,
- La bahía de Barbacoas

Las alteraciones observadas sobre los manglares provienen de:

- La tala a favor de producción de madera o para permitir la extensión agrícola o la urbanización,
- La obstrucción de los flujos líquidos y sólidos que modifican los equilibrios físicos y químicos que produce problemas de hipersalinidad,
- La contaminación del agua

La bibliografía consultada no precisa la evolución actual de la diversidad et de la superficie de estos ecosistemas. El convenio RAMSAR signado por Colombia incluye la conservación y el manejo de manglar. Colombia dispone igualmente de 2 resoluciones en favor de la protección de los manglares.

Dos sitios, el parque forestal y zoológico "Cacique Dulio (420 ha)" y el santuario de fauna y flora El Corchal "El MONO HERNADEZ (~ 38 km²)" contribuyen a la preservación de los manglares. La particularidad del bosque de corcho es que se desarrolla en zonas pantanosas de agua dulce.

Criterio aceptado:

<p>Mantener los equilibrios físicos y químicos de los manglares Plan de manejo y medios de aplicación de los objetivos</p>
--

B. Mar, bahías, islas y arrecifes

Según el estudio de la Universidad del Norte (2001), los aportes líquidos y sólidos del canal del Dique y también de las zonas urbanas inducen una débil transparencia del agua de las bahías y una estratificación del oxígeno disuelto (débil concentración al fondo) particularmente durante el período húmedo (fuerte caudal y vientos débiles).

La diversidad de los flujos hidrológicos, la batimetría y la latitud de la bahía permiten la presencia de los corales, ecosistemas de alta productividad y de grande interés social, económico y ecológico.

Plurales informaciones indican la mortalidad de arrecifes coralinos, las explicaciones son variables, además un estudio reciente señala el aumento de las coberturas de coral en respecto con 1989.

Sin embargo, las zonas más próximas de los flujos sólidos continentales parecen presentar las coberturas menores.

No se identifica una única causa que podría explicar la alteración de los corales en términos de áreas y de composición.

En resumen, la evolución de los corales corresponde probablemente al resultado de un complejo de varios factores tales como:

- La sedimentación, pero sin conocer suficientemente los flujos sólidos, sus distribuciones en función de las corrientes marinas,

- La deterioración física ligada a la pesca ilegal (dinamita)

- La calidad del agua y disminución de su transparencia

La preservación y restauración imponen una política ambiental en la escala de la cuenca del río Magdalena en lo que concierne la carga sólida y particularmente con un esfuerzo de lucha contra la contaminación del agua y la explotación irracional de estos recursos.

Criterio aceptado:

<p>Reducción de los flujos sólidos y contaminantes. Plan de manejo y medios de aplicación de los objetivos</p>
--

5.2.10 Resumen de las características de los factores ambientales

Los factores ambientales y los criterios adaptados para mejorarlos o asegurar los usos son resumidos en la tabla siguiente:

Factor ambiental	Criterio de no afectación o de mitigación
1. La disponibilidad del agua para el consumo domestico,	$Q_{\text{canal del Dique}}$ no reducido en periodo de estiaje (necesidad $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$)
2. La disponibilidad del agua para el riego,	$Q_{\text{canal del Dique}}$ no reducido en periodo de estiaje (necesidad $\approx 60 \text{ m}^3/\text{s}$)
3. La calidad ecológica de las ciénagas,	Tramo alto : $Q_{\text{canal del Dique}} \geq 850 \text{ m}^3/\text{s}$ durante 2 meses Tramo medio : $Q_{\text{canal del Dique}}$ entre 700 y 850 m^3/s (2 meses) Tramo bajo : $Q_{\text{canal del Dique}} \geq 600 \text{ m}^3/\text{s}$ (2 meses)
4. La cuña salina,	$Q_{\text{canal del Dique}}$ no reducido en periodo de estiaje (necesidad $Q_{\text{Incora}} \geq 100 \text{ m}^3/\text{s}$)
5. Las migraciones de los peces,	<ul style="list-style-type: none"> - Respetar un ciclo hidrológico, - Mejorar la comunicación entre canal y ciénagas, - Permitir la comunicación entre el canal del Dique y el río Magdalena.
6. El equilibrio fluviomorfológico del canal del Dique y del río Magdalena,	No alterar el equilibrio caudal sólido/caudal liquido
7. La sedimentación inducida por el canal del Dique: <ul style="list-style-type: none"> - Bahía de Cartagena, - Bahía de Barbacoas, - el mar, - las ciénagas, - los caños secundarios, - el canal principal), 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir substancialmente la sedimentación en la Bahía de Cartagena (50% o más) - No aumentar la sedimentación hacia los otros cuerpos de agua.
8. Las actividades socio-económicas de la región y la gestión de los usos,	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de un plan de manejo de agua - Puesta en aplicación para alcanzar los objetivos
9. Las otras zonas de interés ecológico (manglares, mar)	Mantener los equilibrios físicos y químicos

Tabla 9 : Resumen de los factores ambientales y criterios de no afectación

5.3 Estimación ambiental de la situación actual

La tabla de la página siguiente presenta una síntesis de la situación actual.

Factores no impactados:

La situación actual permite:

- La disponibilidad de agua para el consumo domestico,
- La disponibilidad de agua para el riego,
- El control de la cuña salina,
- El equilibrio fluviomorfológico del canal del Dique y del río Magdalena,
- El funcionamiento de las actividades socio-económicas (estado de referencia).

Factores impactados:

Los principales aspectos negativos de un punto de vista ambiental son los siguientes:

- Caudal ecológico para las ciénagas:
 - En la situación actual, el caudal que entra libremente al canal del Dique no permite cada año una renovación óptima de las aguas de todas las ciénagas. En particular, durante los años secos, la alimentación de las ciénagas del tramo alto y del tramo medio del canal del Dique es comprometida. Esa situación podría ser mejorada por una revisión de todas las conexiones entre el canal del Dique y las ciénagas: caños de interconexión, condiciones de desborde...
- Migración de los peces:
 - Por las mismas razones de fallas de las interconexiones entre ciénagas, y entre el canal y las ciénagas, los peces no están en las condiciones óptimas para su migración. Hay en particular un problema de mantenimiento de los caños de alimentación de las ciénagas que están a menudo invadidos por una vegetación densa que impide el paso del agua.
- Sedimentación:
 - El canal del Dique está transportando una cantidad muy importante de sedimentos en la condición actual. Es el **principal problema actual** para el medio ambiente. Esa situación lleva a la sedimentación progresiva de las bahías de Cartagena y de Barbacoas, y a la posible afectación de los corales de las islas del Rosario (estudios complementarios a desarrollar).
- Gestión de los usos:
 - En la situación actual, hay una falla en la gestión de los usos y de los bienes comunes vinculados a los recursos hídricos en la región del canal del Dique. Eso se manifiesta en particular por la ausencia de gestión concertada de los caños de conexión entre las ciénagas y el canal del Dique, con impactos inducidos para el estado limnológico de las ciénagas, las condiciones de pesca, etc. Ese punto se podría mejorar con la definición y la aplicación de un plan de manejo de agua en la escala socio-económica del canal del Dique.

SITUACIÓN ACTUAL			
FACTORES AMBIENTALES	CONDICIONES NECESARIAS	IMPACTOS	Nivel de conocimiento
1. Disponibilidad de agua para el consumo doméstico	El caudal mínimo para garantizar la alimentación en agua potable es inferior a 10 m3/s	El caudal mínimo del estiaje actual garantiza un volumen superior a 10 m3/s. Aceptable	Regular
2. Disponibilidad de agua para riego	El caudal mínimo para garantizar el riego es del orden de 60 m3/s	El caudal mínimo de la alternativa garantiza un volumen superior a 60 m3/s. Aceptable	Regular
3. Caudal ecológico			
<i>Tramo alto del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es de 850 m3/s durante mas de 2 meses	Renovación por desborde de las ciénagas de Jobo y Guájaro solo durante los años húmedos, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Regular
<i>Tramo central del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas del orden de 700 hasta 850 m3/s durante 2 meses	Renovación por desborde de las ciénagas del tramo medio solo durante los años húmedos, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Regular
<i>Tramo bajo del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es del orden de 600 m3/s durante 2 meses	El caudal observado en la situación actual garantiza la alimentación correcta de las ciénagas del tramo inferior. Aceptable	Regular
4. Control de la cuña salina	El caudal mínimo para impedir el remonte de la cuña salida a la ciénagas del tramo medio del canal es del orden de 100 m3/s en Incora	El caudal mínimo del estiaje actual garantiza un volumen de 100 m3/s aproximadamente. Aceptable	Regular
5. Migración de los peces			
<i>Subienda y bajanza de los peces</i>	Subienda: meses 2-3 & 7-9; Bajanza : el resto del año	Los peces pueden subir y bajar libremente Aceptable	Débil
<i>Migraciones laterales de peces</i>	Garantizar la alimentación permanente de los caños y el periodo de desborde	Algunas conexiones laterales no están mantenidas o fueron cerradas, dificultades de migraciones laterales Degradado	Débil
6. Fluviomorfología			
<i>Río Magdalena</i>	Evitar la desestabilización morfológica	Aceptable	Regular
<i>Canal del Dique</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	Débil
<i>Caños secundarios</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	Débil
7. Sedimentación			
<i>Canal y caños</i>	Disminuir la sedimentación y mantener las comunicaciones hidráulicas	Transporte sólido importante (aprox. 8.6-1.2 = 7.4 Millones de T/año) Degradado	Regular
<i>Ciénagas</i>	Disminuir la sedimentación en las ciénagas	Sedimentación regular (no un problema prioritario)	Débil
<i>Bahía de Barbacoas</i>	Reducir la alteración ecológica	Sedimentación importante (aprox.1.9 Millones de T/año) Degradado	Regular
<i>Islas del Rosario y corales</i>	Reducir la alteración ecológica	Sedimentación importante al mar (aprox.1.0 Millones de T/año) Degradado	Débil
<i>Bahía de Cartagena</i>	Disminuir o suprimir la sedimentación Perennizar el canal marítimo al puerto de Cartagena	Sedimentación importante a la bahía (aprox.1.7 Millones de T/año) Degradado	Regular
8. Actividades socio-económicas			
<i>Pesca</i>	Mantener los recursos de peces por la preservación de los ciclos biológicos	Ciclos biológicos respetados Aceptable	Débil
<i>Camaroneras</i>	Mantener la producción de camarones	No hay modificación de la calidad del agua Aceptable	Regular
<i>Ganadería</i>	Mantener los pastos	No hay modificación del uso de los suelos Aceptable	Regular
<i>Navegación</i>	Un caudal de 100 m3/s garantiza un calado mínimo para la navegación	El caudal mínimo de la alternativa garantiza un volumen superior a 100 m3/s. Aceptable	Regular
<i>Gestión de los usos</i>	Elaboración de un plan de manejo de agua	No existe un plan de manejo de agua	A desarrollar
9. Manglares	Mantener los equilibrios físicos y químicos	Aceptable	Regular

Tabla 10 : Estado ambiental de la ecoregión en la situación actual

Situación ecológica actual

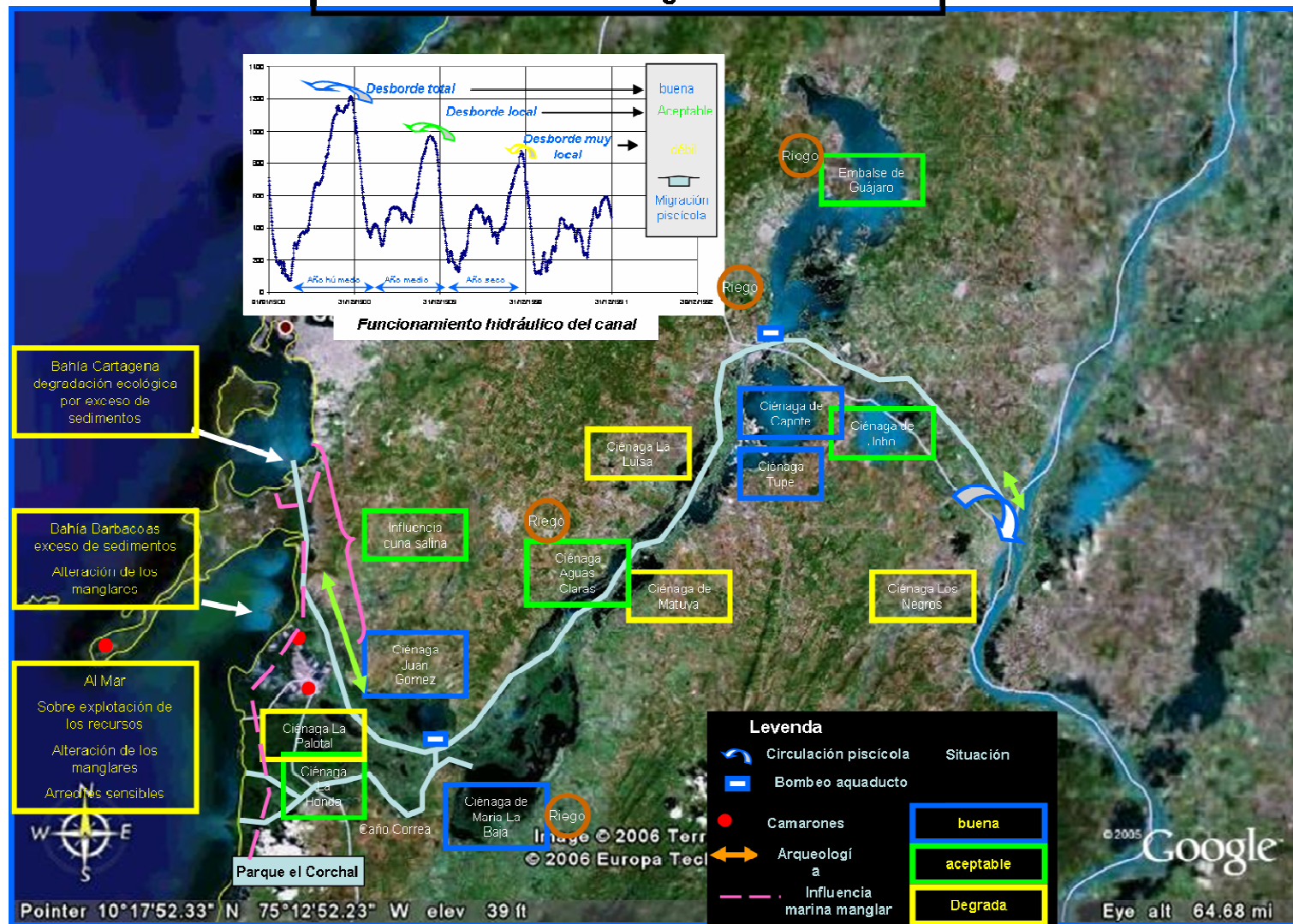


Figura 18 : Mapa de síntesis de la situación ambiental actual

5.4 Impactos ambientales del proyecto

5.4.1 Obra de regulación de caudal en Calamar

A. Principios de regulación:

Las compuertas permiten reducir el caudal líquido que entra al canal del Dique, y por consiguiente, reducir el caudal sólido que transita por el mismo. El respeto del medio ambiente y del equilibrio ecológico de la región impone naturalmente dos reglas de gestión fundamentales de las compuertas que son:

1. **Respetar el ritmo anual de fluctuación de caudal:** importante para las migraciones de los peces y para reducir las perturbaciones del ecosistema.
2. **No reducir el caudal de estiaje :** en periodo seco, se necesita la totalidad del caudal disponible (abastecimiento en agua potable, riegos, lucha contra el remonte de la cuña salada, subienda de los peces)

Un ejemplo de gestión de las compuertas está presentado en el capítulo 3.3.

B. Incidencias de la regulación sobre los usos y la economía:

A partir de las condiciones hidráulicas precedentes se pueden precisar las incidencias de la regulación sobre los usos de la manera siguiente:

Actividad económica	Caudal mínimo requerido (m ³ /s)	Caudal mínimo garantizado por la regulación (m ³ /s)	Incidencia
Agua para el consumo humano	> 10	> 100 (Incora) Estiaje natural mejorado	aceptable
Agua para el riego - agricultura	> 60	> 100 (Incora) Estiaje natural mejorado	aceptable
Cuña salida	> 100 (Incora)	> 100 (Incora) Estiaje natural mejorado	aceptable
Ganadería	-		No hay modificación significativa del uso de los suelos
Selvicultura	Conservación de los equilibrios físicos y químicos (manglares)	Sin información	Sin información
Camaronicultura	Conservación de aguas marinas	Sin información	Sin información
Ciénagas y pesca	Ver valor del caudal ecológico	> 100 Estiaje natural mejorado	Optimización de la renovación de las ciénagas, obstáculo mitigado a la migración "subienda" de los peces
Producción eléctrica	-		Buena , producción eléctrica (hasta 5500 kW) con la micro-central
Minería	-		No hay modificación significativa del uso de los suelos
Turismo	-	-	Buena en la bahía de Cartagena
Transporte fluvial	> 100	> 100 Estiaje natural mejorado Mejor calado con profundización	Buena , supresión del riesgo de sedimentación del canal marítimo al puerto de Cartagena

Tabla 11 : Incidencias de la obra de regulación sobre los usos y la economía

Para números casos, la regulación permite de satisfacer los usos. En particular, el consumo de agua, el caudal de riego y la reducción de la cuna salina no son impactados por las obras.

Hay además varios impactos positivos:

- La Navegación con 12 pies de calado todo el año gracias a la profundización del canal,
- La preservación del canal marítimo al puerto de Cartagena,
- La producción de electricidad gracias a la microcentral hidroeléctrica

C. Incidencias de la regulación sobre los aspectos sociales y culturales

La regulación no constituye una modificación de la calidad de vida si las condiciones de pesca y los recursos naturales no son afectados.

Además, un desarrollo turístico podría mejorar la diversidad actividades y en el mismo tiempo reducir el éxodo rural.

La realización de las obras es una fuente de empleo durante la fase de construcción, así como después para su explotación.

Un riesgo potencial concierne la arqueología. El informe de Uninorte (2001) señala a lo largo del canal una fuerte densidad de señalizaciones arqueológicas al nivel del tramo arriba (compuertas y esclusa Calamar) como bajo (esclusa Paricuica). En el estado actual, es difícil de definir el nivel de incidencia, el principio de precaución conduce a considerar una incidencia negativa, pero con acción de mitigación tales como estudios de investigación, este compartimiento será positivo.

D. Incidencias de la regulación sobre la ecología fluvial

Ciénagas:

En la situación de proyecto antes mitigación, el caudal que entra al canal del Dique es reducido durante los periodos de caudal medio y alto. Por lo tanto, si no se mejora el sistema de interconexiones de las ciénagas, el mantenimiento de los caños y los niveles de las orillas, ese caudal no permitirá cada año una renovación óptima de las aguas de todas las ciénagas. En particular, la alimentación de las ciénagas del tramo alto y del tramo medio del canal del Dique sería comprometida (situación de un año de hidrología media/baja).

Efectivamente, la renovación de las aguas permite la reducción del grado de degradación de la calidad del agua. ***Pero no se debe considerar que el desborde sea la única solución de restauración de las ciénagas.*** Es sobretodo importante disminuir la carga anual de contaminación de la cuenca de cada cuerpo de agua.

Nota: Esa solución fue simulada con el modelo matemático con el ejemplo de gestión definido en § 3.3. Los resultados correspondiendo a la situación de proyecto antes mitigación, están presentados en anexo 1.

Migración de los peces:

Esta reducción del desborde tiene un papel negativo sobre la circulación de los peces entre las ciénagas y el canal del Dique. No se conoce con mucha precisión las condiciones de migración de las especies piscícolas. Sin embargo, en la base de nuestros conocimientos, los impactos sobre la migración de los peces son los siguientes (*antes mitigación*):

- Primera subienda (febrero-marzo): en ese periodo de fuerte estiaje, las compuertas serán totalmente abiertas durante por lo menos un mes. El tiempo de abertura de las compuertas podrá sin embargo ser inferior al tiempo de migración de los peces. Cuando las compuertas están en parte cerradas, los peces no pueden pasar el obstáculo sin medida de mitigación.
- Secunda subienda (julio-septiembre): en ese periodo, el estiaje es menos intenso y, excepto en el caso de un año de hidrología muy débil, las compuertas estarán funcionando (parcialmente cerradas). Sin medida de mitigación, el obstáculo impediría el paso de los peces.
- La bajanza sucede de manera continua a lo largo del año. Los peces son menos molestados por la obra en el sentido arriba hacia abajo.

Manglares:

Los manglares necesitan un equilibrio de los flujos marinos y fluviales, lo que permite la regulación. Un estiaje superior en el tramo bajo va contribuir a la preservación del Corchal que necesita mas agua dulce que las otras formas de manglares. El nivel de información disponible no permite por el momento tener un mejor grado de precisión.

E. Incidencias de la regulación sobre la ecología marina

La reducción del transporte solidó a partir de la regulación va parcialmente contribuir a la disminución de la degradación del medio marino en particular de la bahía de Cartagena y también de Barbacoas. En le que concierne los corales, los sedimentos no son la única fuente de degradación. Es posible que la disminución del flujo induzca un impacto positivo pero sin reducción de los otros factores de deterioro, la situación podría quedar al mismo nivel.

Se debe insistir en lo que no se conoce suficientemente la distribución de los sedimentos por los corrientes marinos.

F. Mitigaciones

Las principales acciones de mitigación son las siguientes:

Economía y usos:

Esos factores son poco impactados. Las medidas de mitigación en favor de los peces serán también positivas para esta actividad. Estudios de arqueología, antes de realizar las obras serán medidas de protección y de mejoramiento del conocimiento.

Ecología:

Llenado de las ciénagas:

- Regular y nivelar, en función del caudal del río Magdalena y del arrastre, los terrenos entre el canal y las ciénagas de manera a mejorar el desborde.
- Localmente favorecer el caudal a partir de la restauración de caños. Sin embargo, esta medida permite un transporte sólido mas importante que la medida precedente.

Migración piscícola:

- Las mitigaciones precedentes favorecen la migración entre las ciénagas y el canal.
- La reactivación del canal viejo de las ciénagas *Los Negros* parece una alternativa interesante que permitirá también mejorar el estado de esta ciénaga.
- Una obra de franqueamiento en la orilla izquierda de las compuertas va a disminuir la incidencia sobre la migración en fase de regulación.
- La realización en la esclusa de un caudal de atracción (puertas abiertas aguas abajo) va a permitir a los peces subir aguas arriba con los barcos.
- Se puede también proponer hacer funcionar regularmente la esclusa para los peces, como se hace en el río Ródano para la Alosa ('Alosa alosa').

El plan de manejo de agua, con los estudios y los diferentes seguimientos constituirá una medida de mitigación muy importante.

El balance de las incidencias con las medidas de mitigación es ilustrado por la tabla 12 y la figura 19.

OBRAS DE REGULACIÓN DE CAUDAL EN CALAMAR						
FACTORES AMBIENTALES	CONDICIONES NECESARIAS	IMPACTOS	MITIGACIÓN O COMPENSACIÓN		IMPACTOS CON MITIGACIÓN O COMPENSACIÓN	Nivel de conocimiento
			Necesidad Incluido	Descripción		
1. Disponibilidad de agua para el consumo doméstico	El caudal mínimo para garantizar la alimentación en agua potable es inferior a 10 m3/s	El caudal mínimo de la alternativa es muy superior a 10 m3/s. Aceptable	N o		ídem	Regular
2. Disponibilidad de agua para riego	El caudal mínimo para garantizar el riego es del orden de 60 m3/s	El caudal mínimo de la alternativa es superior a 60 m3/s. Aceptable	N o		ídem	Regular
3. Caudal ecológico						
<i>Tramo alto del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es de 850 m3/s durante mas de 2 meses	Reducción del Renovación por desborde de las ciénagas de Jobo y Guájaro, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria, bombeos para el embalse del Guájaro	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
<i>Tramo central del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas del orden de 700 hasta 850 m3/s durante 2 meses	Reducción del Renovación por desborde de las ciénagas de La Luisa, Matuya, Aguas Claras, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
<i>Tramo bajo del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es del orden de 600 m3/s durante 2 meses	Reducción de la Renovación por desborde de las ciénagas Palotal y del sistema Carabalí la Cruz, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
4. Control de la cuña salina	El caudal mínimo para impedir el remonte de la cuña salida a la ciénagas del tramo medio del canal es del orden de 100 m3/s en Incora	El caudal mínimo del estiaje actual, no modificado por las obras, garantiza un volumen de 100 m3/s aproximadamente. Aceptable	N o		ídem	Regular
5. Migración de los peces						
<i>Subienda y bajanza de los peces</i>	Subienda: meses 2-3 & 7-9; Bajanza : el resto del año	Reducción de del segundo periodo anual de subienda (meses 7-9) Degradado	Si	Escalera para peces, caudal de atracción en la esclusa y eventualmente conexión del caño viejo	Si Disminución del impacto, un ligero impacto negativo sigue presente	Débil
<i>Migraciones laterales de peces</i>	Garantizar la alimentación permanente de los caños y el periodo de desborde	Reducción del periodo de desborde Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mejora de las conexiones laterales	Regular
6. Fluviomorfología						
<i>Río Magdalena</i>	Evitar la desestabilización morfológica	Aceptable	N o		ídem	Regular
<i>Canal del Dique</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	N o		ídem	Débil
<i>Caños secundarios</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	N o		ídem	Débil
7. Sedimentación						
<i>Canal y caños</i>	Disminuir la sedimentación y mantener las comunicaciones hidráulicas	Disminución de 40 % de la carga total de sedimentos Bueno	N o		ídem	Regular
<i>Ciénagas</i>	Disminuir la sedimentación en las ciénagas	Disminución del transporte sólido pues reducción de la sedimentación en las ciénagas Bueno	N o		ídem	Débil
<i>Bahía de Barbacoas</i>	Reducir la alteración ecológica	Disminución de 50 % del transporte sólido Bueno	N o		ídem	Regular
<i>Islas del Rosario y corales</i>	Reducir la alteración ecológica	Disminución de 50 % del transporte sólido Bueno	N o		ídem	Débil
<i>Bahía de Cartagena</i>	Disminuir o suprimir la sedimentación Perennizar el canal marítimo al puerto de Cartagena	Disminución de 55 % del transporte sólido Bueno	N o		ídem	Regular
8. Actividades socio-económicas						
<i>Pesca</i>	Mantener los recursos de peces por la preservación de los ciclos biológicos	Reducción de del segundo periodo anual de subienda (meses 7-9) Degradado	Si	Obra de franqueamiento para los peces + caudal de atracción en la esclusa + mejoramiento de las comunicaciones laterales	Si Mejoramiento de las comunicaciones laterales y reducción de impactos sobre la subienda, un ligero impacto sigue presente	Débil
<i>Camaroneras</i>	Mantener la producción de camarones	Sin modificación de la calidad del agua Aceptable	N o		ídem	Regular
<i>Ganadería</i>	Mantener los pastos	Sin modificación del uso de los suelos Aceptable	N o		ídem	Regular
<i>Navegación</i>	Un caudal de 100 m3/s garantiza un calado mínimo para la navegación	Caudal mínimo garantizado, profundización del canal a la cota -3m garantiza un calado de 10 pies todo el año.	N o		ídem	Regular
<i>Gestión de los usos</i>	Elaboración de un plan de manejo de agua	Integración dentro del proyecto con concertación local	N o		ídem	A desarrollar
9. Manglares	Mantener los equilibrios físicos y químicos	Sin modificación de los equilibrios agua salubre/agua dulce (estiaje no reducido) Aceptable	N o		ídem	Regular

Tabla 12 : Impactos ambientales de la situación de proyecto: obras de regulación en Calamar

Incidencias ecológicas con regulación y mitigación

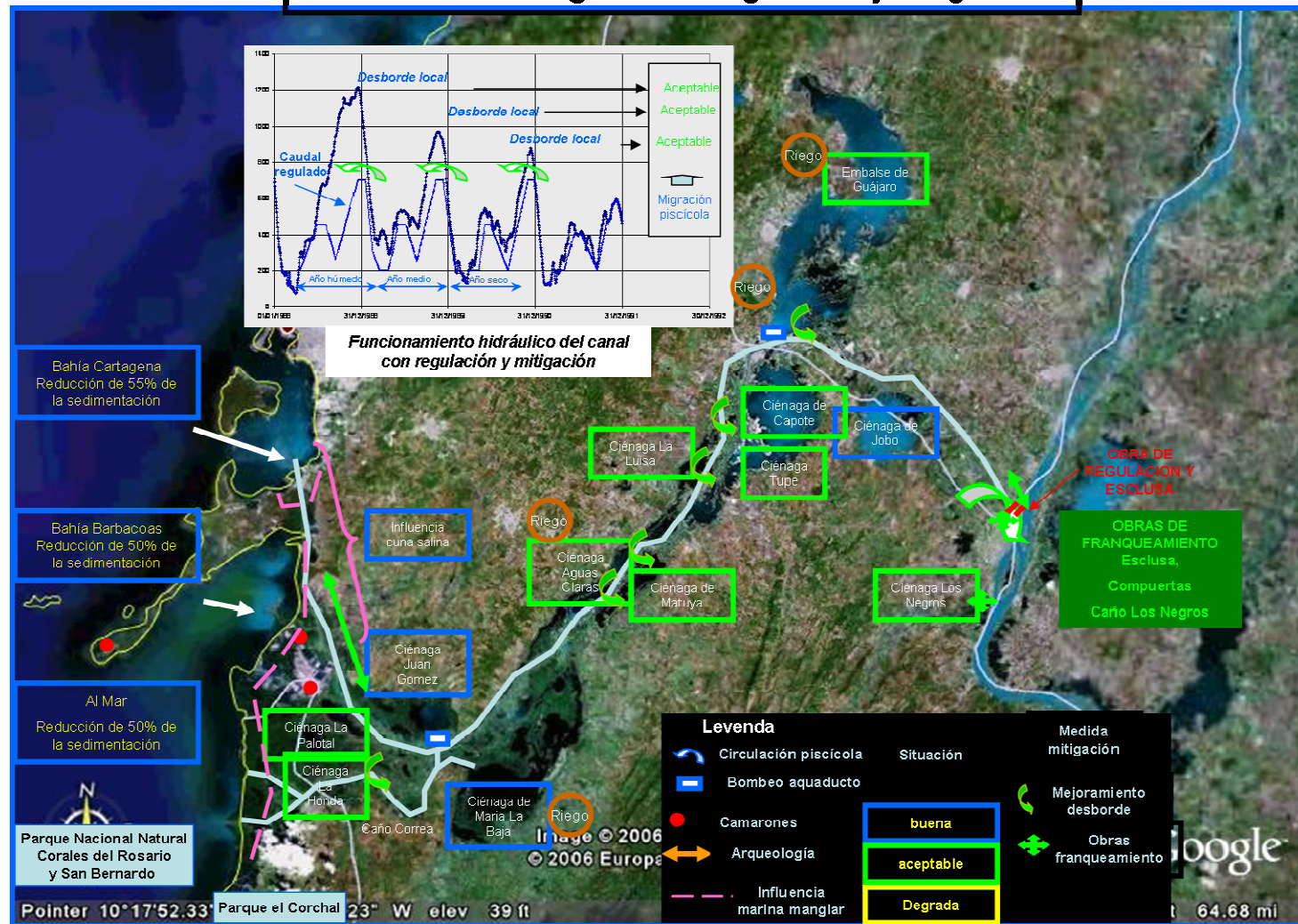


Figura 19 : Mapa de síntesis de los impactos ambientales de la situación de proyecto

5.4.2 Regulación de caudal en Calamar + Esclusa en Paricuica

A. Descripción del proyecto

La descripción del proyecto esta detallada en el § 3.2.4.

B. Incidencias hidráulicas de la esclusa de Paricuica

Las incidencias mayores son las siguientes:

- Reducción de 99 % del transporte liquido y solidó hacia la bahía de Cartagena.
- El caudal aguas arriba (regulado o no) va a transitar por los caños Correa y Matunilla, lo que corresponde a un aumento importante de sus caudales líquidos pero con una estabilización del flujo sólido con respecto a la situación actual en dirección de la bahía de Barbacoas.

Flujos (mT/ano)	Situación actual	Con regulación	Con regulación y esclusa en Paricuica
<i>Al Mar</i>	1	0.5	0.9
<i>Bahía de Barbacoas</i>	1.9	1	1.5
<i>Bahía de Cartagena</i>	1.7	0.75	0

Tabla 13 : Balance sedimentológico promedio del proyecto

El área de influencia concierne únicamente el tramo bajo del canal del Dique.

C Incidencias de la esclusa de Paricuica sobre los usos y la economía

Las incidencias del proyecto con la esclusa en Paricuica son similares a las incidencias expuestas para las obras de regulación de caudal solas. La tabla de impacto de los usos seria lo mismo.

Sólo se podría agregar un impacto negativo para el paso libre de los barcos pequeños de pescadores entre los caños Matunilla y Lequerica (demora para el paso de la esclusa). Pero se trata de un impacto débil, ya que la esclusa tendrá poca caída y se cruzará rápidamente.

El impacto para la navegación industrial también será muy débil, en comparación con el tiempo de transporte desde Barrancabermeja hasta Cartagena (30 minutos de demora máxima para 4 días de viaje). Además, podrán aprovechar la profundización del canal para cargar más sus convoyes.

D. Incidencias sobre los aspectos sociales y culturales

La regulación con esclusa en Paricuica no constituye una modificación de la calidad de vida, las condiciones de pesca y los recursos naturales no son afectados de manera suplementaria.

La realización de las obras es una fuente de empleo durante la fase de construcción.

De nuevo, un riesgo potencial concierne la arqueología. El informe de Uninorte (2001) señala a lo largo del canal una fuerte densidad de señalizaciones arqueológicas al nivel del tramo bajo. En el estado actual es difícil de definir el nivel de incidencia, el principio de precaución conduce a considerar la incidencia como negativa, pero con acción de mitigación tales como estudios de investigación, este compartimiento será positivo.

E. Incidencias sobre la ecología fluvial

La incidencia de la esclusa sobre la ecología fluvial se traduce por:

- Un aumento de los caudales de los caños Matunilla y Correa, lo que significa:
 - Modificaciones a proximidad de los caños de las condiciones hidromorfías de los suelos,
 - Modificaciones del llenado de las ciénagas del tramo bajo del Canal del Dique (La Honda, La Palotal) con eventualmente un mejor índice limnológico,
 - Una reducción de las condiciones de alta salinidad a proximidad de la desembocadura de los caños lo que significa también una incidencia positiva sobre el Corchal.
- Un corte de los flujos líquidos en agua dulce aguas debajo de la esclusa :
 - Una salinización total de la zona situada aguas abajo de Paricuica.
 - Una modificación a medio plazo del tipo de vegetación hacia especies adaptadas al medio salado.
- La esclusa corta la conexión piscícola permanente entre la bahía y el canal, esta incidencia interese únicamente algunas especies adaptadas a la variación de condiciones de salinidad.

Nota: Esa solución no fue todavía simulada con el modelo matemático, así que no se puede estimar de manera fina el impacto sobre la Índice Limnológico Parcial de cada una de las ciénagas.

F. Incidencias sobre la ecología marina

Los manglares necesitan un equilibrio de los flujos marinos y fluviales, lo que permiten la regulación. Un caudal superior en los caños va contribuir a la preservación del Corchal que necesita mas agua dulce que las otras formas de manglares.

La presencia de la esclusa no va modificar de maneja significativa el transporte sólido actual en la bahía de Barbacoas y las problemáticas sobre los corales.

También, se debe insistir en lo que no se conoce suficientemente la distribución de los sedimentos por los corrientes marinos.

G. Mitigaciones

Las principales acciones de mitigación son las siguientes:

Economía y usos:

- Los estudios de arqueología antes de realizar las obras serán una medida de protección y de mejoramiento del conocimiento.

Ecología:

- Las medidas de mitigación son las mismas que para la solución de regulación de caudal sola.

El plan de manejo de agua, con los estudios y los diferentes seguimientos constituirá una medida de mitigación muy importante.

OBRAS DE REGULACIÓN DE CAUDAL EN CALAMAR CON ESCLUSA EN PARICUICA						
FACTORES AMBIENTALES	CONDICIONES NECESARIAS	IMPACTOS	MITIGACIÓN O COMPENSACIÓN Necesidad Descripción Incluido		IMPACTOS CON MITIGACIÓN O COMPENSACIÓN	Nivel de conocimiento
1. Disponibilidad de agua para el consumo doméstico	El caudal mínimo para garantizar la alimentación en agua potable es inferior a 10 m3/s	El caudal mínimo de la alternativa es muy superior a 10 m3/s. Aceptable	No		Ídem	Regular
2. Disponibilidad de agua para riego	El caudal mínimo para garantizar el riego es del orden de 60 m3/s	El caudal mínimo de la alternativa es superior a 60 m3/s. Aceptable	No		Ídem	Regular
3. Caudal ecológico						
<i>Tramo alto del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es de 850 m3/s durante mas de 2 meses	Reducción del Renovación por desborde de las ciénagas de Jobo y Guájaro, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria, bombeos para el embalse del Guájaro	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
<i>Tramo central del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas del orden de 700 hasta 850 m3/s durante 2 meses	Reducción del Renovación por desborde de las ciénagas de La Luisa, Matuya, Aguas Claras, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
<i>Tramo bajo del canal del dique</i>	El caudal mínimo para garantizar la renovación por desborde de las ciénagas es del orden de 600 m3/s durante 2 meses	Reducción de la Renovación por desborde de las ciénagas Palotal y del sistema Carabalí la Cruz, riesgo de degradación calidad ecológica Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mantenimiento o mejora de las condiciones actuales Aceptable	Regular
4. Control de la cuña salina	El caudal mínimo para impedir el remonte de la cuña salida a la ciénagas del tramo medio del canal es del orden de 100 m3/s en Incora	El caudal mínimo del estiaje actual, no modificado por las obras, garantiza un volumen de 100 m3/s aproximadamente. Aceptable	No		Ídem	Regular
5. Migración de los peces						
<i>Subiende y bajanza de los peces</i>	Subiende: meses 2-3 & 7-9; Bajanza : el resto del año	Reducción de del segundo periodo anual de subiende (meses 7-9) Degradado	Si	Escalera para peces, caudal de atracción en la esclusa y eventualmente conexión del caño viejo	Si Disminución del impacto, un ligero impacto negativo sigue presente	Débil
<i>Migraciones laterales de peces</i>	Garantizar la alimentación permanente de los caños y el periodo de desborde	Reducción del periodo de desborde Degradado	Si	Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga y ciénaga/ciénaga por caños, nivelación de la parte superior de la orilla si necesaria	Si Mejoramiento de las conexiones laterales	
6. Fluviomorfología						
<i>Río Magdalena</i>	Evitar la desestabilización morfológica	Aceptable	No		Ídem	Regular
<i>Canal del Dique</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	No		Ídem	Débil
<i>Caños secundarios</i>	Evitar la agravación de la erosión de las orillas y de los depósitos de sedimentos	Aceptable	No		Ídem	Débil
7. Sedimentación						
<i>Canal y caños</i>	Disminuir la sedimentación y mantener las comunicaciones hidráulicas	Disminución de 40 % de la carga total de sedimentos Bueno	No		Ídem	Regular
<i>Ciénagas</i>	Disminuir la sedimentación en las ciénagas	Disminución del transporte sólido pues reducción de la sedimentación en las ciénagas Bueno	No		Ídem	Débil
<i>Bahía de Barbacoas</i>	Reducir la alteración ecológica	Reducción (aprox. 20%) de los caudales sólidos en dirección de la bahía de Barbacoas Bueno	No		Ídem	Regular
<i>Islas del Rosario y corales</i>	Reducir la alteración ecológica	Reducción de los caudales sólidos (aprox. 5%) en dirección del mar Bueno	No		Ídem	Débil
<i>Bahía de Cartagena</i>	Disminuir o suprimir la sedimentación Perennizar el canal marítimo al puerto de Cartagena	Disminución de 99 % del transporte sólido Bueno	No		Ídem	Regular
8. Actividades socio-económicas						
<i>Pesca</i>	Mantener los recursos de peces por la preservación de los ciclos biológicos	Reducción de del segundo periodo anual de subiende (meses 7-9) Degradado	Si	Obra de franqueamiento para los peces + caudal de atracción en la esclusa + mejoramiento de las comunicaciones laterales	Si Mejoramiento de las comunicaciones laterales y reducción de impactos sobre la subiende, un ligero impacto sigue presente	Débil
<i>Camaroneras</i>	Mantener la producción de camarones	Sin modificación de la calidad del agua Aceptable	No		Ídem	Regular
<i>Ganadería</i>	Mantener los pastos	Sin modificación del uso de los suelos Aceptable	No		Ídem	Regular
<i>Navegación</i>	Un caudal de 100 m3/s garantiza un calado mínimo para la navegación	Caudal mínimo garantizado, profundización del canal a la cota -3m garantiza un calado de 10 pies todo el año. Bueno	No		Ídem	Regular
<i>Gestión de los usos</i>	Elaboración de un plan de manejo de agua	Integración dentro del proyecto con concertación local Bueno	No		Ídem	A desarrollar
9. Manglares	Mantener los equilibrios físicos y químicos	Aceptable	No		Ídem	Regular

Tabla 14 : Impactos ambientales de la situación de proyecto con obras en Calamar y en Paricuica

Incidencias ecológicas con regulación mas esclusa a Paricuica y mitigación

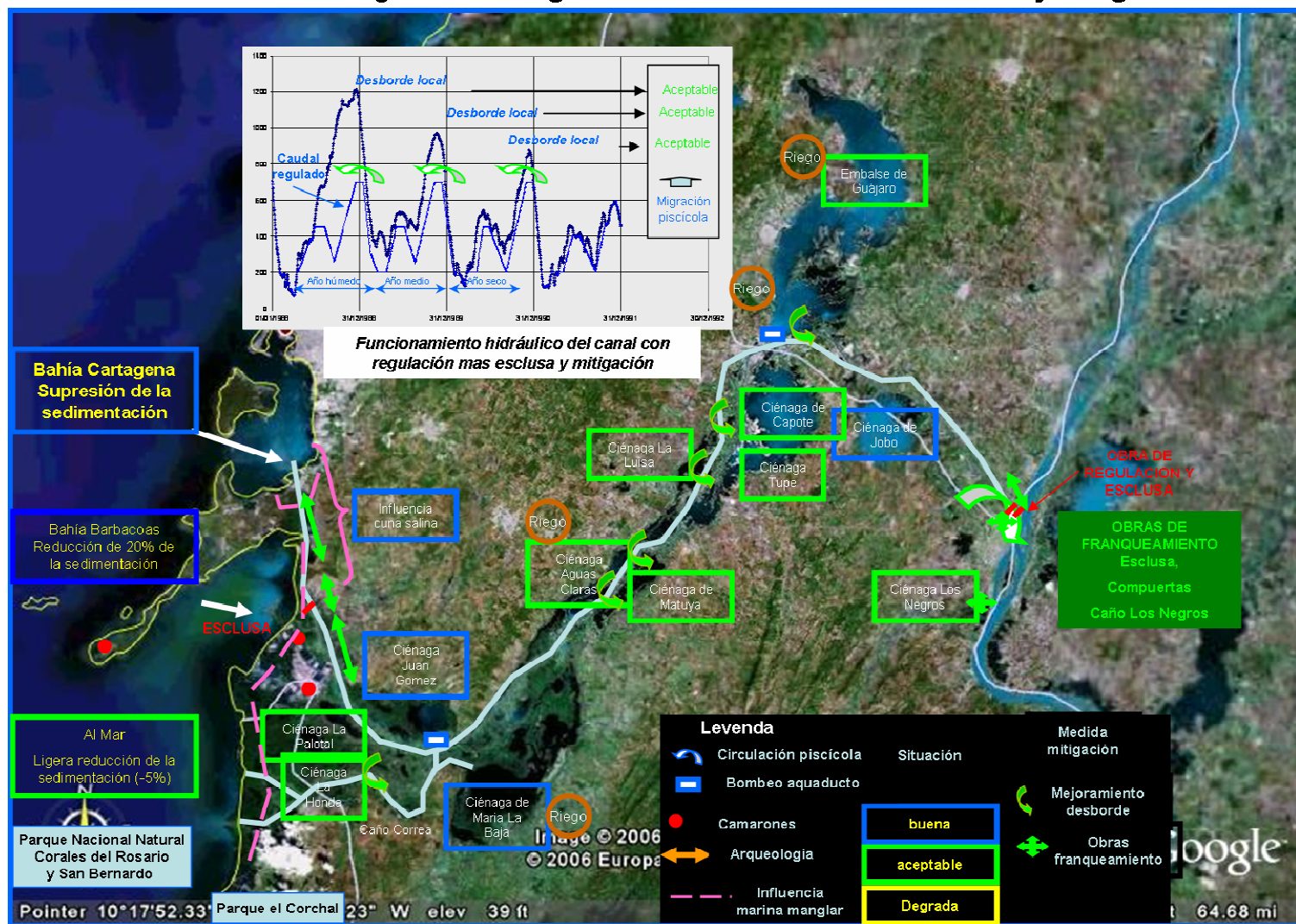


Figura 20: Mapa de síntesis de los impactos ambientales de la situación de proyecto con esclusa en Paricuica

6 REDUCCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN

6.1 Datos de Transporte sólido

La Universidad Nacional tiene un conocimiento notable del funcionamiento hidráulico y sedimentológico del Canal del Dique

El flujo de transporte sólido a lo largo del Canal puede ser resumido por la tabla siguiente (estadísticas sobre los años 1984-2000, sin dragados en el canal):

ESTACIÓN	Qs total (M Ton/año)	Qs arenas (M Ton/año)	Qs finos (M Ton/año)	Porcentaje de Qs canal
RÍO MAGDALENA				
<i>Calamar</i>	135	34	101	-
CANAL DEL DIQUE				
<i>Incora k7</i>	8.6	3.2	5.4	100%
<i>Santa Helena 1</i>	6.0	1.2	4.8	70%
<i>-Caño Correa</i>	1.1	0.1	1.0	13%
<i>Santa Helena 2</i>	4.8	1.1	3.7	56%
<i>-Caño Matunilla</i>	1.7	0.5	1.1	20%
<i>-Caño Lequerica</i>	0.4	0.08	0.3	5%
<i>Pasacaballos (Bahía de Cartagena)</i>	1.9	0.4	1.5	22%

Tabla 15 : Datos de transporte sólido

Se puede notar que 22% de la carga sólida total que entra en el canal del Dique sale por Pasacaballos y la Bahía de Cartagena. Esa carga es de aproximadamente 1.9 millones de Toneladas por año, con una proporción importante de arenas finas y muy finas (~80 %).

En efecto, hay dos tipos de sedimentos en el Río Magdalena, que entran en le Canal del Dique

- **Materiales gruesos:** modo de transporte: *arrastre* al fondo del Canal
- **Materiales finos:** modo de transporte *suspensión* en el flujo
- Los materiales gruesos se sedimentan en gran parte en los primeros kilómetros del Canal.

Los materiales finos recorren todo el Canal y se sedimentan en las Bahías de Cartagena, de Barbacoas, y en el mar, por efecto de la floculación producida por el agua salina. También, una parte de la suspensión se pierde por desborde y se sedimento en el campo o las ciénagas.

6.2 Dragados

6.2.1 Dragados actuales

Dragados	Cantidades (M. Ton./año)	Lugar de deposito de los sedimentos
Calamar (K0)	0.6	Río Magdalena
K30	0.15	Zona de deposito, cerca del canal del Dique
Pasacaballos (Bahía de Cartagena)	0.45	En la Bahía de Cartagena

Tabla 16 : Dragados actuales

En la situación actual, Cormagdalena draga aproximadamente 1.2 Millones de Toneladas de sedimentos a lo largo del Canal del Dique. Esos dragados permiten mantener la navegación con un calado suficiente todo el año.

Además de asegurar la navegación, los dragados tienen un efecto de reducción de la carga sólida del canal, y por consecuencia, de reducción de la carga que llega en la Bahía de Cartagena. Así, de los 0.75 M Ton/año que se dragan en la parte superior del Canal, se puede estimar que 22% o sea aproximadamente 0.165 M Ton/año, eran destinadas a sedimentar en la Bahía de Cartagena.

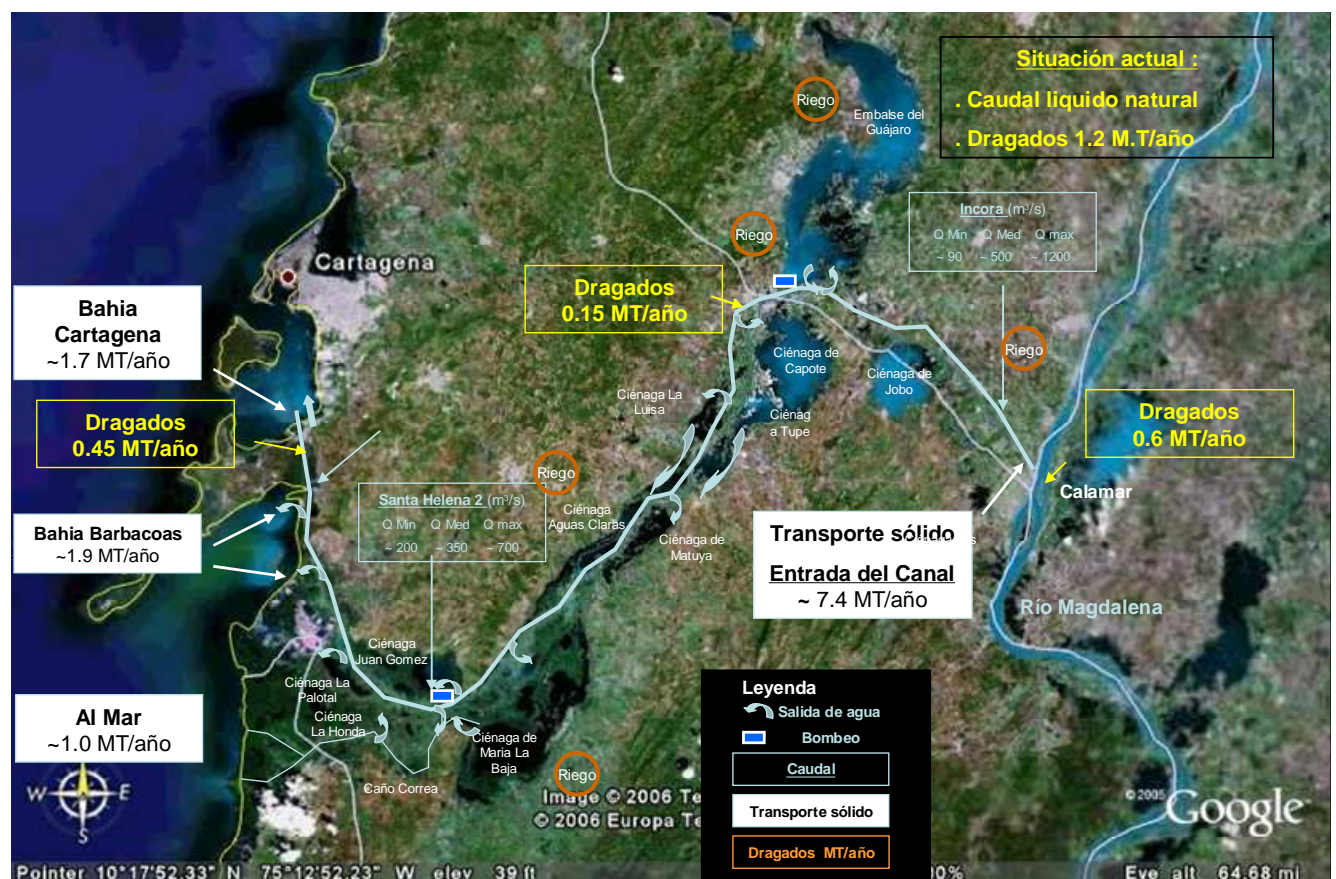


Figura 21 : Mapa de síntesis de los dragados actuales

De la misma manera, los dragados de Pasacaballos corresponden a una carga sólida que convendría restar de la carga sólida total llegando a Cartagena. Pero, en la situación actual, esos sedimentos son depositados más lejos en la Bahía de Cartagena, así que no se pueden tomar en cuenta para la reducción de sedimentos.

Finalmente, son aproximadamente 1.73 M Ton/año de sedimentos que transitan por el canal del Dique hasta la Bahía de Cartagena.

El mapa precedente resume la situación actual del canal del Dique en términos de flujo, líquido, de flujo sólido y de dragados.

6.2.2 Dragados de mantenimiento del proyecto

Después de la construcción de las obras de regulación de caudal en la entrada del Canal, los dragados de mantenimiento serán disminuidos del mismo orden que la reducción de transporte sólido en Calamar. Con las hipótesis simuladas (ver Capítulo 3.3.2), corresponde a una disminución de aproximadamente 35% (aprox. 50% con la reducción de los picos de concentración):

El proyecto prevé la realización de los dragados siguientes (la mitad de los dragados actuales:

Dragados del proyecto	Cantidades (M. Ton./año)	Lugar de deposito de los sedimentos
<i>Calamar (K0)</i>	0.3	Río Magdalena
<i>K30</i>	0.075	Zona de deposito, cerca del canal del Dique
<i>Pasacaballos (Bahía de Cartagena)</i>	0.225	En el mar

Tabla 17 : Dragados de mantenimiento del proyecto

En la situación del proyecto, la cantidad de dragados requeridos para la navegación sería del orden de 0.6 Millones de Toneladas de sedimentos por año a lo largo del Canal del Dique.

Además, los sedimentos de los dragados de Pasacaballos serían enviados afuera de la Bahía de Cartagena, en el mar. Eso tiene un costo mayor, pero permite restar 0.225 Millones Toneladas de lo que llega a la Bahía.

Finalmente, en el marco del proyecto, además de la carga sólida ahorrada por reducción del caudal líquido que entra en la Bahía de Cartagena, serían $0.375 \times 22\% + 0.225$ o sea aproximadamente **0.3 Millones de Toneladas de sedimentos por año** destinados a la Bahía de Cartagena que serán interceptados gracias a los dragados.

6.3 Reducción del caudal líquido entrando al Canal

6.3.1 Regulación del caudal: principios de gestión

Las obras de regulación permiten hacer variar, por acción de las compuertas, el caudal entrando al Canal del Dique. De un punto de vista técnico, el caudal puede ser regulado entre 0 (cerradura completa de las compuertas) y el caudal “natural” (apertura completa de las compuertas).

Sin embargo, el tipo de regulación debe ser optimizado en función de todos los usos y necesidades en agua de la región del canal del Dique. Una gestión global es necesaria.

Dos reglas de gestión esenciales ya pueden ser destacadas:

1. **Respetar el ritmo anual de fluctuación de caudal:** importante para las migraciones de los peces y para reducir las perturbaciones del ecosistema.
2. **No reducir el caudal de estiaje :** en periodo seco, se necesita la totalidad del caudal disponible (abastecimiento en agua potable, riegos, lucha contra el remonte de la cuña salada)

Además de esas reglas principales, el manejo de compuertas permite evitar el ingreso en al canal del Dique:

- a. De los picos de concentración de sedimentos,
- b. De los picos de polución

6.3.2 Reducción de los picos de concentración

Una de las posibilidades para disminuir la cantidad de transporte sólido que entra en el Canal, es de cerrar parcialmente las compuertas durante los picos de concentración en el Río Magdalena. Esta reducción será eficiente solamente para los materiales finos. Normalmente, no hay picos de arrastre.

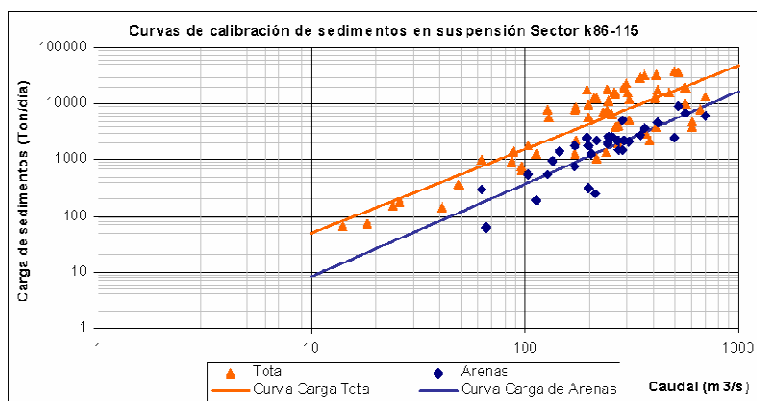


Figura 22 : Curvas de calibración de sedimentos en suspensión

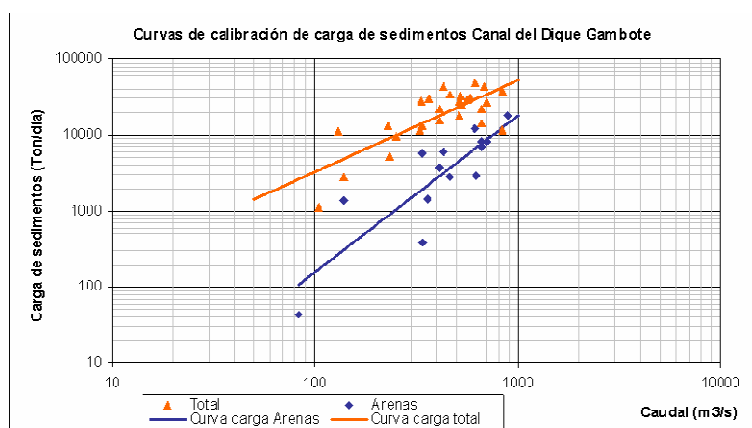


Figura 23 : Curvas de calibración de carga de sedimentos en Gambote

Estas curvas (datos UN) muestran que hay picos de concentración en el Río Magdalena, aunque una parte de la dispersión de los datos sea probablemente debida a las mediciones, especialmente por materiales gruesos.

Así, la concentración de materiales gruesos depende directamente del caudal, pero la concentración de materiales finos puede variar mucho con el caudal. Hay también variaciones grandes del transporte sólido promedio anual (factor 2 a 3) por caudales líquidos anuales parecidos (calculó UN), lo que confirma que hay picos de concentración a la largo del año.

Variaciones de las concentraciones en sedimentos finos:

El principio de gestión de las compuertas será como siguiente:

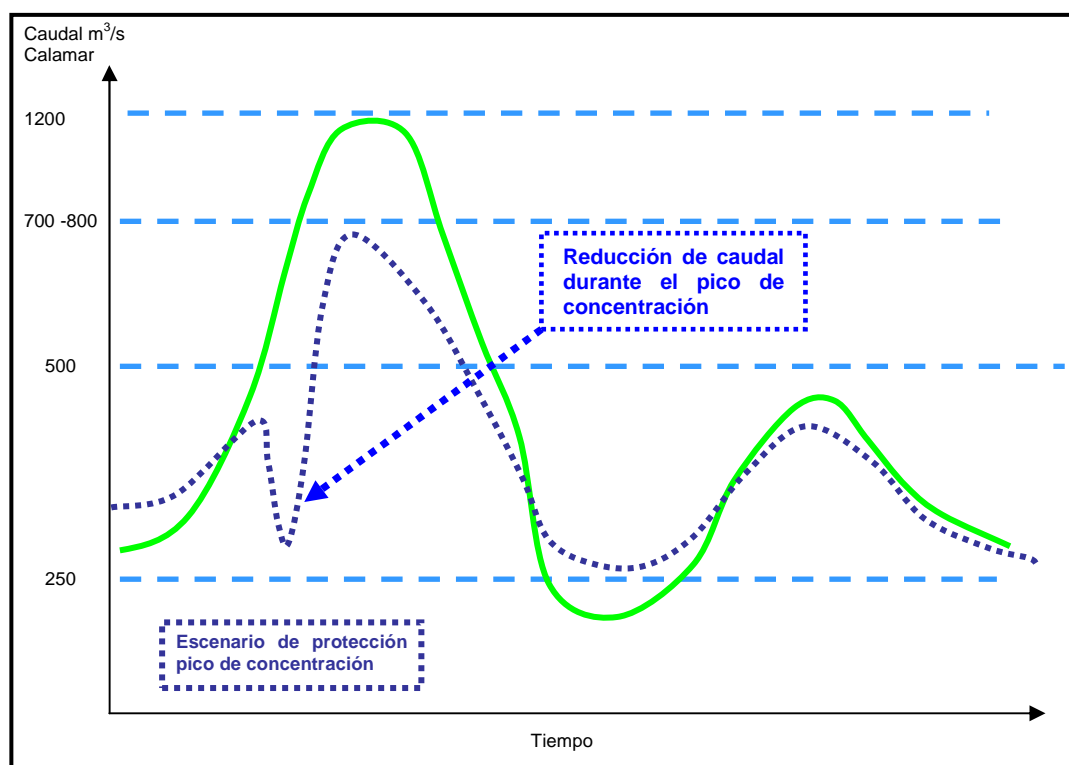


Figura 24 : Gestión de los picos de concentración de sedimentos finos

La disminución rápida del caudal es posible y no debería provocar una disminución rápida de las cotas del canal que va a vaciarse lentamente, sin corrimiento de las riberas del canal.

Se propone una detección de picos de concentración río arriba en el Magdalena. Cuando el pico llega en la entrada del Canal, se cierran parcialmente las compuertas.

Ejemplo:

El gráfico siguiente⁶ muestra las variaciones anuales de concentración en elementos finos en Gambote (promedio de 6 años, 1965-1970). Se observa un pico de la carga en elementos finos muy importante en el canal del dique del 15 de Abril al 15 de Junio con una concentración que pasa de 300 hasta más de 1000 p.p.m.

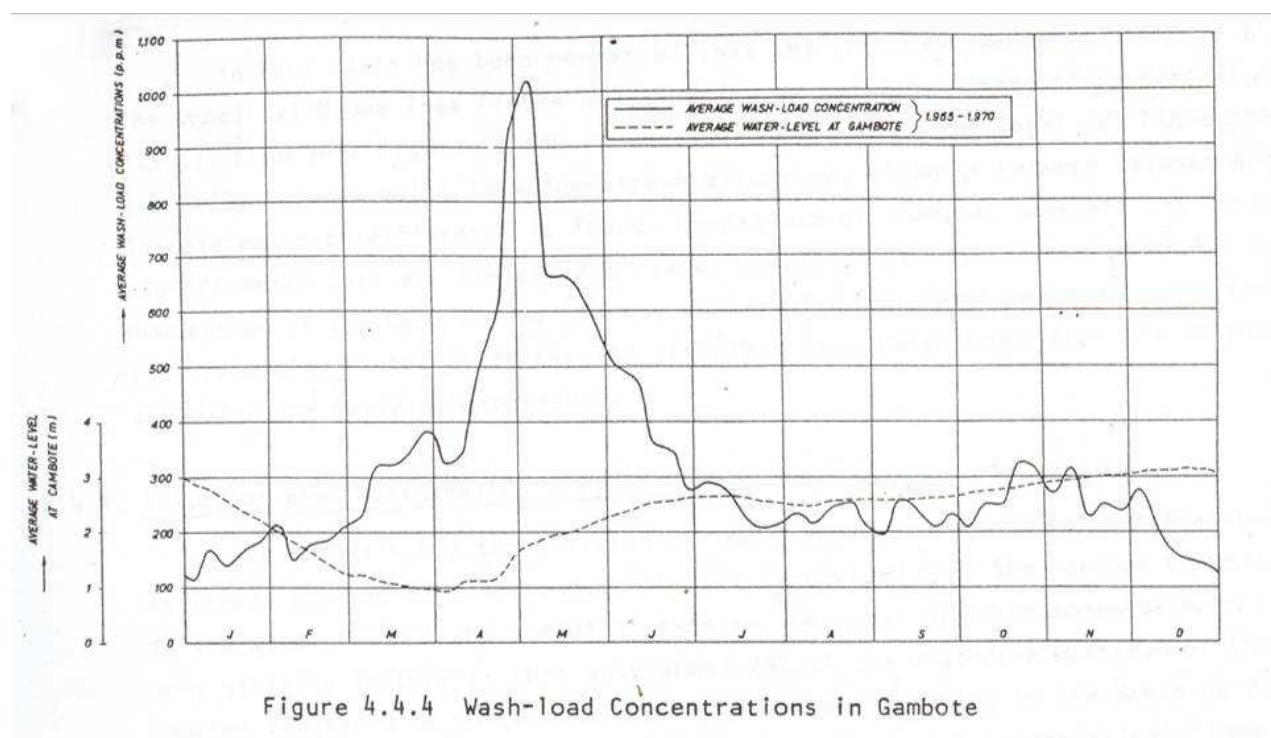


Figura 25 : Concentración en elementos finos en Gambote

Este grafico da la prueba que la reducción de caudal para picos de concentración será muy eficiente. Por ejemplo, si se reduce el caudal del canal de 600 m³/s a 200 m³/s durante solamente 15 días, se evita la entrada de 500 000 m³ de materiales finos en canal.

Se necesitaran más datos para evaluar la variación anual de la concentración en elementos finos, así como el efecto promedio de la reducción de picos de concertación. Se puede esperar una reducción adicional de 10% a 15 % de la cantidad de materiales sólidos que entran en el canal.

Un sistema de medida en tiempo real de las concentraciones de materiales en suspensión será instalado en el río Magdalena y el canal del Dique.

⁶ Fuente: Proyecto de estudio del río Magdalena y el canal del Dique. 1973. NEDECO – Países Bajos

6.3.3 Gestión de los picos de polución

La misma idea puede ser aplicada para picos de polución en Río Magdalena.

Se propone una detección de picos de polución Río arriba en el Magdalena. Cuando el pico llega en la entrada del Canal, se cierran las compuertas, y se suprime o disminuye la entrada de agua poluta en el Canal.

Por polución grave del Magdalena, sería posible cerrar completamente las compuertas en la entrada del Canal, para proteger la riqueza ambiental y las actividades humanas.

Por eso, la información de la polución debe llegar lo suficientemente temprano, para organizarse: parar la navegación, manejar el agua potable, etc.

El principio de gestión de las compuertas será el siguiente:

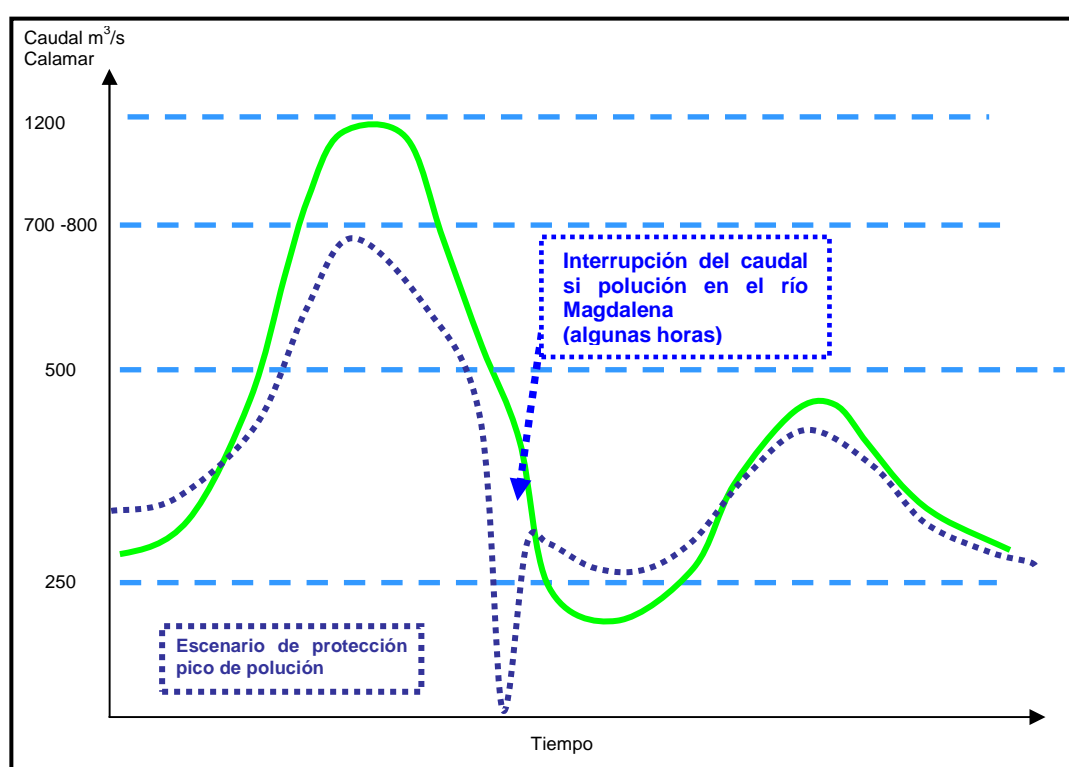


Figura 26 : ejemplo de gestión de picos de polución

6.3.4 Evaluación de la eficiencia

La tabla siguiente presenta los resultados de la solución propuesta en términos de transporte sólido para, respectivamente, el “Canal del Dique” global, la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas y el mar (por el caño Correa). Son considerados en los cálculos:

- la reducción de sedimentación por reducción de caudal en la entrada (eficiencia 35 %)
- la reducción de sedimentación por los dragados de mantenimiento,
- la reducción de sedimentación por reducción de los picos de concentración. Se estima el efecto de esas operaciones del orden de 15% suplementarios.

Tabla recapitulativa (año promedio 1988-1991):

Cantidad de sedimentos (M Ton/año)	Situación actual	Situación de proyecto 1: (Obras de regulación en Calamar)
<i>Canal del Dique</i>	6.9	3.9 (-43%)
<i>Mar (por caño Correa)</i>	0.95	0.5 (-47%)
<i>Bahía de Barbacoas</i>	1.8	0.9 (-50%)
<i>Bahía de Cartagena</i>	1.6	0.7 (-56%)

REM: las cantidades de sedimentos de la situación actual son calculadas sobre la base de los dragados actuales con una entrada de sedimentos de 8.1 M Ton/año (promedio 1988-1991) en Calamar

Tabla 18 : Eficiencia sedimentológica del proyecto1

Conclusión:

Con la solución propuesta:

- Se reduce de 40% en promedio el caudal sólido en el canal del Dique con relación a la situación actual, de 50% en la Bahía de Barbacoas y en el mar por el caño Correa,
- Se reduce de **55 % en promedio** la sedimentación en la Bahía de Cartagena,
- Hay una variación interanual importante (casi del simple al doble).

6.4 Esclusa en Paricuica (opcional)

6.4.1 Principio de la obra complementaria

El problema actual del Canal del Dique viene de la calibración que se hizo en 1984 para la navegación. La consecuencia fue una entrada demasiado grande de caudal pues de sedimentos.

Cortar el transporte de sedimentos hacia la Bahía de Cartagena

Si se construye una segunda esclusa aguas abajo en el canal del Dique, entre los caños de Matunilla y Lequerica, se podrá cortar el caudal y así suprimir completamente los aportes de sedimentos a la Bahía de Cartagena.

Nótese que se trata de una obra complementaria. Antes, se debe controlar el caudal líquido y sólido que entra en el Canal, por la obra propuesta en Calamar (Ver Capítulo 3.2.4 C).

6.4.2 Balance sedimentológico

A. Dragados de mantenimiento del proyecto

Después de la construcción de la esclusa en Paricuica se supone que la cantidad de materiales sólidos que se depositan será la misma que en la situación del proyecto ya diseñada. Sin embargo, como no hay mas flujo liquido hacia la Bahía de Cartagena, las cantidades correspondientes se van a sedimentar en los caños Correa, Matunilla, en la Bahía de Cartagena y al mar. Como no es una vía fluvial importante, se necesitará dragar menos (ahora no hay dragados en los caños Correa y Matunilla). Supongamos que se drague la tercera parte de lo que se dragaba en Pasacaballos. Llegamos a los valores siguientes:

Dragados del proyecto	Cantidades (M. Ton./año)	Lugar de deposito de los sedimentos
<i>Calamar (K0)</i>	0.3	Río Magdalena
<i>K30</i>	0.075	Zona de deposito, cerca del canal del Dique
<i>Caños Correa y Matunilla</i>	0.10	Zona de deposito a determinar

Tabla 19 : Dragados del proyecto (con esclusa Paricuica)

En la situación del proyecto con esclusa en Paricuica, la cantidad de dragados requeridos para la navegación sería del orden de 0.5 Millones de Toneladas de sedimentos por año a lo largo del Canal del Dique.

B. Balance sedimentológico

La tabla siguiente presenta los resultados de la solución propuesta en términos de transporte sólido para, respectivamente, el “Canal del Dique” global, la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas y el mar (por el caño Correa). Son considerados en los cálculos:

- la reducción de sedimentación por reducción de caudal en la entrada (eficiencia 35 %)
- la reducción de sedimentación por los dragados de mantenimiento,
- la reducción de sedimentación por reducción de los picos de concentración. Se estima el efecto de esas operaciones del orden de 15% suplementarios.

Tabla recapitulativa (año promedio 1988-1991):

Cantidad de sedimentos (M Ton/año)	Situación actual	Situación de proyecto 1: (Obras de regulación en Calamar)	Situación de proyecto 2: (Obras de regulación en Calamar + Esclusa Paricuica)
<i>Canal del Dique</i>	6.9	3.9 (-43%)	4.0 (-42%)
<i>Mar (por caño Correa)</i>	0.95	0.5 (-47%)	0.9 (-5%)
<i>Bahía de Barbacoas</i>	1.8	0.9 (-50%)	1.45 (-19%)
<i>Bahía de Cartagena</i>	1.6	0.7 (-56%)	0 (-99%)

REM: las cantidades de sedimentos de la situación actual son calculadas sobre la base de los dragados actuales con una entrada de sedimentos de 8.1 M Ton/año (promedio 1988-1991) en Calamar

Tabla 20: Eficiencia sedimentológica del proyecto2

Conclusión:

En la situación de proyecto n°2 (Obras de regulación de caudal + Esclusa Paricuica):

- Se reduce de 60% la cantidad de dragados
- Se reduce de 40% en promedio el caudal sólido en el canal del Dique con relación a la situación actual.
- **Se reduce de 99% la sedimentación en la Bahía de Cartagena,**

Y,

- Se reduce todavía de aprox. 20% la sedimentación en la Bahía de Barbacoas,
- Queda aproximadamente igual el transporte de sedimentos hacia el mar por el caño Correa.

Es decir, se suprime la totalidad del transporte sólido hacia la Bahía de Cartagena, sin aumentar el caudal sólido hacia el mar y la bahía de Barbacoas, e incluso con una ligera reducción del mismo.

7 MEJORAMIENTO DE LA NAVEGACIÓN

7.1 Dimensiones de los barcos y convoyes

Tamaño

Actualmente, se transportan en el Río Magdalena principalmente carbón, petróleos y derivados, y por menor parte granel, carga general, y contenedores.

Convoyes de carbón

La tabla 4.9 del "CANAL DEL DIQUE plan de restauración ambiental Ediciones Unínorte", pagina 31), muestra que la mayoría de los convoyes son compuestos de 6 planchones y un remolcador. Otra categoría es de 1+ 2x3 planchones (numero 26) que se podrían convertir en convoyes de 6 planchones. Al fin solamente existen 2 convoyes más grandes de 8 planchones: estas categorías no se consideraran para el diseño de la esclusa, porque se compensa por mejoramiento del calado. Finalmente se considera que un convoy de 6 planchones y un remolcador es el más adecuado actualmente y para el futuro.

- Dimensiones del convoy elegido para la esclusa
 - Longitud de un planchón 60 m
 - Manga de un planchón 12.3 m
 - Longitud de un remolcador 21 m
 - Convoyes compuestos de 6 planchones (2 en frente; 3 en longitud) y un remolcador.
- Dimensión del convoy: eslora x manga máxima = 201 m x 24.6 m

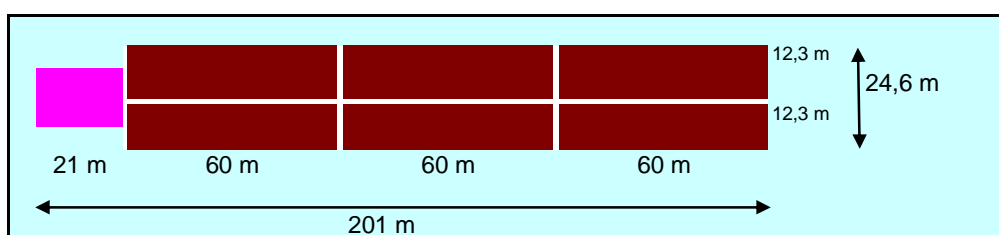


Figura 27 : Esquema de un convoy de 6 planchones

Barcos de petroleros y derivados

El tamaño de estos barcos es supuestamente menor que el tamaño de embarcaciones de carbón.

Porta contenedores

La Sociedad Portuaria Regional del Puerto de Cartagena, SPRC, en conjunto a la Armada Nacional de Colombia, ARC, ha realizado el diseño de nuevos porta contenedores para 112 contenedores de 20 pies

(7 líneas de 8 contenedores y sobre 2 pisos). Las dimensiones del porta contenedor serán:

- 60 m de longitud,
- 8.90 m de manga

El puerto de Cartagena prevé desarrollar un puerto sobre el Río Magdalena en Gamarra (a 570 km de la desembocadura), para el transporte de estos contenedores, y de transferirlos a la ruta donde se pueden encaminarse a Bogotá y Medellín.

Calado económico

Como sobre numerosos ríos del mundo, el calado mínimo económico par la flota debe ser al rededor de 10 pies ($\approx 3\text{m}$)

El espacio libre debajo de la quilla debe ser al mínimo de 2 pies ($\approx 61\text{ cm.}$) para:

- Hundimiento dinámico del barco con la velocidad
- Maniobrabilidad del barco
- Seguridad en frente de la sedimentación

El espacio debajo la quilla mejora la maniobrabilidad es decir la seguridad para los barcos. Así, la profundidad mínimo debe ser 12 pies ($= 3.66\text{ m}$)

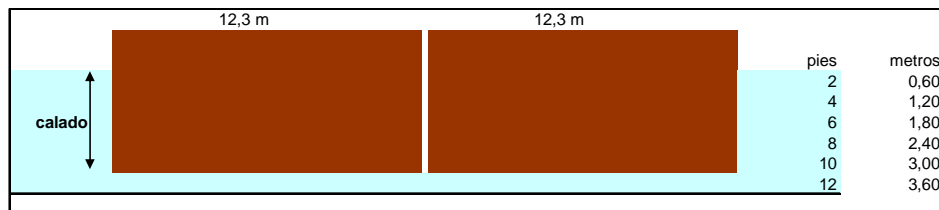


Figura 28 : Calado de los convoyes

7.2 Problemas de navegación

7.2.1 Estado actual

Calado en la entrada del Canal

El azud en la entrada del Canal del Dique esta a la cota (menos 0.5)

El nivel no baja menos que la cota (1)

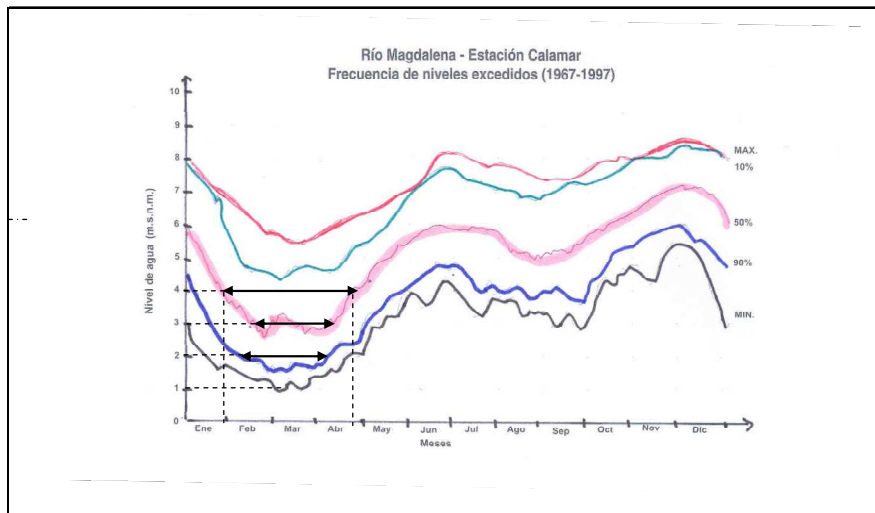


Figura 29 : Río Magdalena en Calamar: frecuencia de niveles excedidos (1967-1997)

La tabla siguiente resume el calado disponible con las hipótesis siguientes:

- Una cota del fondo de (menos 0.5)
- Un espacio libre mínimo debajo de la quilla de 0.5 m
- Una sedimentación del fondo de cero y 0.5 m

Nivel del agua	Probabilidad Nivel >	Duración al año	Calado disponible	Calado con sedimentación 0.5 m
1	100%	2 meses	1 m	0.5 m
2	90%	2 meses	2 m	1.5 m
3	50%	2 meses	3 m	2.5 m

Tabla 21 : Calado disponible en función del nivel de agua

Las estadísticas muestran que el calado es reducido en periodo de estiaje Febrero, Marzo y Abril.

Por ejemplo:

Hay 50 % de probabilidad que el calado económico de 3 m, no puedan ser encontrados durante dos meses

Hay 10% de probabilidad que el calado sea reducido a 2m durante dos meses

Con sedimentación en el primer tramo del Canal, las condiciones de calado se empeoran.

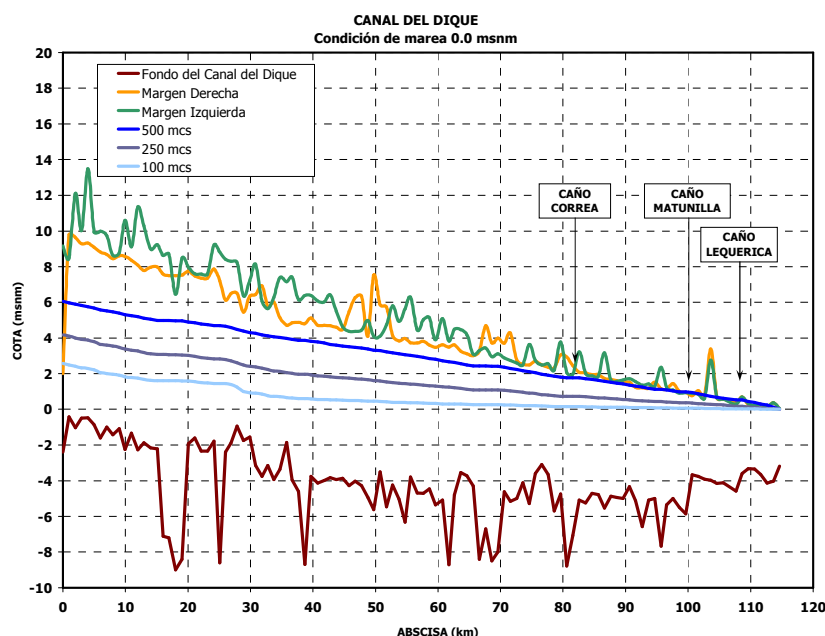


Figura 30 : Calado a lo largo del Canal

El calado reducido de 2 metros, (nivel 2 del Magdalena) se mantiene en los primeros 35 km del Canal.

El Canal aguas abajo presente un mejor calado, de 4 metros o mas,

La salida en la Bahía de Cartagena a Pasacaballos presente siempre problemas locales de calado, por floculación de los materiales finos dado al agua salina.

Otros problemas – estado actual

Los calados reducidos conducen a desventajas y riesgos para la navegación.

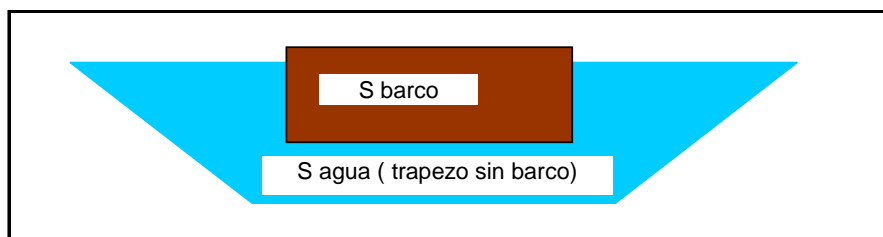


Figura 31 : Calado necesario para navegar

$$N = S \text{ agua} / S \text{ barco} \quad (S \text{ agua sin en barco})$$

Se disminuye el coeficiente N con las consecuencias siguientes:

- Velocidad limitada (azud de velocidad)
- Falta de maniobrabilidad
- Aumento del Consumo de energía

A la entrada del Canal, el coeficiente N es muy reducido al nivel mínimo ($N = 3.2$)

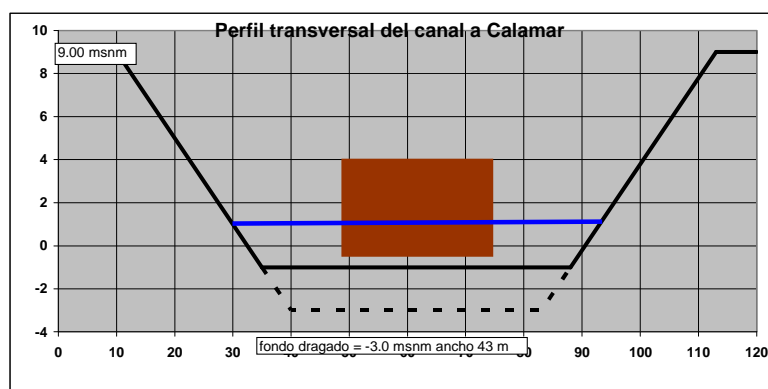


Figura 32 : Perfil transversal del canal en Calamar

Hay dos tramos débiles:

- El primer tramo del Canal donde se sedimentan materiales gruesos et por cual se necesita dragados de mantenimiento periódicos
- Pasacaballos (Bahía de Cartagena) donde se sedimentan materiales finos et por cual se necesita dragados de mantenimiento periódicos

7.2.2 Efecto del proyecto

Calado a la entrada del Canal

El proyecto prevé hacer profundización para el primer tramo del Canal a la cota (- 3m)
El nivel del Magdalena nunca baja más que la cota (1m)

Es decir que el proyecto garantiza 100% del año el calado de 3m. (Profundidad 3.5) con una seguridad de 0.5 m (sedimentación)

Calado a lo largo del Canal

Las curvas de remanso con profundización, calculadas por la UN, son las siguientes:

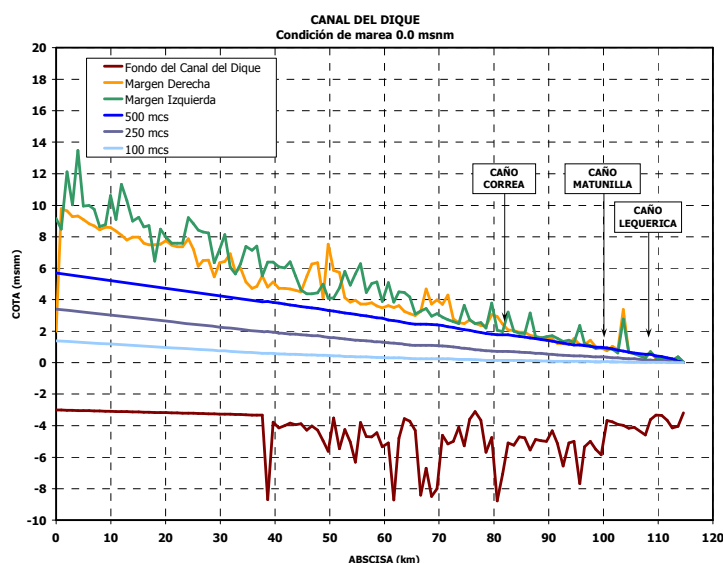


Tabla 22 : Curvas de remanso con profundización del canal del Dique

Con la profundización a la cota (menos 3) se puede ver que el calado a lo largo del Canal es más homogéneo.

Nótese que con la profundización, la profundidad es de 4 metros (calado ≈ 3.5 m posible) para un caudal de solamente $100\text{m}^3/\text{s}$.

Es decir que la solución propuesta tiene flexibilidad par la elección del caudal de base del Canal:

- Disminución del caudal hasta $100\text{m}^3/\text{s}$: disminución del calado que quedase suficiente, disminución del flujo sólido que entra en el Canal, a ser utilizado a lo menos para picos de concertación
- Aumentación del caudal, por ejemplo a $250\text{m}^3/\text{s}$ par el medio ambiente, mejorando el espacio libre sobre la quilla, o aumentando el calado y la carga de los barcos
- disminución de la profundización (cota menos 2.5 m)

Es decir también que la reducción de sedimentos por disminución del caudal entrando, calculado con un caudal de base de $250\text{m}^3/\text{s}$ puede ser mejorado.

Otros efectos positivos del proyecto

El proyecto por la profundización va a garantizar un calado de 3 m todo el año en el Canal. Esta aumentación de calado va a producir otros efectos favorables para la navegación:

Se aumenta el coeficiente $N = S_{\text{agua}} / S_{\text{barco}}$

Por consecuencia se encontraran:

- Aumentación de la velocidad aumentada por los barcos
- Disminución de consumo de energía
- Mejoramiento de la maniobrabilidad de los barcos, pues mejoramiento de la seguridad

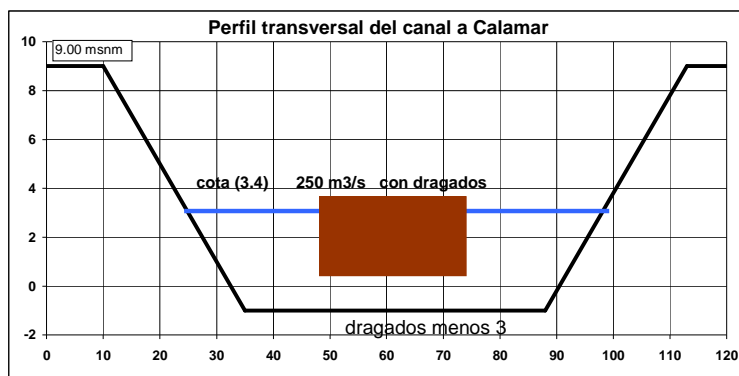


Figura 33 : Perfil transversal del canal en Calamar, con profundización

Nivel (3.4) con profundización y caudal $250 \text{ m}^3/\text{s}$, calado 3 metros

A la entrada del Canal el coeficiente N es mucho mejor ($N = 5.6$)

La supresión de las inundaciones suprimen los riesgos para los barcos que navegan.

7.2.3 Tráfico

El mercado actual de la vía fluvial del Río Magdalena se resume así en el año 2000:

2,36 millones de toneladas en el Río

Desde esta cifra, la parte de tráfico que usa el Canal del Dique es:

	Volumen (en millones de toneladas)
<i>Destino Cartagena</i>	1,85
<i>Origen Cartagena</i>	0,27
<i>Total en el Canal</i>	2,12

Tabla 23 : Transporte fluvial por el canal del Dique

Lo que represente 90% del flujo total en el Río Magdalena.

Estos datos pueden compararse con los datos de otros modos de transporte (año 2000):

Modo	Volumen (en millones de toneladas)
<i>Carretera</i>	80,77
<i>Férreo</i>	8,69
<i>Fluvial</i>	2,36

Tabla 24 : Modos de transporte y volúmenes correspondientes

El mercado actual de la vía fluvial se puede ver de un punto de distribución:

Producto	Volumen (en millones de toneladas)
<i>Hidrocarburos</i>	1,36
<i>Carbón y Minerales</i>	0,76
<i>Granel sólido</i>	0,14
<i>Carga general suelta</i>	0,09

Tabla 25 : Productos transportados por vía fluvial

En términos de embarcaciones, el transito en el Canal del Dique represente hoy en día un orden de:

- Promedio Anual de 1200 unidades (promedio diario del orden de 3 unidades)
- Tipo de Embarcaciones más frecuentes: 500 embarcaciones en formación 2x3, por año

El mercado potencial ha sido analizado, considerando que la reactivación de la navegación necesitaría inversiones en los puertos (permitiendo las interconexiones del sistema fluvial con los otros modos de transporte) y en la calibración del Río Magdalena aguas arriba de Barrancabermeja, considerando la participación del sector privado.

Se han excluido de la demanda captable hasta los años 2030, los flujos intrazonales dentro del área de influencia del Río, los movimientos de hidrocarburos que se realizan actualmente por oleoductos, y los movimientos de carbón que realiza actualmente la firma Drummond por el modo férreo.

Con estas hipótesis, se evalúa **el objetivo alcanzable hasta los 8 millones de toneladas al año 2000.**

El potencial es importante y es homogéneo a la tendencia mundial de aumento del tráfico fluvial. Además, la navegación colombiana podrá aprovecharse del proyecto regional de las nuevas esclusas de Panamá que deberían tener un impacto en el Caribe Colombiano.

8 CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS PROPUESTAS

8.1.1 Ubicación de las obras

A. Generalidades

Las principales obras a ubicar en la entrada del Canal son la esclusa, la obra de regulación, la central hidroeléctrica y la escalera para peces. Además, se propone otra esclusa en Paricuica, entre los caños Matunilla y Lequerica.

B. Datos a tomar en cuenta

Para las obras en la entrada del canal:

- Ciudad de Calamar
- Toma de agua de San Pedrito, aprox. 1000m aguas abajo de la entrada del canal del Dique en la margen izquierda del río Magdalena
- Puente de Calamar – galibo para dragas
- Topografía y geotécnica en la zona de las obras
- Obras existentes en la proximidad de la entrada del Canal (redes subterráneas y aéreas, infraestructuras de carreteras, red eléctrica,....)
- Seguridad para los barcos y las obras
- Necesidad de mantener la navegación durante la construcción de las obras

Para las obras a la salida entrada del canal principalmente:

- Necesidad de mantener la navegación durante la construcción de las obras

8.1.2 Obras en la entrada del canal - Alternativas

Diferentes soluciones son posibles para la ubicación de las obras. Hay las tres posibilidades siguientes:

- Obras agrupadas
- Obras separadas en dos canales (navegación canal arriba y caudal canal abajo)
- Obras separadas en dos canales (navegación canal abajo y caudal canal arriba)

Se elegirá la mejor alternativa en función de los criterios siguientes:

- Seguridad par la navegación, facilidad de entrada en el Canal
- Costo
- Fase de construcción garantizando la navegación durante la construcción
- Limitación de la sedimentación en la entrada
- Reconstrucción o no del puente existente
- Datos geotécnicos

A. Obras agrupadas

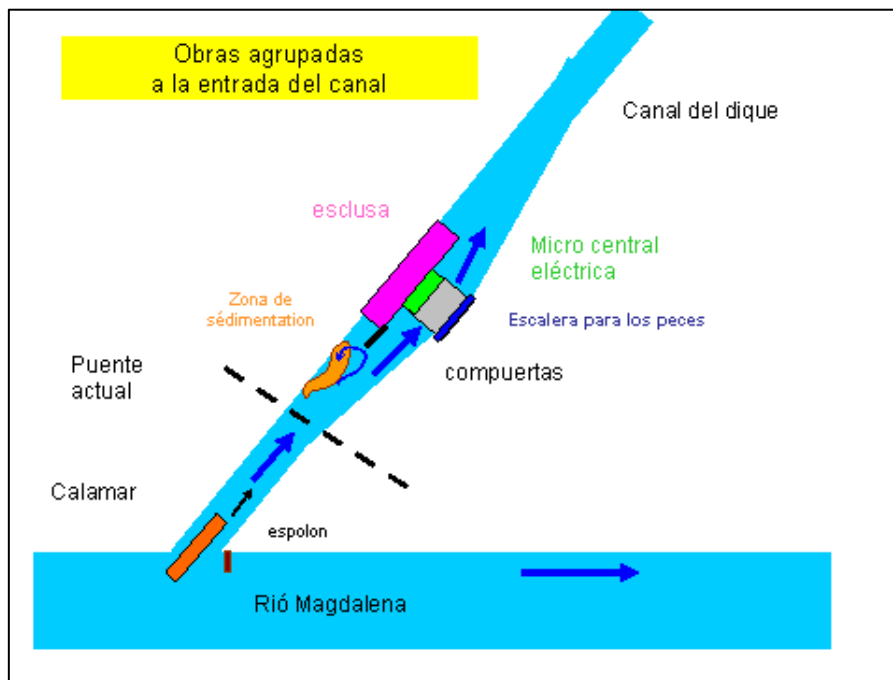


Figura 34 : Obras agrupadas en Calamar

Esta solución parece la más sencilla.

La ubicación de las obras sería la siguiente:

- La esclusa en el interior de la curva por razón de seguridad :velocidad más débil
- La obra de control de caudales del otro lado,
- La central hidroeléctrica en la mitad.

Seguridad para la navegación

Como actualmente, los barcos entrarán fácilmente en el canal a partir del río Magdalena con el flujo de la corriente. Para conservar la maniobrabilidad, los barcos andar más rápidamente que la corriente. Después, los barcos deben frenar antes de las obras y entrar en la esclusa con velocidad reducida, lo que necesita una distancia de seguridad suficiente entre la entrada del canal y las obras (1km mínimo)

Además, las fases de construcción necesitan un canal de navegación provisional, que debe ubicarse canal abajo del puente, para evitar el levantamiento del puente durante el uso del canal provisional, lo que también necesita una distancia mínima entre la entrada del canal y las obras (1km también).

Sedimentación

Según un ensayo del laboratorio de ensayos hidráulicos, el tramo del canal entre el río y las obras se sedimenta fácilmente. No se puede reducir la longitud de este tramo por las razones ya explicadas.

Conclusión

Por estas razones, se propone abandonar la solución de obras agrupadas.

B. Obras separadas en dos canales

Parece mejor separar la función de navegación y la función de abastecimiento de agua al canal, lo que mejora la seguridad. Hay dos posibilidades:

1. Esclusa Río arriba, compuertas Río abajo

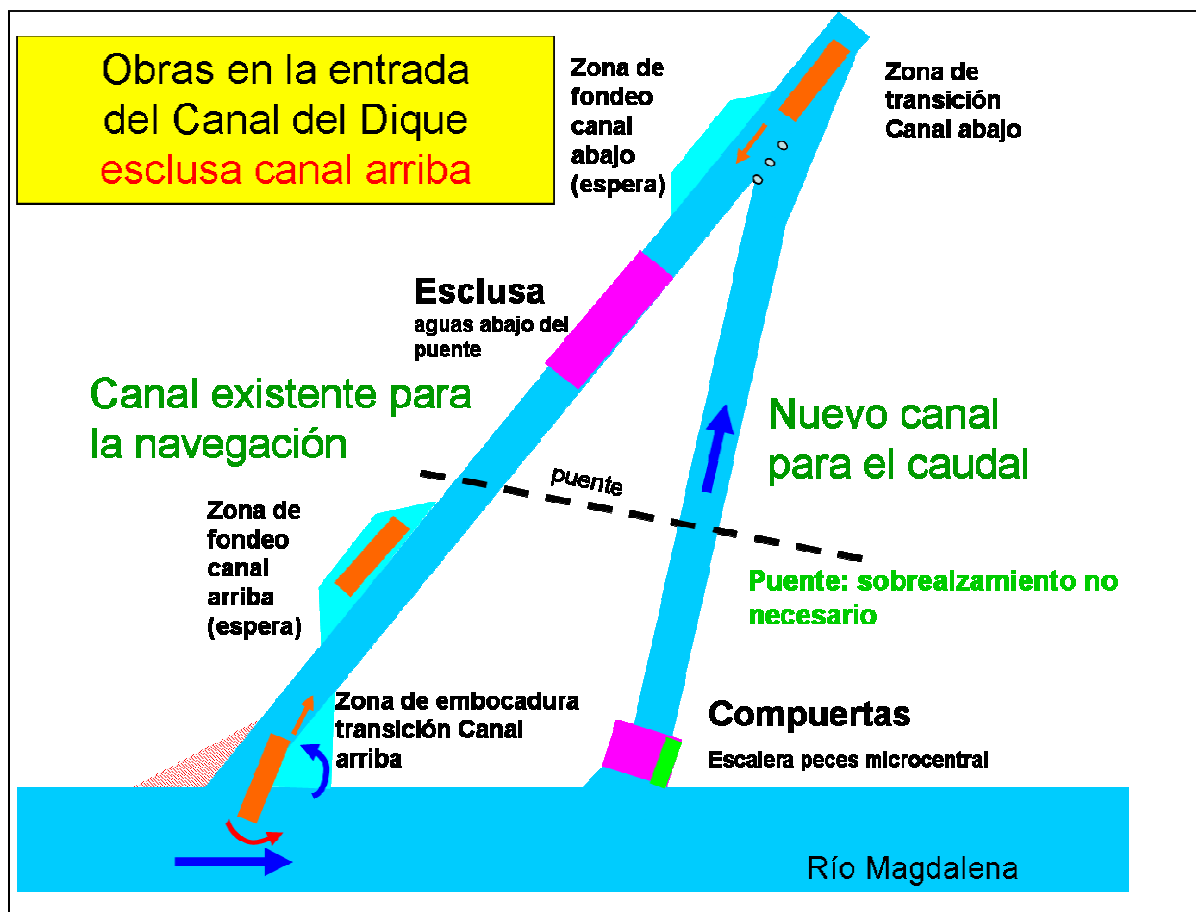


Figura 35 : Esclusa Río arriba, compuertas Río abajo

Esta solución no necesita el levantamiento del puente, que habría sido costoso.

Navegación

Esta solución deja el canal actual para la navegación, sin curvas adicionales.

En el estado actual, los barcos entran sin problemas en el canal, siguiendo el flujo de agua. En la solución propuesta, los barcos entran en una zona de velocidad nula. La popa va a girar como indicado en el esquema. Por esta razón, la zona de embocadura debe ser más ancha.

Un estudio específico es necesario para estudiar la entrada del Canal y también la confluencia canal de navegación / obra de regulación aguas abajo.

Por eso, un modelo físico específico será necesario:

- Modelo sin distorsión vertical par respetar el efecto de las corrientes sobre los barcos,
- Utilización de barcos telemandos cargados y vacíos (buena experiencia del laboratorio de modelos físicos de la CNR),
- Apoyo de los pilotos de los barcos y convoyes empujados para aprovechar sus experiencias.

Sedimentación

La zona de embocadura del canal navegable va a sedimentarse por las corrientes circulares y necesitará un mantenimiento.

El canal en la entrada de las compuertas se sedimentara por velocidad débil. Por esta razón, este canal ha sido casi suprimido.

Si se sedimenta el río Magdalena frente a las compuertas, se pueden hacer dragados a un costo reducido, enviando por tuberías los productos de dragados mas abajo en el río Magdalena

Conclusión

Al nivel actual de la evaluación, esta solución parece la más adecuada.

Esquema con profundización del canal navegable

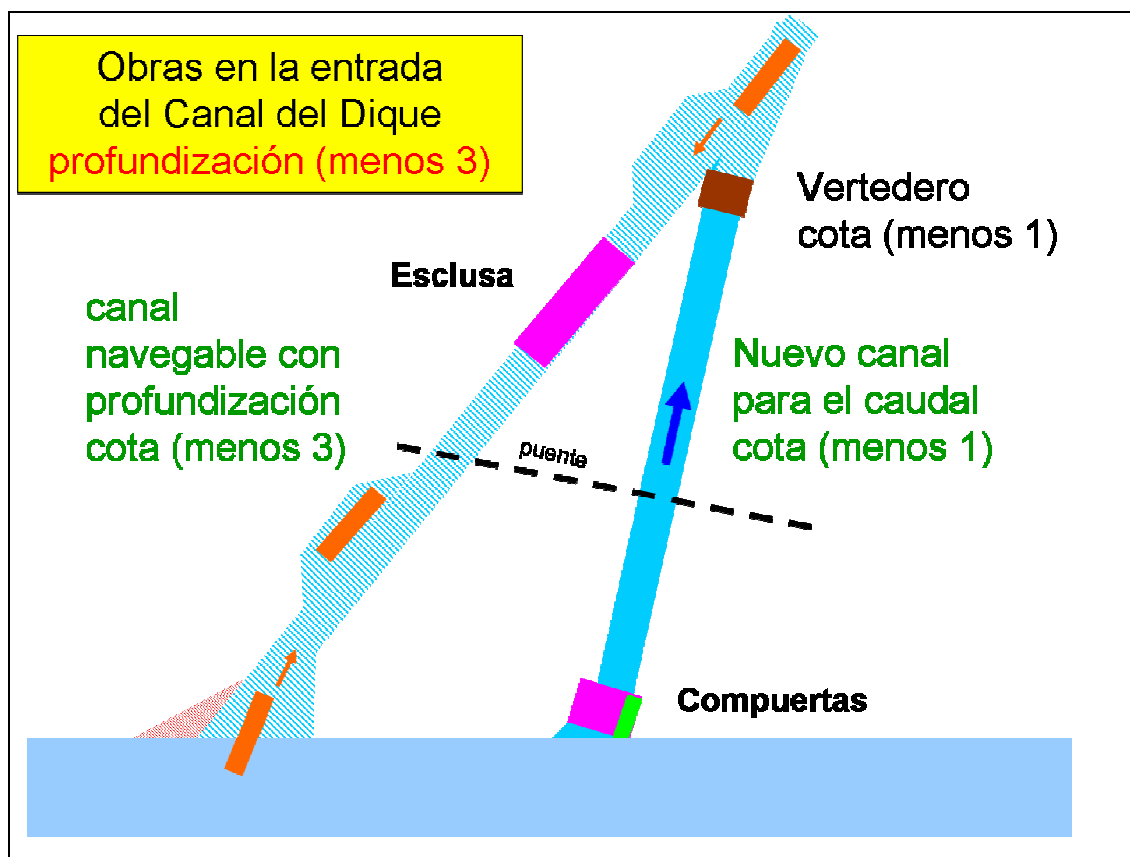


Figura 36 : Esquema con profundización del canal navegable

El canal navegable será en la cota (menos 3) con profundización.

El canal de abastecimiento de caudal será a la cota (menos 1). Un vertedero en la extremidad de este canal es necesario par evitar la erosión regresiva.

2. Esclusa Río abajo, Compuertas Río arriba

Otra posibilidad es ubicar la esclusa sobre el nuevo canal río abajo.

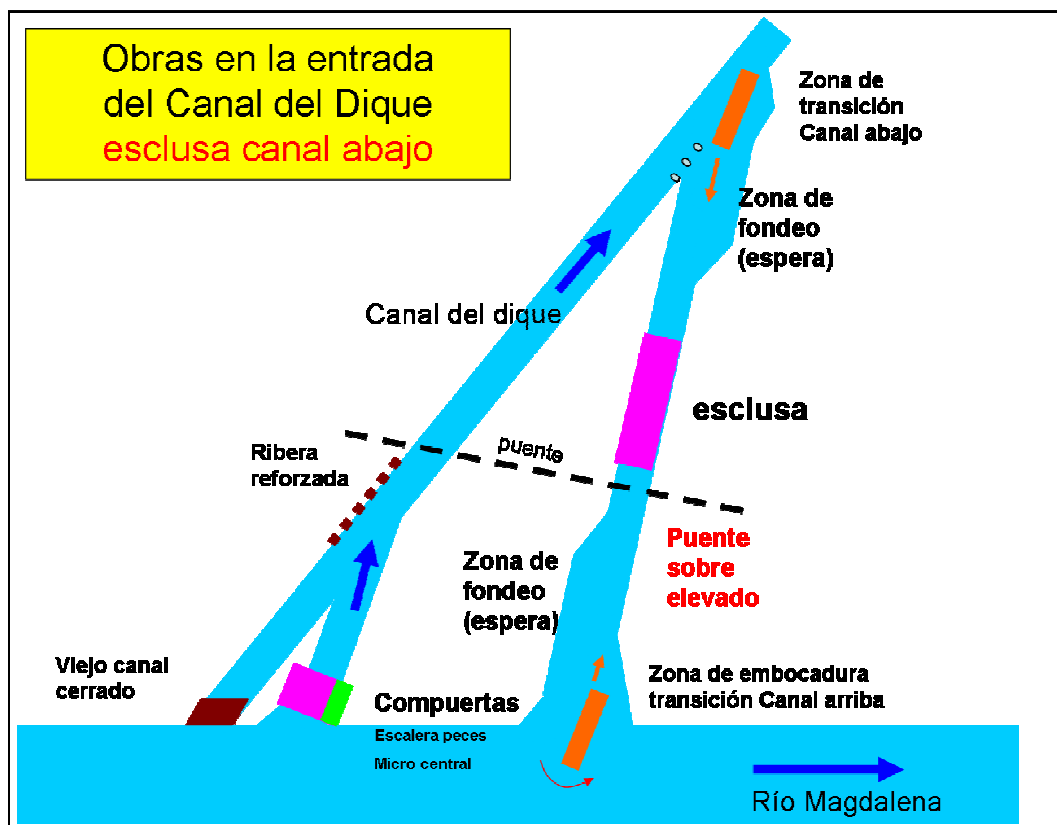


Figura 37 : Esclusa Río abajo, Compuertas Río arriba

Esta solución necesita el levantamiento del puente para respetar el galibo de las dragas, lo que será costoso. El nuevo puente tendría que tener las mismas características que el puente actual (galibo de 17.10 m sobre las aguas mas altas).

Conclusión

*Al nivel actual de la evaluación,
esta solución parece menos interesante que la solución anterior.*

8.1.3 Protección de riberas

Protección de la ribera izquierda

La obra está ubicada muy cerca del lecho del río Magdalena. Se prevén protecciones locales de la ribera en caso de posible socavación.

Cota max	Cota min	Talud	Altura	Anchura	Espesor	Superficie	Largura	Volumen
m	m		m	m	m	m ²	m	m ³
8	-14	2/1	22	46	0.4	19	200	3800

Tabla 26 : Volúmenes necesarios para la protección de la orilla izquierda

La entrada del canal navegable necesita protecciones locales (sobre la ribera derecha del río Magdalena):

Cota max	Cota min	Talud	Altura	Anchura	Espesor	Superficie	Largura	Volumen
m	m		m	m	m	m ²	m	m ³
8	-14	2/1	22	46	0.4	19	100	1900

Tabla 27 : Volúmenes necesarios para la protección del canal navegable

Total 5700 m³

Protección de la ribera derecha

La obra propuesta en la entrada del canal no penetra en el lecho del río Magdalena, pues no modifica la morfología del río.

El caudal actual del canal representa solamente 7% del caudal total del río Magdalena, porcentaje débil que no puede tener una influencia grande a corto o medio plazo sobre la morfología del río Magdalena.

Las compuertas disminuirán este porcentaje (aprox. de 7% a 5%) sin tener, con mas razón, una influencia grande sobre la morfología del río.

Por esas razones, la obra de regulación de caudal propuesta no puede ser al origen de cualquier socavación sobre la ribera derecha del río Magdalena⁷, pues no se necesita cualquier protección de la ribera derecha en el marco del presente proyecto.

⁷ Los ensayos de la obra propuesta por modelo físico UN mostraron que se forma a corto plazo una socavación de la ribera derecha con modificaciones importantes de la morfología del río Magdalena. Se puede explicar por un sesgo del modelo: - tramo río arriba del modelo demasiado corto, - falta de repartición libre del transporte sólido entre el brazo izquierdo y derecho del río Magdalena alrededor de la Isla Becerra. Cf. Informe LEH : CM-CD-02 sept 06

8.1.4 Nivelación de las riberas del canal

Un mejoramiento consiste en rebajar el nivel de las riberas, para un mejor desbordamiento.

Este asunto está siendo estudiado.

Se estiman por ahora 20 km de diques, a disminuir de 50 cm por 20 m de ancho, por un volumen provisional de excavaciones de 200 000 m³. Estas cifras se precisarán más adelante.

8.1.5 Conexiones canal -Ciénagas

El mejoramiento de las conexiones canal – Ciénagas está siendo estudiado.

Las conexiones mejoradas serán un canal como el siguiente:

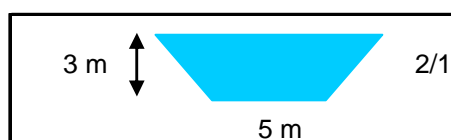


Figura 38 : Esquema de una conexión canal/ciénaga

La superficie es de 32 m² capaz de pasar a la velocidad 0.5m/s, un caudal de 16 m³/s, suficiente para llenar las ciénagas.

Se estiman por ahora 5km de canales por un volumen provisional de excavaciones de 160 000 m³.

Un problema sería que la conexión deje entrar más sedimentos que el desbordamiento por encima de los diques, lo que se puede resolver fácilmente con un azud longitudinal como el siguiente:

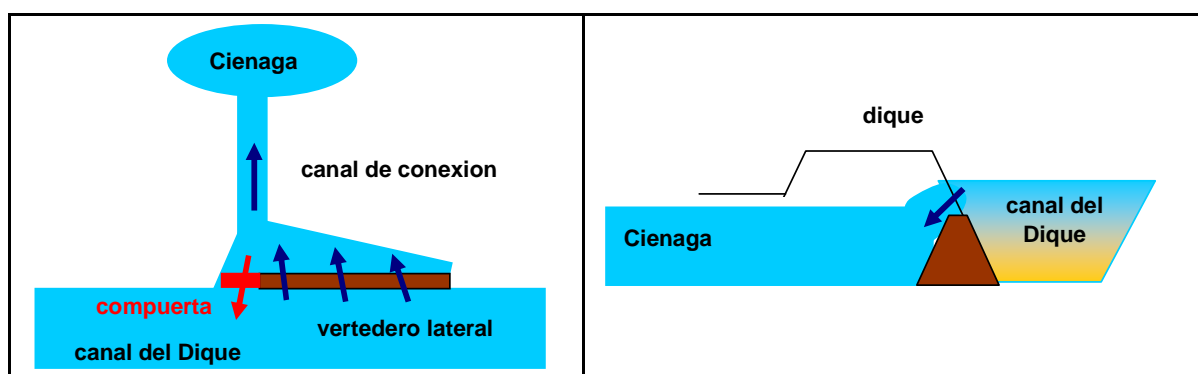


Figura 39 : Tipo de conexión canal/ciénaga

Se deben también prever alrededor de 8 compuertas simples (4 m anchura x 3 m altura sobre las conexiones).

8.1.6 Esclusa en Paricuica

El esquema de la esclusa de Paricuica es lo siguiente:

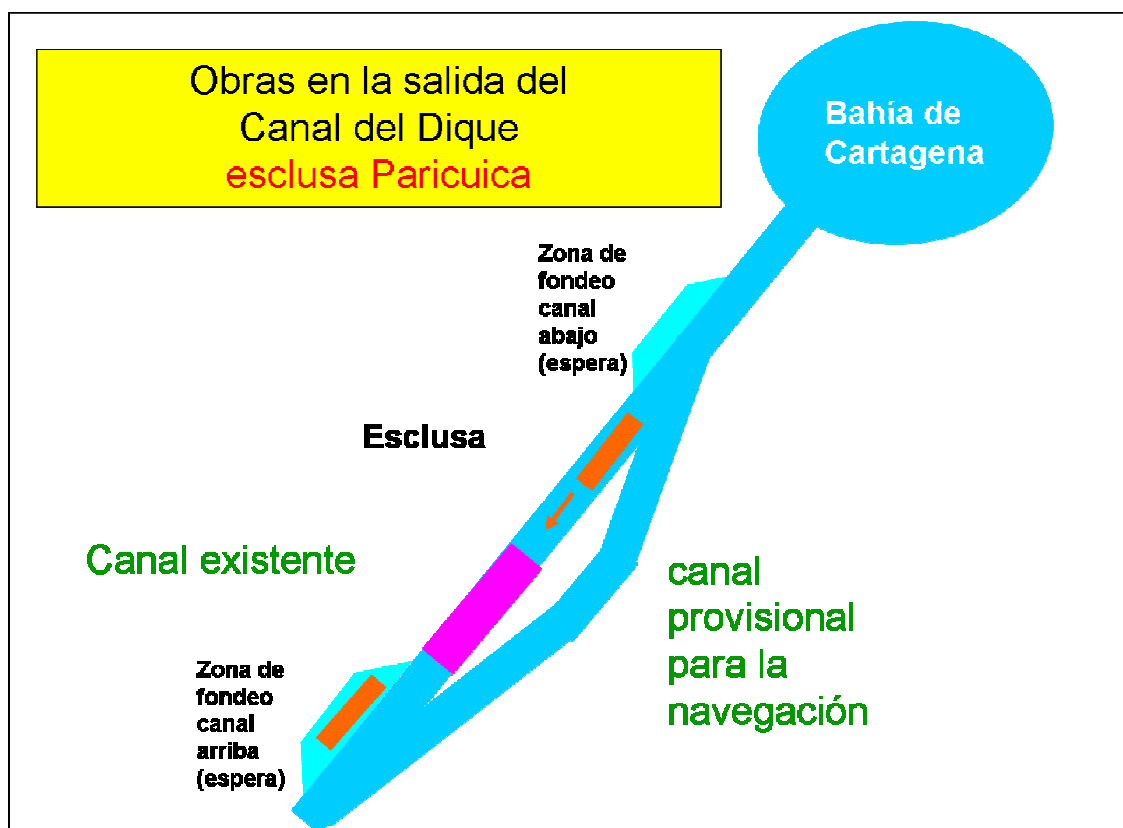


Figura 40 : Obras en Paricuica

8.2 Fase de construcción

8.2.1 Obras canal arriba

La navegación debe mantenerse durante la construcción de las obras, lo que necesita un Canal provisional.

Las fases de construcción se desarrollaran como siguientes:

1 excavaciones, construcción de las compuertas

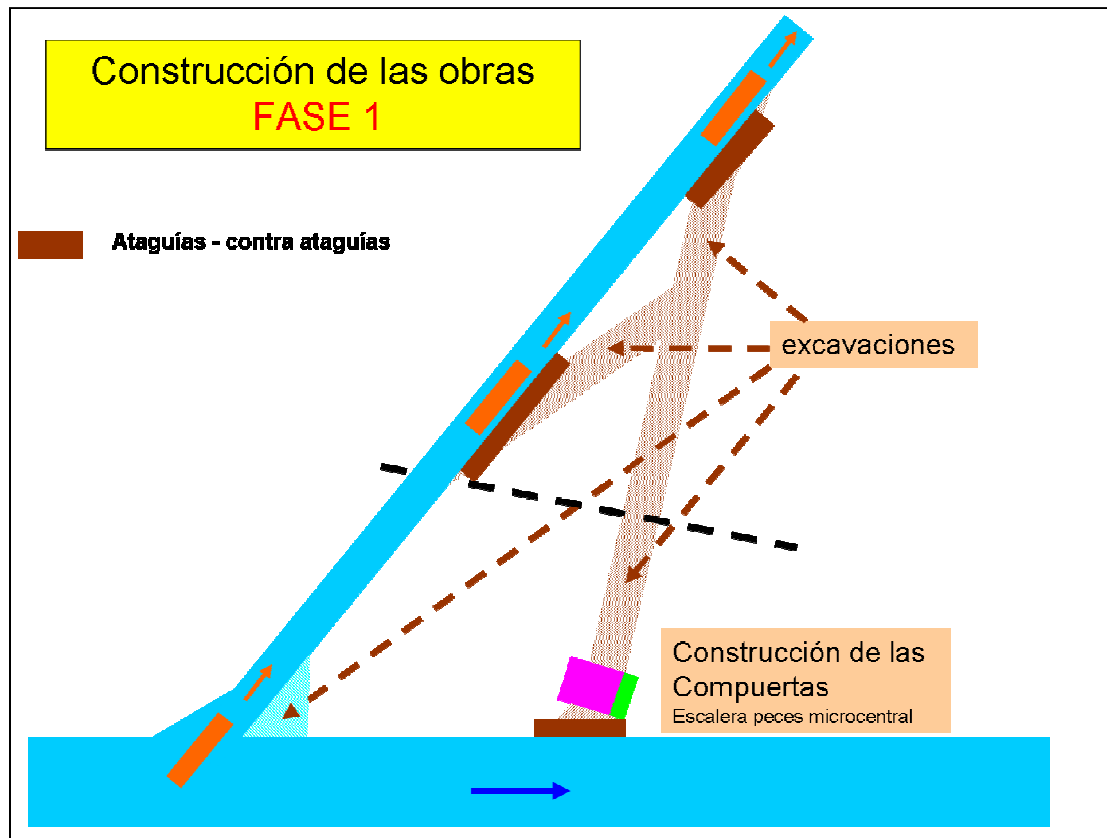


Figura 41 : Construcción de las obras, fase 1

2 Apertura del canal de navegación provisional

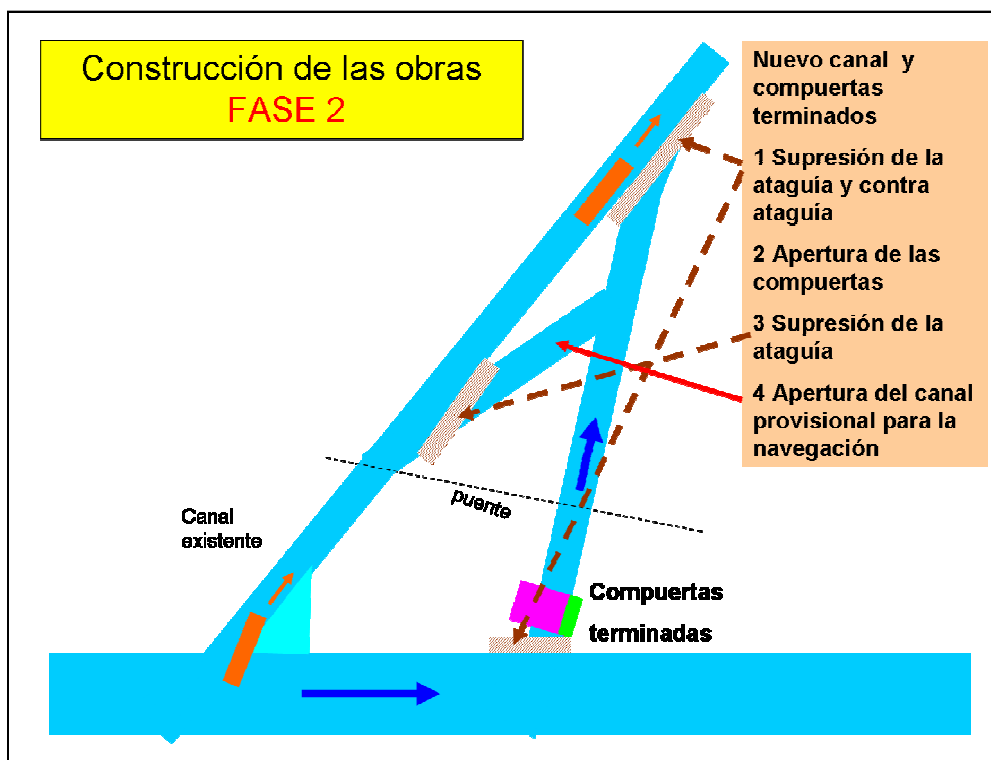


Figura 42 : Construcción de las obras, fase 2

El canal provisional de navegación usa parcialmente el canal de abastecimiento de caudal, lo que permite ahorrar excavaciones.

3 Construcción de la esclusa

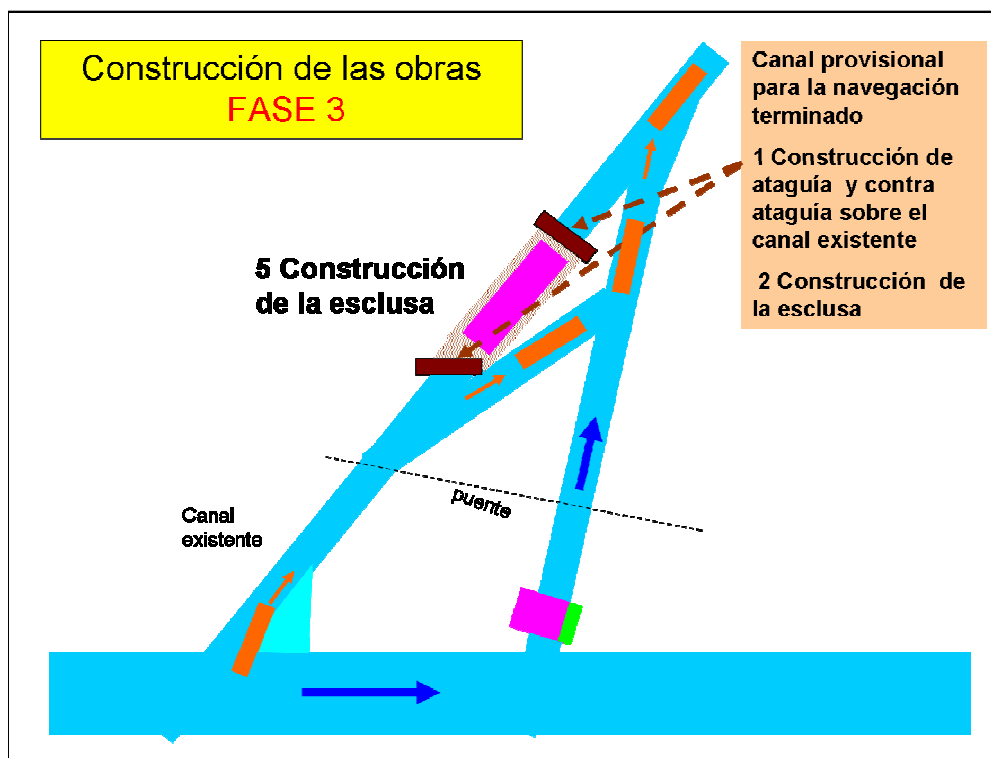


Figura 43 : Construcción de las obras, fase 3

4 Apertura de la esclusa

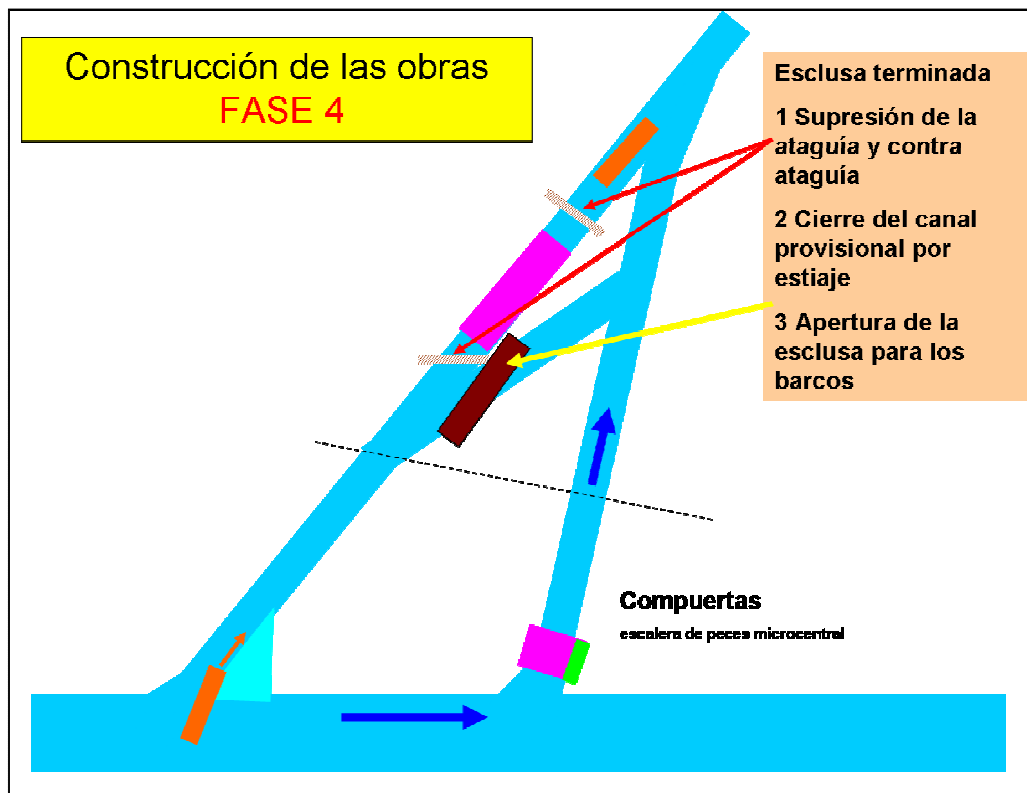


Figura 44 : Construcción de las obras, fase 4

8.2.2 Fase de construcción esclusa de Paricuica

La esclusa de Paricuica canal abajo se construirá fácilmente con un canal provisional para la navegación durante la construcción de la esclusa sobre el canal actual.

8.2.3 Definición del tipo de fundación de las obras

Las obras son estructuras anchas con presiones débiles sobre los suelos de fundación, así que no necesitan fundaciones profundas. Sin embargo, se necesitara disposiciones transversales para cortar las circulaciones del agua en los suelos desde aguas arriba hacia aguas abajo.

8.3 Excavaciones necesarias

8.3.1 Canal de abastecimiento de caudal

Se debe construir un canal específico entre las compuertas y la confluencia con el canal navegable.

Este canal tiene una longitud de aprox. 1.5 km.

Para ahorrar excavaciones, se puede elegir un canal mas estrecho que el canal actual de navegación, con el fondo en la cota (menos 1), igual si se hace la profundización en la cota (menos 3).

Pendiente de los taludes	2.5/1	Superficie
<i>Anchura del fondo (cota -1)</i>	40 m	0
<i>Anchura (cota 6.7) 800m³/s</i>	78 m	454 m ²
<i>Anchura cota 9 (terreno)</i>	90 m	650 m ²

Tabla 28 : Características del canal de abastecimiento de caudal

El volumen de excavaciones de 975 000 m³.

Para 800 m³/s, la velocidad será de 1.7 m/s en el nuevo canal y las perdidas de carga de solamente 13cm (longitud 1500 m). La velocidad del canal actual es de 1.5 m/s y la perdida de carga de 11cm entre la entrada y la confluencia con el nuevo canal (longitud 2000 m), lo que justifica un canal mas estrecho.

8.3.2 Otras excavaciones

Entrada del canal

Se necesita una zona de transición con aumentación del ancho del canal como ya explicado.

Confluencia canal navegable - canal caudal

Se necesita una zona de transición con aumentación del ancho del canal.

Canal provisional

Se necesita construir un canal provisional de longitud 700 m para alcanzar el canal de caudal. Se utilizará río abajo la parte final del canal de caudal como canal provisional.

Zona de fondeo

Se necesitan zonas de fondeo para los barcos esclusa arriba y esclusa abajo.

Difluencias canal – caño Correa, canal – caño Matunilla

Se necesitan cada vez zonas de transición con aumentación del ancho del canal.

Esclusa de Paricuica

Se necesita construir un canal provisional par la navegación.

Se necesitan zonas de fondeo para los barcos esclusa arriba y esclusa abajo.

8.3.3 Total excavaciones

OBRAS ENTRADA DE CANAL <i>Terreno : cota 9</i>	Cota (m)	Altura (m)	Anchura (m)	Superficie (m ²)	Largura (m)	Volumen (m ³)
Canal caudal	-1	10		650	1 500	975 000
1/2 canal provisional	-1	10		650	700	455 000
Difluencia canal navegable - Magdalena	-1	10	100	1 000	500	500 000
Difluencia canal navegable -canal caudal	-1	10	25	250	500	125 000
Zona de fondeo esclusa canal arriba	-1	10	25	250	600	150 000
Zona de fondeo esclusa canal abajo	-1	10	25	250	600	150 000
Sub total						2 355 000
CANAL - CIENAGAS						
Rebajamiento riberas del canal *		0.5	20	10	20 000	200 000
Conexiones canal –Ciénagas *		3	10	32	5000	160 000
Sub total						360 000
ESCLUSA PARICUICA <i>nivel mar: 0; cota canal: -4; terreno: 1</i>	Cota (m)	Altura (m)	Anchura (m)	Superficie (m ²)	Largura (m)	Volumen (m ³)
Canal provisional	-3	5		263	1 000	262 500
Difluencia canal - caño Correa	-3	5	25	125	500	62 500
Difluencia canal –Matunilla	-3	5	25	125	500	62 500
Zona de fondeo esclusa canal arriba	-3	5	25	125	600	75 000
Zona de fondeo esclusa canal abajo	-3	5	25	125	600	75 000
Sub total						537 500
PROFUNDIZACION (cota - 3)						2 500 000
TOTAL GENERAL (m³)						5 752 500

* Provisional

Tabla 29 : Volúmenes de excavación

8.4 Características de las obras propuestas

8.4.1 Esclusa de navegación en Calamar

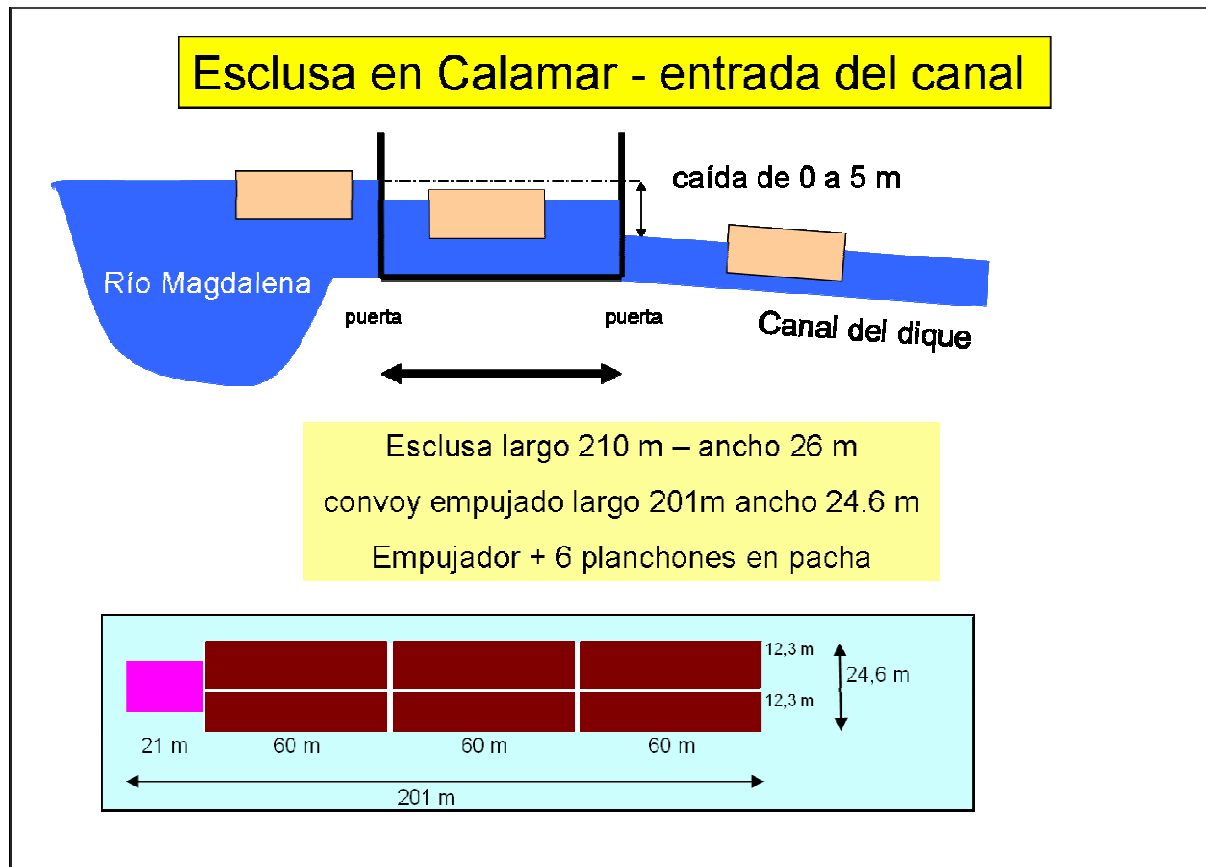


Figura 45 : Esclusa en Calamar

Dimensiones de la esclusa

Considerando los tamaños de los barcos y convoyes, se puede diseñar las dimensiones de la esclusa:

- Longitud :210 m
- Anchura : 26 m
- Profundidad : 4 m para una navegación con 10 pies de calado, 12 pies de profundidad. = 3.66 m

Niveles

La esclusa será diseñada teniendo en cuenta los niveles siguientes:

- Nivel máximo aguas arriba (8.0) crecida máxima del río Magdalena
- Nivel mínimo aguas arriba (1.0) estiaje mínimo del río Magdalena
- Fondo del lecho aguas abajo (**menos 3) con profundización del Canal, que sea hecho inmediatamente o posteriormente**

Tipo de estructura

La esclusa propuesta esta compuesta de dos cabezas, en hormigón armado: una, aguas arriba, y la otra, aguas abajo. Cada una de estas cabezas tiene una puerta de cierre y dispositivos de llenado y vaciado de la esclusa. Entre estas cabezas, la cámara esta compuesta de un tramo de Canal con riberas de pendiente suave, para soportar las variaciones de nivel durante el llenado y el vació de la esclusa. En la esclusa, entre las cabezas, se prevé grupos de pilas en acero para guiar y eventualmente, atracar los barcos.

La dimensión de cada cabeza es 40.00 m de longitud y 46.00 m de ancho (26+10+10). Las fundaciones están en la cota (- 5.00 msnm), los acueductos parcialmente debajo en la cota (- 7.00 msnm).

Aguas arriba y aguas abajo, grupos de pilas en acero son previstos para atracar los barcos esperando el pasaje.

Equipos

Las cabezas son equipadas de:

- Puertas tipo Leonardo da Vinci, con dos batientes manejadas con gatos hidráulicos (o mejor eléctricos)
- Ataguías puertas aguas arriba y abajo, para el mantenimiento de las puertas.

Los llenados y vaciados se efectúan con acueductos hidráulicos rodeando las puertas, de dimensiones aproximativas: ancho 3.90 m y altura 4.70 m, y equipado por válvulas verticales, también manejadas con gatos.

No se prevé por el momento un dispositivo parachoques.

Se prevé:

- Bombeos para vaciar el agua entre las compuertas ataguías.
- Pasarelas metálicas sobre las puertas, para permitir el paso de los operadores.
- Un puente móvil o desmontable, para permitir el paso de los vehículos de explotación.

8.4.2 Obra de control de caudales

Nivel del umbral de las compuertas

El nivel del umbral es fijado en la cota actual del fondo (menos 1).

No sirve elegir el nivel del fondo después de la profundización (menos 3) para el canal y las compuertas, lo que sería más costoso.

Por profundización del canal, el caudal de estiaje aumenta (de 40 a 85 m³/s a la cota +1 del Magdalena). Este caudal puede pasar a través de las compuertas abiertas. También se puede pasar agua por las válvulas de la esclusa en el caso de un estiaje todavía más severo.

Sección hidráulica y capacidad de descarga

La sección de paso hidráulico es definida para no crear pérdidas de carga que podrían disminuir el caudal del canal.

Por consecuencia, se elige una sección hidráulica de las compuertas igual a la sección del canal actual.

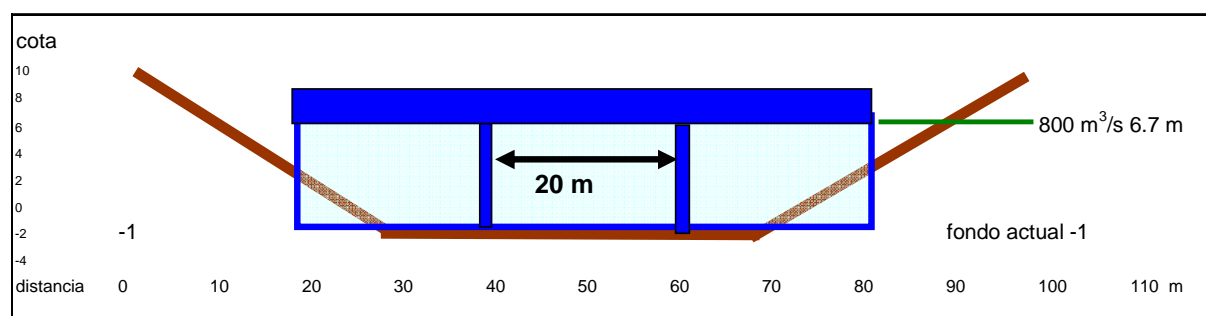


Figura 46 : Sección hidráulica de las compuertas

Se proponen 3 compuertas

- Anchura 20 m
- Altura 7.7 m
- Superficie total 462 m²

La superficie del canal en la cota 6.7 (caudal del canal 800 m³/s) es 454 m²

Tipo de compuertas

Para minimizar la entrada de materiales en arrastre y suspensión en el canal del Dique, se deben usar compuertas con vertimiento por encima.

Se propone este tipo de compuertas:

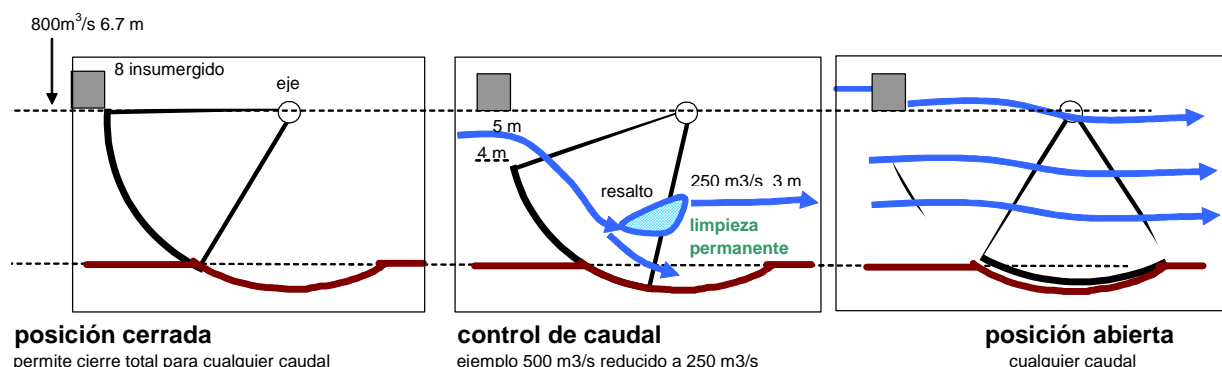


Figura 47 : Tipo de compuertas

La ventaja de este tipo de compuertas es que la parte abajo se limpia de su mismo por la corriente y no tiene problemas para abrirse completamente.

Posición cerrada

Las compuertas pueden cerrarse completamente (polución del magdalena por ejemplo). La pared encima de las compuertas permite compuertas de menos altura.

Posición control de caudal

Se puede regular el caudal enviado en el canal, por ejemplo en el esquema reducir el caudal de 530 a 250 m³/s.

Posición abierta

Para un caudal del canal inferior a 800 m³/s, la corriente esta libre a través de la obra sin perdidas de carga.

LAS COMPUERTAS PUEDEN ENVIAR, SI ES NECESARIO, EL CAUDAL NATURAL (y más con profundización)

La pared en la cota (6.7) produce una perdida de carga reducida que disminuye un poco los caudales entre 800 y 1200 m³/s. Por ejemplo, el caudal natural del canal 1 200 m³/s será rededucido a 1 150 m³/s con compuertas abiertas.

Características de las compuertas

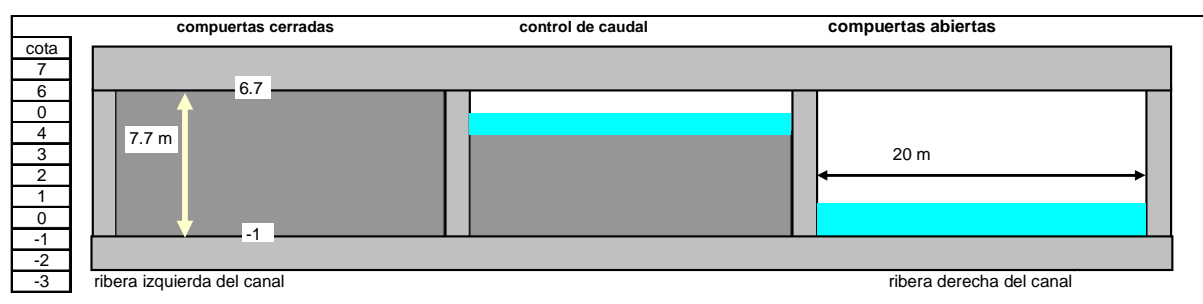


Figura 48 : Compuertas Vistas de frente, desde el río Magdalena

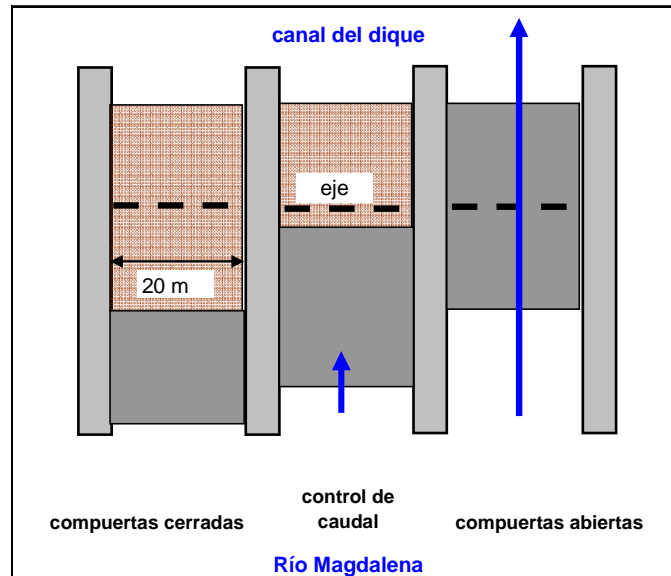


Figura 49 : Compuertas vistas de encima

Mantenimiento

Las compuertas propuestas pueden levantarse completamente para el mantenimiento.

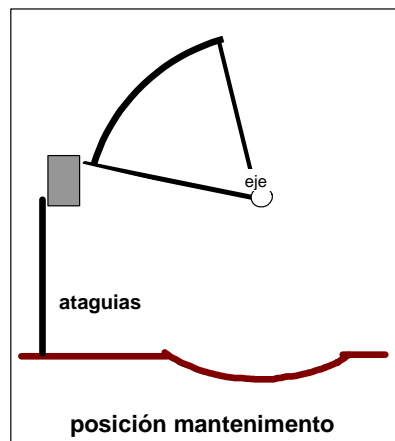


Figura 50 : Mantenimiento de las compuertas

Otros tipos de compuertas también con vertimiento por encima pueden ser utilizadas. Se debe tener cuidado de posible sedimentación de arena o madera, que puede impedir las compuertas abrirse completamente.

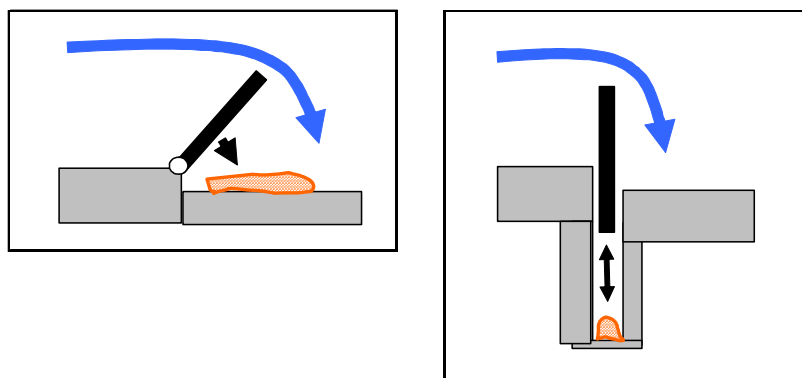


Figura 51 : Otros tipos de compuertas

Otras características

- Aguas arriba y abajo hay ranuras para ataguías metálicas.
- La parte aguas arriba de la losa armada tiene un dispositivo para cortar las circulaciones de aguas subterráneas.
- Un puente, debajo de las pilas, permite atravesar la obra, así que el montaje y el desmontaje de los equipos (compuertas, ataguías metálicas).

Tipo de estructura

La obra de control esta compuesta de 2 pilas intermedias y dos pilas en las riberas, en hormigón armado. Así, las dimensiones generales son aprox. 70 m de ancho y 20 m en longitud.

8.4.3 Franqueamiento para los peces

Durante los meses de Enero, Febrero, Marzo, que corresponden al estiaje, las compuertas están abiertas y permiten el paso libre de los peces. La “subienda” ocurre de Febrero a Marzo, y después de Septiembre a Noviembre, por cuales las compuertas están parcialmente cerradas, produciendo una caída. Una escala de peces esta prevista, al lado de las compuertas.

Los peces pueden también dirigirse hasta la esclusa y subir con los barcos, pero los peces serán normalmente mas atraídos por la corriente de las compuertas.

Dos posibilidades permitirán el franqueamiento de los peces:

- Apertura total de las compuertas
- Escalera de peces

○ Apertura de las compuertas

La apertura total de las tres compuertas permitirá encontrar las condiciones naturales, sin aumentación de velocidad a través de la obra.

Sin embargo, esta solución envía mas carga sólida canal abajo.

○ Escalera de peces

La obra de franqueamiento de los peces es una escalera, constituida de cámaras sucesivas, al lado de la obra de regulación, para garantizar la atracción de los peces.

La escalera deberá funcionar con un importante rango de niveles de agua del Magdalena aguas arriba, es decir usando peldaños profundos con aberturas verticales.

El antiguo lecho del Canal (caño viejo) a través la Ciénaga de los Negros podría ser también utilizado como obra de franqueamiento.

Los peces podrán bajar el Canal viniendo del Río Magdalena, principalmente a través de las compuertas parcialmente abiertas sin sufrir deterioros físicos, o también a través de la escalera de peces, o a través de la esclusa.

8.4.4 Planta hidroeléctrica

Características principales

La planta hidroeléctrica esta dimensionada para el caudal mínimo del Canal, es decir 100 m³/s.

La planta será diseñada teniendo en cuenta los niveles siguientes:

- Nivel máximo aguas arriba (8.0) crecida máxima del Magdalena
- Nivel mínimo aguas abajo (1.2) caudal del Canal 100 m³/s.
- Nivel aguas abajo (3.4) caudal del Canal 250 m³/s.
- Fondo aguas abajo (menos 1)

La caída bruta máxima es 6.8 m para un caudal del Canal de 100 m³/s y 4.6 metros para un caudal de 250 m³/s.

Una o dos turbinas son posibles. Una única turbina necesita menos inversión mientras que dos turbinas ofrecen más flexibilidad para la explotación.

Al punto actual del estudio, se puede elegir la solución una turbina única de 100 m³/s. En la siguiente fase, se examinara más precisamente este asunto.

La potencia máxima disponible será de alrededor de 5 500 Kw.

Tipo y características de la turbina

La turbina es un grupo bulbo con eje horizontal, fijado en la cota (menos 2.50 msnm) con tres palas. El diámetro de la turbina es de 4.30 m. Dos pozos verticales permiten el montaje y el desmontaje de la turbina y del grupo turbo alternador.

Tipo de estructura

Las dimensiones de la estructura en hormigón armado son de 45.00 m de longitud y 12.00 m de ancho, y los niveles de fundación son (menos 9.00 msnm) aguas arriba y (menos 7.00 msnm) aguas abajo.

Equipos principales

Un dispositivo de aislamiento del grupo está constituido por una ataguía aguas arriba y una válvula aguas abajo. Esta válvula permite también la regulación de la turbina.

Un transformador permite la elevación de tensión para la conexión de la central a la red eléctrica.

No se necesita una grúa fija en la central. Las operaciones de montaje y desmontaje serán operadas por una grúa móvil.

El puente previsto sobre la obra de regulación permitirá el montaje y el desmontaje de los equipos de la microcentral.

8.4.5 Esclusa Paricuica Canal abajo

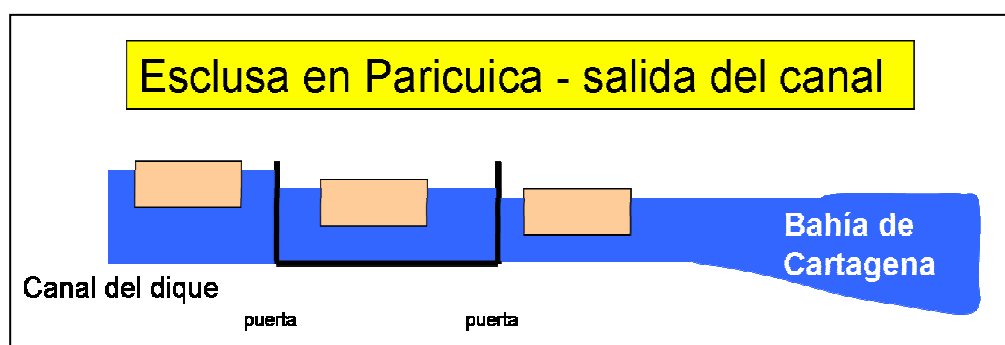


Figura 52 : Esclusa en Paricuica

Dimensiones de la esclusa

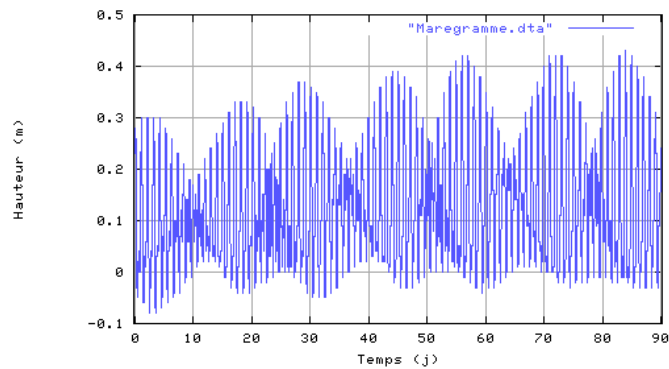
Las dimensiones son las mismas que la esclusa de Calamar:

- Longitud : 210 m
- Ancho : 26 m
- Profundidad : 4 m para una navegación con 10 pies de calado, 12 pies de prof. = 3.66 m

Niveles

La esclusa será diseñada teniendo en cuenta los niveles siguientes:

- nivel máximo aguas arriba (≈ 0.5) a determinar, por el caudal máximo del canal
- nivel mínimo aguas arriba (≈ 0) estiaje mínimo del canal
- nivel mínimo y máximo aguas = ver nivel del mar con mareas



NOTA: cero diferente del cero terrestre
Figura 53 : Nivel del mar Caribe (fuente SHOM www.shom.fr)

La esclusa tendrá un desnivel muy débil (≈ 0 -0.5 m).

8.4.6 Equipos eléctricos y de control comando

Evacuación de energía de la central hidroeléctrica

Será necesario de estudiar las posibilidades de transformación de la energía mecánica de los grupos hidroeléctricos en energía eléctrica:

- Por una generatriz asíncrona
- Por un alternador síncrono

La elección se hará, tomando en cuenta la potencia de la(s) máquina(s) con relación a la red eléctrica y los requerimientos del operador. Probablemente, se elegirán uno o dos alternadores síncronos con potencia entre 3 et 6 MW.

La elevación de tensión se hará después según las posibilidades siguientes:

- 1 transformador para una turbina de 100m³/s,
- 1 transformador para 2 turbinas de 50 m³/s,
- 2 transformadores para cada turbina de 50 m³/s

Los criterios son:

- La disponibilidad buscada, tomando en cuenta la configuración local de la red,
- Los costos de inversión y de mantenimiento,

La evacuación de la energía incluya la estación de alta tensión de evacuación de energía, así que la (o las) línea(s)

Alimentación de los auxiliares de potencia

El funcionamiento eléctrico de la central, de la esclusa, de la obra de regulación y de sus diferentes auxiliares de potencia (luz, bombeos, refrigeración y calefacción, alimentación) será asegurado por baja tensión (400 V ~ trifásico) distribuida por un tablero general baja tensión, con una alimentación desde una o dos fuentes:

- Un tiraje desde el o los transformadores de evacuación de energía,
- Una alimentación de primero auxilio desde la red de distribución local,
- Una alimentación de auxilio ultimo desde un grupo electrógeno instalado en la central.

La potencia de tiraje es estimada entre 1 y 1.6 MVA. Las potencias de auxilio serán definidas después por un estudio mas detallado.

Alimentaciones del control comando

El control comando de la central, de la esclusa, de la obra de regulación serán realizadas a partir de fuentes 400 V ~ de los alimentaciones de potencia.

Dos talleres redundantes de energía en 24 VCC o 48 VCC (u otra especificación local) serán localizados, con cargadores y baterías, autorizando una autonomía de larga duración (12 a 24 horas).

Las instalaciones centrales, esclusa y obra de control serán agrupadas.

Control comando

El control comando de cada equipo (central, esclusa, obra de control) será basado sobre automatismos fiables y simples, a base de relees electromecánicos, completados por una adición de automatismos PLC (Programmable Language Controller) en una red de ultima generación (Ethernet).

Estos automatismos serán alimentados a partir de las fuentes de control comando describías antes.

Los PLC podrán ser recordados a ordenadores PC con funciones de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Permitirán al operador local o distante cuidar y manejar cada equipo.

La obra de control y la central hidráulica dispondrán de un sistema de manejo común, ligado hidráulicamente. Es posible realizar un manejo automático a partir de software de regulación hidráulica.

El manejo de la esclusa será independiente del manejo de la central y la obra de regulación.

9 PARTE ECONÓMICA

9.1 Costos del proyecto

Costos de inversión

Los costos de inversión son basados sobre las hipótesis siguientes:

- Estimaciones rápidas de la cantidades principales
- Costos de obras similares, realizadas recientemente por el asesor: mini plantas hidroeléctricas, esclusas...

La tabla siguiente resume los costos de inversión, en M €

Descripción	Volumen (Millones de m ³)	Obras civiles (M€)	Equipo EM (M€)	Precio M€
ENTRADA DEL CANAL				
Instalaciones		1.2	0.6	1.8
Excavaciones diversas	2.4	7.2		7.2
Esclusa Calamar		13.2	10.8	24
Compuertas		5	3.7	8.7
Central hidroeléctrica		4	4.5	8.5
Escala peces		0.5		0.5
Protección - ribera izquierda Magdalena	0.6	0.3		0.3
Protección - ribera derecha Magdalena	0	0		0
Subtotal		31.4	19.6	51
CONEXIONES CANAL/CIENAGAS				
Excavaciones		1.2		1.2
Compuertas (8)		0.8	0.2	1
Subtotal		2	0.2	2.2
ESCLUSA PARICUICA				
Instalaciones		0.8	0.4	1.2
Esclusa Paricuica		8	8	16
Excavaciones Paricuica	0.6	1.8		1.8
Subtotal		10.6	8.4	19
PROFUNDIZACION				
Profundización	2.5	4.2		4.2
INTERVENTORIA 4%		1.9	1.1	3
Total €		50.1	29.3	79.4 M€
				95 UDS
Total sin central Eléctrica		46	24.6	70.6 M€
				85 USD

(1€ = 1.2 USD)

Tabla 30 : Costos de inversión del proyecto

Costos de mantenimiento anuales

Los costos de operación son basados sobre las hipótesis siguientes:

- Equipo de explotación de 15 personas
- Costo anual del mantenimiento : 1 % del costo de inversión de las obras civiles
5 % del costo de inversión de los equipos
- Estimación del volumen de los dragados residuales
- Los costos de inversión y de operación son en Euros con referencias de costo para obras realizadas en Francia.
- Debido a la disminución de los dragados, no se necesita de dragar anualmente. Los dragados de mantenimiento se efectuaran por campanas cada dos o tres años, o cuando el calado volverse menos que 10 pies.
- El costo de dragados de mantenimiento debería disminuir de 50%, sin dragados para los cinco primeros años

La tabla siguiente resume los costos anuales de operación y mantenimiento, en M €.

Denominación	TOTAL M €.
<i>Personal (trabajadores)</i>	0.25
<i>Dragados residuales (promedio anual)</i>	0.8
<i>Mantenimiento Obras Civiles</i>	0.45
<i>Mantenimiento Electro-mecánico</i>	1.3
	2.8

Tabla 31 : Costos de mantenimiento del proyecto

Para una visión global del desarrollo de la navegación, se debería tener en cuenta el programa de dragados previstos por CORMAGDALENA para el mantenimiento del Canal de acceso al puerto de Barranquilla y el mantenimiento del sector La Dorada / Calamar

9.2 Beneficios del proyecto

Navegación

La Navegación se beneficiara de un vía navegable sostenible con un calado de 10 pies garantizado durante todo el año.

El trafico utilizara menos barcos debido al mejor calado, y menos energía para transporta la misma carga.

Los beneficios serán estimados en la fase siguiente del proyecto

Dragados ahorrados

El costo de los dragados se reduce de 2 a 1.3 M€ (obras en Calamar únicamente) o hasta 0.8 M€ (obras en Calamar y en Paricuica), lo que corresponde a un ahorro anual entre 0.7M€ y 1.2 M€.

Medio ambiente

Los beneficios serán también estimados en la fase siguiente del proyecto, beneficios locales y otros (Reducción de dióxido de carbón...)

Supresión de inundaciones extremas

La obra en la entrada del canal permite reducir el caudal produciendo inundaciones extremas a un valor que no produce daños a la población. Por ejemplo 1200 m³/s puede ser reducido a 900 m³/s.

10 CRONOGRAMA

La planificación de la fase 2 de los estudios de factibilidad y de proyecto de la restauración del canal del Dique se incluyó en la demanda FASEP de junio 2006.

A petición de CORMAGDALENA, revisamos esta planificación para tener en cuenta la necesidad de reducir el plazo de entrega de los documentos de licitación. El cronograma revisado figura a continuación.

Se deben hacer los comentarios siguientes:

1. la continuación de los estudios requiere el suministro de los datos siguientes por parte de CORMAGDALENA para proseguir los estudios:
 - Topografía: desde la difluencia hasta 1000 m abajo del puente de Calamar, 500 m y 1.000 m en izquierda y derecha del canal: es el punto el más crítico en términos de cronograma. Se necesitan los resultados por el inicio de los estudios de las obras (mitad del noviembre 2006).
 - Datos vinculados con el puente de Calamar: se evidencio que es difícil conseguir estos datos,
 - Conocimiento de las obras cerca de la zona prevista, que podrían interferir con las obras de regulación (redes enterradas y aéreas, tomadas agua, acueductos, puentes e infraestructuras de carreteras),
 - Red eléctrica existente: se necesita esa información para el diseño y el costo de la conexión de la micro central hidroeléctrica,
 - Características de los suelos: cuando se ubicarán de manera más precisa las obras (con informaciones de topografía), hará que hacer campañas geotécnicas para caracterizar la capacidad portante de los suelos.
2. Una movilización en tiempo y horas (tarea 17 del cronograma) de los subcontratistas de CORMAGDALENA es necesaria para los estudios detallados y los expedientes de licitación de las empresas de construcción.

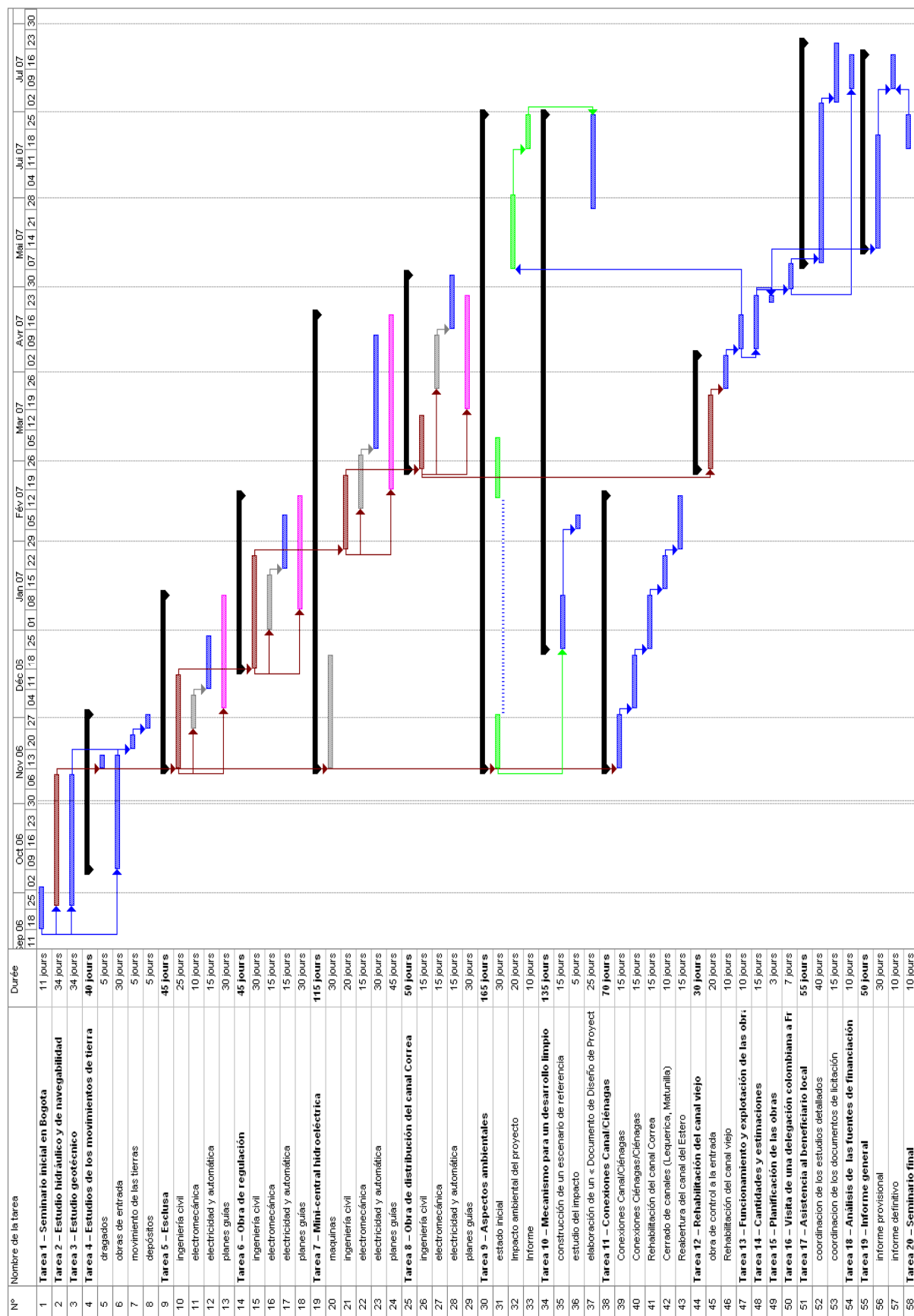


Figura 54 : Cronograma

11 BIBLIOGRAFÍA

1973; Proyecto de estudio del río Magdalena y el canal del Dique. NEDECO – Países Bajos

1998; Documentos de trabajo sobre economía regional. Los cultivos de camarones en la Costa Caribe colombiana - No.2. (Centro de investigaciones económicas del caribe colombiano – Banco de la republica Cartagena de indias, M. M. Aguilera). p 26.

2001: Canal del Dique. Plan de restauración ambiental (1ª etapa). Ediciones Uninorte (Universidad del Norte, Cormagdalena, Armada Nacional, UC Army Corps of engineers, Brown & Root, Biocolombia) p 328

2001; Corporación autónoma regional del canal del Dique – Cardique. Plan de acción trianual 2001-2003. (Ministerio del medio ambiente, G. Ariza Cabrera, A. Movilla Castillo) 131p.

2002: Cormagdalena: Estructuración técnica, económica, financiera y legal del proyecto de reactivación de la navegación en el Río Magdalena. CNR, 135 p.

2006; Documentos de trabajo sobre economía regional. El canal del Dique y su subregión: una económica basada en la riqueza hídrica – No.72. (Banco de la republica – Centro de estudios económicos regionales – Cartagena, M. M. Aguilera Díaz).87 p.

2006; Estudios e investigaciones de la obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique. Cormagdalena – La importancia ecológica de las ciénagas del canal del Dique y la determinación de su estado limnológico. (Laboratorio de ensayos Hidráulicos – Facultad de Ingeniería, G. Pinilla, J. Duarte). *Documento provisorio* 100 p.

2006; Estudios e investigaciones de la obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique. Cormagdalena – Modelación física de las soluciones al ingreso de sedimentos propuestas por la Compañía Nacional del Ródano – Informe CM-CD - 02

Páginas Internet

www.parquesnacionales.gov.co

www.conservation.org.co

www.uninorte.edu.co

www.cco.gov.co

www.ecologia.edu.mx

www.semillas.org.co

www.banrep.org

www.cccartagena.org

Imágenes satelitales:

Google Earth: <http://earth.google.fr>

12 Anexos

Anexo 1:

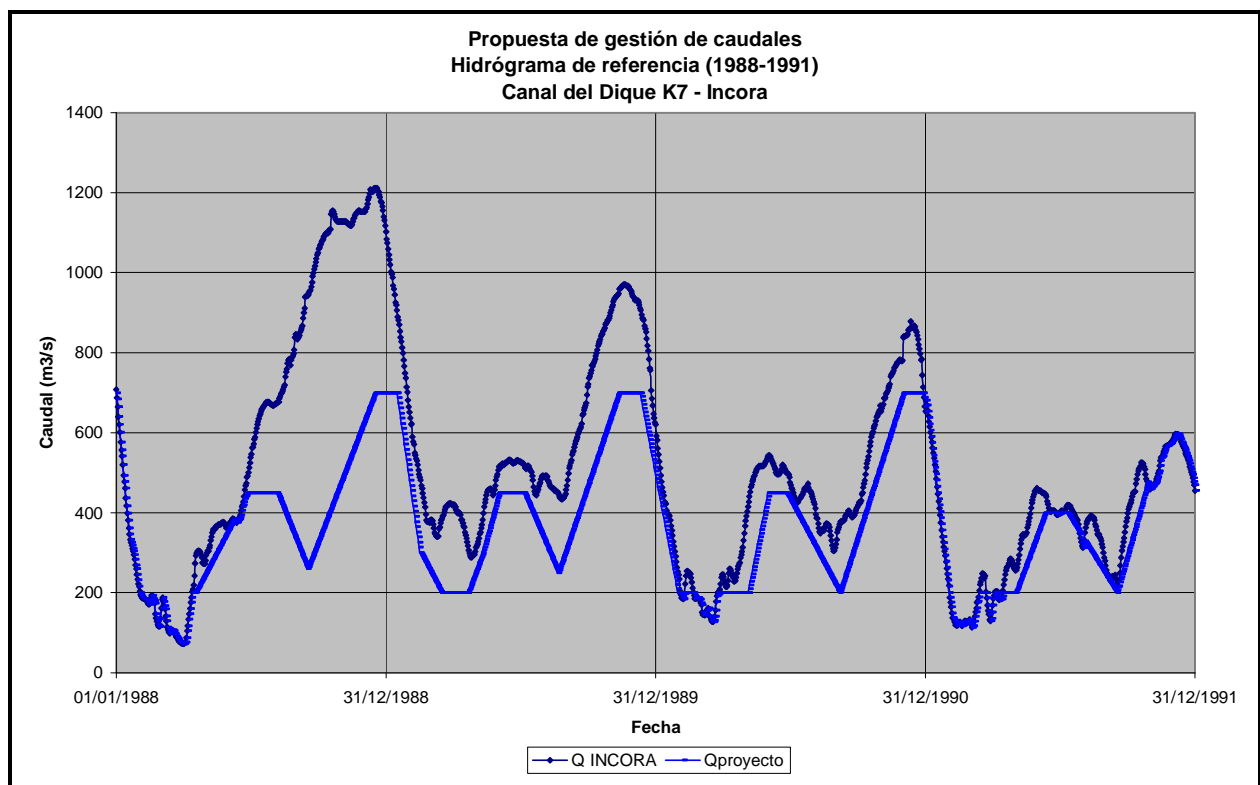
Análisis detallado de un ejemplo de gestión de las compuertas

A. Un ejemplo de gestión

A partir del Hidrógrama de referencia 1988-1991 fue definida una propuesta de gestión de las compuertas (figura siguiente).

Los principios fundamentales siguientes son respetados:

- 1. Respetar el ritmo anual de fluctuación de caudal :**
 - Cada año son respetados los dos picos de caudal en verano ($\sim 450 \text{ m}^3/\text{s}$) y en otoño ($\sim 700 \text{ m}^3/\text{s}$).
- 2. No reducir el caudal de estiaje :**
 - Nunca se reduce un caudal "natural" cuando está inferior a $200 \text{ m}^3/\text{s}$,



Así, se puede ver que el beneficio en términos de reducción de caudal, pues en reducción de transporte sólido depende del año:

- Por un año seco (1991) casi no se reduce el caudal (8%)
- Por un año "normal" (1989), se reduce el caudal de 28%.
- Por un año húmedo (1988), se reduce mucho el caudal (41%)

En promedio sobre los 4 años, el caudal se redujo de 27%, y los sedimentos de 35% (se reducen caudales altos, mas cargados en sedimentos).

B. Evaluación de la eficiencia sedimentológica

Las tablas siguientes presentan los resultados de la solución propuesta en términos de transporte sólido para, respectivamente, el “Canal del Dique” global, la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas y el mar (por el caño Correa). Son considerados en los cálculos:

- la reducción de sedimentación por reducción de caudal en la entrada
- la reducción de sedimentación por los dragados de mantenimiento
- la reducción de sedimentación por el manejo de los picos de sedimentación, estimada a los alrededores de 15% de la sedimentación actual (o sea aprox. 40% del beneficio sedimentológico por reducción de caudal).

Balance sedimentológico “Canal del Dique”	1988 (M. Ton)	1989 (M. Ton)	1990 (M. Ton)	1991 (M. Ton)	Promedio (M. Ton)
Caudal sólido entrando al canal en la condición “natural” sin dragado	10.5	9.7	6.8	5.3	8.1
Reducción total de sedimentos en el canal del Dique					
<i>Por reducción del caudal líquido</i>	5.1	3.2	1.6	0.5	2.6
<i>Por los dragados de mantenimiento</i>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
<i>Por reducción de los picos de concentración (estimación)</i>	2.0	1.3	0.6	0.2	1.0
Total	> 7.7 (73%)	> 5.1 (53%)	> 2.8 (41%)	> 1.3 (24%)	> 4.2 (52%)

Balance sedimentológico “Bahía de Cartagena”	1988 (M. Ton)	1989 (M. Ton)	1990 (M. Ton)	1991 (M. Ton)	Promedio (M. Ton)
Caudal sólido entrando a la Bahía en la condición “natural” sin dragado (22% del caudal sólido ingresando al canal)	2.3	2.1	1.5	1.2	1.8
Reducción de sedimentos en la Bahía de Cartagena					
<i>Por reducción del caudal líquido</i>	1.1	0.7	0.4	0.1	0.6
<i>Por los dragados de mantenimiento</i>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<i>Por reducción de los picos de concentración</i>	0.4	0.3	0.2	0	0.2
Total	> 1.8 (78%)	> 1.3 (62%)	> 0.9 (60%)	> 0.4 (33%)	> 1.1 (61%)

Balance sedimentológico “Bahía de Barbacoas”	1988 (M. Ton)	1989 (M. Ton)	1990 (M. Ton)	1991 (M. Ton)	Promedio (M. Ton)
Caudal sólido entrando a la Bahía en la condición “natural” sin dragado (25% del caudal sólido ingresando al canal)	2.6	2.4	1.7	1.3	2.0
Reducción de sedimentos en la Bahía de Barbacoas					
<i>Por reducción del caudal líquido</i>	1.3	0.8	0.4	0.1	0.7
<i>Por los dragados de mantenimiento</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Por reducción de los picos de concentración</i>	0.5	0.3	0.2	0	0.3
Total	> 1.9 (73%)	> 1.2 (50%)	> 0.7 (41%)	> 0.2 (15%)	> 1.1 (55%)

Balance sedimentológico “al Mar” (Por el caño Correa)	1988 (M. Ton)	1989 (M. Ton)	1990 (M. Ton)	1991 (M. Ton)	Promedio (M. Ton)
Caudal sólido entrando a la Bahía en la condición “natural” sin dragado (13% del caudal sólido ingresando al canal)	1.4	1.3	0.9	0.7	1.05
Reducción de sedimentos en la Bahía de Barbacoas					
<i>Por reducción del caudal líquido</i>	0.7	0.4	0.2	0.05	0.35
<i>Por los dragados de mantenimiento</i>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>Por reducción de los picos de concentración</i>	0.35	0.15	0.1	0	0.15
Total	> 1.1 (78%)	> 0.60 (46%)	> 0.35 (39%)	> 0.1 (14%)	> 0.55 (52%)

Tabla recapitulativa (año promedio 1988-1991):

Cantidad de sedimentos (M Ton/año)	Situación actual	Situación de proyecto 1: (Obras de regulación en Calamar)
<i>Canal del Dique</i>	6.9	3.9 (-43%)
<i>Mar (por caño Correa)</i>	0.95	0.5 (-47%)
<i>Bahía de Barbacoas</i>	1.8	0.9 (-50%)
<i>Bahía de Cartagena</i>	1.6	0.7 (-56%)

Rem1: las cantidades de sedimentos de la situación actual son calculadas sobre la base de los dragados actuales con una entrada de sedimentos de 8.1 M Ton/año (promedio 1988-1991) en Calamar

Conclusión:

Con la solución propuesta:

- Se reduce de aprox. 40% en promedio el caudal sólido en el canal del Dique con relación a la situación actual, de 50% en la Bahía de Barbacoas y en el mar por el caño Correa,
- Se reduce de **55 % en promedio** la sedimentación en la Bahía de Cartagena,
- Hay una variación interanual importante (casi del simple al doble).

C. Impactos ambientales (simulación modelo matemático)

1. Sin mitigación

Impactos ambientales principales:

Un corte de caudal en el canal del Dique pudiera tener impactos ambientales, principalmente sobre:

- El Abastecimiento en agua potable,
- La cuña salida,
- La migración de los peces,
- El llenado de las ciénagas,

Ya que no se reduce el caudal de estiaje, la regulación de caudal no tiene impacto sobre el abastecimiento en agua potable y la cuña salida (ver capítulo “impactos ambientales”).

Las obras van a tener un impacto sobre la migración de los peces. Sin embargo medidas de mitigación serán tomadas como:

- Apertura de las compuertas en estiaje
- Construcción de una escala de peces
- Corrientes de atracción en la esclusa
- Respeto de los ciclos anuales de caudales.

Esos aspectos son estudiados más precisamente en el capítulo “impactos ambientales”. No se pueden estimar cuantitativamente en función de la gestión de las obras.

El último impacto solo se puede estimar cuantitativamente gracias a los resultados del modelo matemático hidráulico y de calidad de agua, desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia.

Impacto sobre la limnología de las ciénagas:

El Hidrógrama de referencia y el hidrógrama modificado (solución de gestión propuesta) fueron simulados en el modelo matemático de la UN.

Hipótesis:

- a. Condiciones limites : caudal ingresando :
 - Situación actual :
Caudal ingresando al canal = hidrógrama de referencia
 - Situación con obras de regulación :
Caudal ingresando al canal = hidrógrama de referencia modificado
(solución de gestión propuesta)
- b. Caños de conexión canal/ciénagas : actuales (no optimizado)
- c. Caños de conexión ciénagas/ciénagas : actuales (no optimizado)
- d. Condiciones de desborde del canal hacia las ciénagas : actuales (no optimizado)

Resultados:

La modelación matemática nos permite de estimar las incidencias de la regulación de caudal en la entrada del canal del Dique:

➤ Profundidad del canal:

La tabla siguiente da las profundidades mínimas, máximas y promedias del canal en función de las condiciones:

Sitio	Condiciones Actuales		Con regulación de caudal		Ambas
	Prof. Max. (m)	Prof. Prom (m)	Prof. Max. (m)	Prof. Prom (m)	Prof. Min (m)
<i>Km 19 Jobo</i>	14.16	12.25	12.85	11.51	8.14
<i>KM 25 Guájaro</i>	9.69	7.43	8.34	6.61	3.46
<i>Km 29 Guájaro</i>	9.03	6.82	7.86	6.00	3.00
<i>Km 41 Tupe</i>	9.68	7.78	8.91	7.03	3.98
<i>Km 52 Luisa</i>	9.17	7.84	8.94	7.23	4.52
<i>Km 65 Aguas Claras</i>	9.00	7.93	9.00	7.46	5.17
<i>Km 82 Juan Gómez</i>	7.25	6.52	7.25	6.21	4.49
<i>Km 82.5 Correa</i>	8.21	7.66	8.20	7.42	6.00
<i>Km 92 Palotal</i>	6.88	6.42	6.87	6.23	5.06
<i>Km 100 Matunilla</i>	6.38	6.07	6.37	5.93	5.10
<i>Km 108 Lequerica</i>	4.95	4.75	4.94	4.66	4.12
<i>Km 115 Pasacaballos</i>	3.22	3.20	3.22	3.19	3.10

Comentarios:

- La profundidad mínima es la misma para ambas condiciones simuladas (la solución de regulación no reduce el caudal de estiaje),
- Las diferencias de profundidad promedio y máxima son decrecientes de arriba hacia abajo a lo largo del canal,
- La diferencia de profundidad máxima varía entre 1.31m (9%) y 0 m del KM 19 hasta el KM 115 del Canal del Dique,
- La diferencia de profundidad promedio varía entre 0.82 m (12%) y 0.01 m del KM 19 hasta el KM 115 del Canal del Dique, el punto de mayor diferencia se encuentra al Km 29 (Guájaro).

➤ Volúmenes de desborde por Ciénaga

El volumen de desborde es un indicador del llenado de las ciénagas por efecto de las crecidas. Los resultados del modelo matemático figuran en la tabla siguiente:

Sitio	Condiciones Actuales		Con regulación de caudal	
	Caudal Max (m ³ /s)	Volumen (Millones m ³)	Caudal Max (m ³ /s)	Volumen (Millones m ³)
<i>Km 15-19 Jobo</i>	1.62	4.17	0	0
<i>Km 28-41 Tupe</i>	122.24	964.6	0	0
<i>Km 41-52 Luisa</i>	44.54	505.6	3.12	0.13
<i>Km 52-65 Aguas Claras + Matuya</i>	143.2	1934.1	5.4	39.48
<i>Km 66-88 Caracolí la Cruz</i>	5.84	37.8	5.83	2.67
<i>Km 84-92 Palotal</i>	1.35	26.4	1.35	6.04
<i>Km 3-10 Correa Honda</i>	32.5	1268	32.5	1238
<i>Km 92-100 Cien MD</i>	3.33	69.5	3.32	17.85

Comentarios:

- Las Ciénagas de Guájaro y de Jobo, que prácticamente no necesitan agua de desborde del canal del Dique, no son impactadas por la reducción de caudal,
- Las ciénagas ubicadas en el último tramo del canal (desde la confluencia con el caño Correa hasta Pasacaballos), son poco impactadas, porque la bajada de nivel ya no es significativa en el canal.
- Las ciénagas más impactadas en términos de llenado por desborde son las del tramo central del canal del Dique, entre el Km 28 y el Km 92 (Tupe, Luisa, Aguas Claras + Matuya, Caracolí la Cruz, Palotal)

➤ Índice limnológico

El modelo matemático permite también estimar un índice de estado limnológico parcial (IELP) del canal del Dique, tal que fue elaborado por la Universidad Nacional de Colombia. La definición más precisa de este indicador figura en Anexo 2. Los resultados Ciénaga por ciénaga figuran en la tabla siguiente:

Ciénaga	IELP simulado sin regulación de caudal	IELP simulado con regulación de caudal	Impacto
Jobo	57.7	60.1	+
Guájaro	54.1	54.1	=
La Luisa	47.2	39.5	-
Tupe Capote Zarzal	69.6	45.3	-
Matuya	45.1	36.5	-
Aguas Claras	51.5	47.8	-
Juan Gómez	64.3	64.3	=
Caracolí la Cruz	45.3	41.3	-
María la Baja	69.5	68.4	~ =
Palotal	46.5	40.2	-
Honda	57.5	56.1	~ =

Leyenda:



IELP superior a 60

IELP entre 60 y 50

IELP inferior a 50

Impacto: + positivo; - negativo ; = sin impacto ; ~ = impacto despreciable

Comentarios:

- Para 5 de las 11 ciénagas, la reducción de caudal es de impacto despreciable, nulo o positivo : Jobo, Guájaro, Juan Gómez, María la Baja y Honda,
- Para las 6 otras, hay un impacto negativo: La Luisa, Tupe, Matuya, Aguas Claras, Caracolí la Cruz y Palotal.
- Esa bajada del índice limnológico es debida a la deficiencia de alimentación de las ciénagas por desborde.
- El impacto es particularmente importante para las ciénagas que no tienen (algunas por falta de mantenimiento) conexiones controladas por caños: ciénagas la Luisa, Aguas Claras, Matuya, Palotal, La Honda y el Sistema Carabalí La Cruz.

➤ Conclusión

- En la situación actual, muchas conexiones entre el canal y las ciénagas son deficientes o tapadas: ciénagas la Luisa, Aguas Claras, Matuya, Palotal, La Honda y el Sistema Carabalí La Cruz.
- El caudal por desborde es la fuente principal de alimentación por una buena parte de las ciénagas del tramo central del canal del Dique. Por consecuencia, la bajada de nivel promedio del canal de 70 cm puede tener una influencia importante sobre la renovación del agua de las mismas.
- El impacto podrá ser mitigado con las medidas siguientes :
 - o Mejora de las conexiones entre las ciénagas y el canal por caños de alimentación: renovación de antiguos caños y/o nuevos caños.
 - o Nivelación de las orillas de las Ciénagas la Luisa, Aguas Claras, Matuya de 30 a 40 cm para favorecer la renovación de sus aguas por desborde del canal.

2. Con mitigación (proyecto)

El proyecto incluye medidas de mitigación de ese impacto:

- Mejora y mantenimiento de las conexiones canal/ciénaga por caños y, si necesario, por nivelación de orilla del canal,
- Mejora y mantenimiento de las conexiones ciénaga/ciénaga por caños.

El impacto del proyecto con las medidas de mitigación adecuadas será probablemente nulo o muy débil, ya que el caudal del canal permite asegurar el llenado de las ciénagas de la manera óptima: según los resultados del modelo matemático de la UN, un caudal promedio de solo 110 m³/s podría permitir mantener y hasta mejorar el estado de las ciénagas.

Eso significa que para las ciénagas de los tramos medio e inferior, en zonas en las cuales el nivel del canal del Dique disminuye poco con la regulación de caudal (50 hasta 70 cm. máximo), el proveimiento de ese caudal se alcanzaría con la mejora de las conexiones y de las condiciones de desborde.

Se necesitan nuevas simulaciones en el modelo matemático, tomando en cuenta las medidas de mitigación, para tener una idea del impacto en términos de IELP para cada ciénaga. Esos estudios complementarios y la optimización de las conexiones y nivelaciones necesarias se harán durante la fase 2 del proyecto.

Anexo 2:

Índice del estado limnológico⁸

A fin de hacer más sencilla la interpretación de las distintas condiciones que permiten establecer las condiciones adecuadas de las ciénagas del Canal del Dique, se propone la utilización de un índice que involucra la mayoría de los indicadores de estado reseñados en el capítulo anterior. Este índice puede interpretarse independientemente de la explicación que se obtenga de cada uno de los indicadores de la tabla siguiente. El índice del estado limnológico (IEL) construido para este trabajo, como otros índices de este tipo, se basa en combinaciones matemáticas que procuran reducir medidas de varias variables a un solo número. Este número representa un estado de la calidad del agua y de las condiciones ecológicas en las diferentes ciénagas. El IEL es una herramienta simplificada para examinar las condiciones ambientales actuales o en diferentes escenarios de estos ecosistemas y así guiar en la toma de decisiones más acertadas frente a una evaluación ambiental. Adicionalmente, las aplicaciones del IEL se fundamentan en funciones como: análisis de tendencias, reducción de información ambigua a resultados puntuales, clasificación de sitios según las condiciones ambientales, ayuda en la toma de decisiones y como fuente de información no sólo a la comunidad científica, sino a la comunidad en general.

El cómputo del IEL se basa en dos principios: el cálculo de los subíndices de calidad para cada una de las variables seleccionadas y la asignación de un factor de ponderación a cada una de ellas. El valor final del IEL corresponde a la sumatoria de todos los subíndices de calidad multiplicados por sus respectivas ponderaciones. Para la construcción de este índice se tomaron 12 variables indicadoras, tanto abióticas como biológicas. En la tabla siguiente se presentan con los valores de ponderación o importancia (vi) asignados. Como puede verse, los factores fisicoquímicos tienen un 60% de importancia y las variables bióticas un 40%. Los valores de importancia (vi) de la Tabla se establecieron tomando en cuenta la experiencia que se ha tenido previamente en estudios limnológicos y de calidad de aguas (Ramírez y Viña 1998) y la grado en que cada variable afecta o refleja el funcionamiento de las ciénagas tropicales (Arias 1985, Payne 1986, Esteves 1988, Roldán 1992, Pinilla 2005).

Para cada parámetro se desarrolló una curva de calidad dentro de una escala de 0-1 (0= baja calidad y 1= alta calidad) (Anexo B). Con base en estas curvas se estableció la relación entre las variables y los subíndices de calidad (ci) para cada una. De esta manera, dado un determinado valor de un parámetro, se estableció en la curva de calidad su correspondiente ci. La estructura matemática de IEL se basa en la sumatoria del producto de los subíndices (vi) y (ci) hallados para cada variable:

$$IEL = \sum_{i=1}^{11} v_i \cdot c_i \cdot 100$$

⁸ Extracto de: 2006; Estudios e investigaciones de la obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique. Cormagdalena – La importancia ecológica de las ciénagas del canal del Dique y la determinación de su estado limnológico. (Laboratorio de ensayos Hidráulicos – Facultad de Ingeniería, G. Pinilla, J. Duarte). *Capítulo 3*.

Tabla Subíndices de importancia (vi) asignados a las variables utilizadas para la construcción del IEL

Variable	Unidades	Valor (vi)
OD % Sat	%	0,15
pH	Unidades	0,05
Nitrato	mg/L	0,1
Fósforo Total	mg/L	0,1
N/P		0,1
Conductividad	μS/cm	0,05
Relación A/V		0,05
CPUE	Kg/canoa/día	0,15
Clorofila	mg/m3	0,1
Nygaard		0,07
BMWP		0,04
ASPT		0,04
SUMATORIA		1

Los valores del IEL fluctúan entre 0 y 100. En la tabla siguiente se presenta la interpretación propuesta a los rangos en que puede variar el IEL. Los estados limnológicos planteados son *crítico*, *aceptable*, *adecuado* e *ideal* y se refieren a la menor o mayor capacidad que tienen las ciénagas para cumplir adecuadamente sus funciones ecológicas. Dichas funciones apropiadas incluyen los siguientes procesos: buena capacidad de amortiguación de inundaciones, producción primaria alta, respiración alta, digestión de materia orgánica elevada, buena recirculación de nutrientes entre el sedimento y la columna de agua, transferencia eficiente de energía de los productores a los consumidores, producción pesquera alta y elevada diversidad de las comunidades biológicas.

Se aplicó el IEL a las ciénagas del Canal del Dique, utilizando los datos disponibles. Los resultados se muestran en la tabla siguiente. Con base en el IEL se concluye que la mayoría de las ciénagas presentan solo un aceptable funcionamiento ecológico, es decir, que existen procesos de disturbio que reducen su funcionamiento ecológico apropiado. Ninguna ciénaga tiene un funcionamiento adecuado y mucho menos óptimo o ideal. Por lo tanto, se puede decir que todos estos sistemas lagunares están sometidos en mayor o menor grado a procesos de deterioro. En general las ciénagas con un IEL mayor se caracterizan por los altos porcentaje de saturación de oxígeno, pH con tendencia a la neutralidad, nutrientes en rangos moderados y valores favorables de los indicadores biológicos (BMWP, ASPT, Nygaard, CPUE).

Tabla Clasificación limnológica con base en el índice del estado limnológico (IEL)

Valor del IEL	Significado
0-50	Estado limnológico <u>crítico</u> . La ciénaga está sometida a fuerte estrés que impide el cumplimiento de la mayoría de sus funciones ecológicas
51-65	Estado limnológico <u>aceptable</u> . La ciénaga se encuentra dentro de límites aceptables de funcionamiento, pero se presentan disturbios que disminuyen su capacidad de autorregulación
66-80	Estado limnológico <u>adecuado</u> . La ciénaga cumple la mayoría sus funciones ecológicas en forma razonable
81-100	Estado limnológico <u>ideal</u> . La ciénaga cumple todas sus funciones ecológicas adecuadamente

Tabla Clasificación del funcionamiento ecológico de algunas ciénagas del Canal del Dique según el IEL Completo

Ciénaga	Valor de IEL	Estado Limnológico
Ciénaga Máximo Deterioro	16,27	Crítico
Palotal	46,90	Crítico
Guájaro	46,98	Crítico
Jobo	48,70	Crítico
Juan Gómez	52,85	Aceptable
Honda	52,95	Aceptable
Matuya	53,12	Aceptable
Tupe	54,65	Aceptable
Zarzal	55,75	Aceptable
Capote	56,45	Aceptable
María La Baja	58,20	Aceptable
La Luisa	59,22	Aceptable
Aguas Claras	61,50	Aceptable

Las ciénagas con los valores más bajos IEL, en especial Palotal, Guájaro y Jobo, presentan menor porcentaje de saturación de oxígeno, elevada conductividad, baja producción pesquera y poca biomasa algal. En otras palabras, las funciones de producción primaria y transferencia energética hacia los niveles superiores de las redes tróficas están muy afectadas. Como valor de referencia, se incluye una ciénaga hipotética en la que el deterioro es máximo (hipereutrofizada, colmatada, sapróbica, ácida, mineralizada, con poca diversidad biológica y mínima producción pesquera). Esta ciénaga con deterioro extremo tendría un IEL de 16,2.

Se diseñó una segunda versión del IEL que difiere de la presentada arriba en que se eliminaron las variables que tiene que ver con los indicadores biológicos de fitoplancton (Nygaard) y de macroinvertebrados (BMWP y ASPT), así como la producción pesquera (CUEP), ya que en muchas ocasiones no se dispone de la información para calcular estos índices. Esta segunda versión se denominó **IEL Parcial**. En la Figura 14 se comparan los resultados al aplicar el IEL Completo y el IEL Parcial. Como puede observarse, cuando se aplica el IEL Parcial la mayoría de las ciénagas conservan la misma clasificación obtenida con el IEL Completo. Jobo y Guájaro pasan a condición aceptable y Honda disminuye su IEL a estado crítico; sin embargo, los cambios numéricos en el IEL en estas ciénagas es

pequeño. Esto muestra que el IEL Completo discrimina un poco mejor las condiciones ecológicas de las ciénagas al tener en cuenta los indicadores bióticos, pero que el IEL Parcial no muestra resultados muy diferentes. Por ello se podrían utilizar indistintamente.

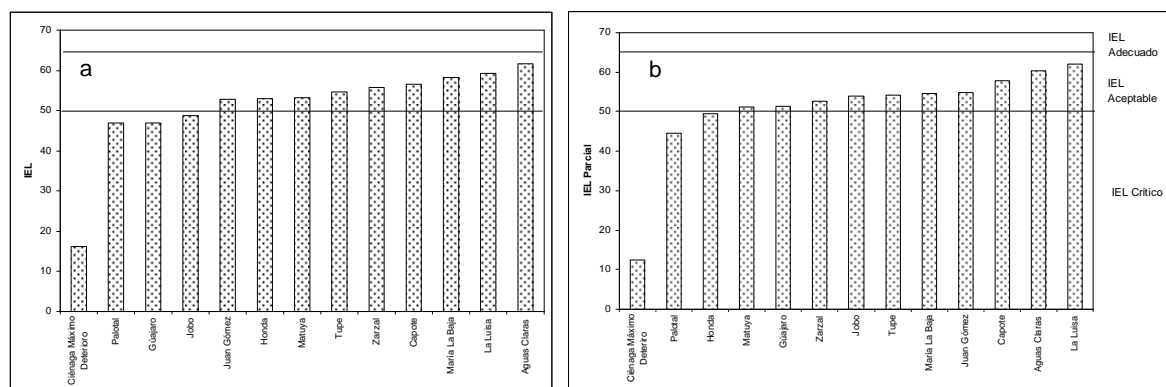


Figura Comparación entre el IEL Completo (a) y el IEL Parcial (b) aplicado a las ciénagas del Canal del Dique

Algunas consideraciones derivadas del IEL

- El estado limnológico de las ciénagas del Canal del Dique es aceptable sugiriendo que estos ecosistemas lénticos se encuentran dentro de los límites admisibles de funcionamiento. Estas funciones ecológicas se entienden como: producción primaria, respiración, digestión de la materia orgánica, circulación de nutrientes, transferencia de energía, producción pesquera y diversidad biológica.
- Existen disturbios en el sistema cenagoso del Canal del Dique que disminuyen en buen grado la capacidad de autorregulación de la mayoría de sus ciénagas.
- Las diferentes obras ejecutadas en el Canal del Dique a lo largo de los años han afectado las ciénagas, lo cual se refleja en que el estado limnológico de la mayoría de ellas no es del todo óptimo, sobretodo en lo referente a la producción pesquera y los cambios morfométricos.
- Existe una tendencia leve pero detectable a la degradación ambiental de las ciénagas a lo largo del tiempo.
- Las variables fisicoquímicas evidencian que el embalse del Guájaró presenta una contaminación fuerte. Este sistema registró un valor bajo del IEL, coincidente con su estado limnológico de regular calidad dentro del conjunto de ciénagas del Canal del Dique. Posiblemente la elevada intervención humana a que es sometido este sistema explica su calificación del IEL.
- Los índices bióticos ayudan a entender y explicar mejor el estado limnológico de las ciénagas. Por ello se recomienda utilizar el IEL que los incluye, aunque el IEL Parcial no difiere mucho en sus resultados.
- Las ciénagas Aguas Claras, La Luisa, María La Baja y el sistema cenagoso Capote, Tupe, Zarzal están en mejor estado limnológico que el resto de ciénagas tomadas en consideración en este estudio. Sin embargo, ninguna ciénaga alcanza la clasificación de funcionamiento adecuado y están lejos del valor ideal, lo que señala que en todas existen procesos que causan mayor o menor deterioro.

