



**MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y
DESARROLLO TERRITORIAL**

**RESOLUCIÓN NÚMERO
(2161)**

5 de noviembre de 2009

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

**EL ASESOR DE LA DIRECCIÓN DE LICENCIAS, PERMISOS
Y TRÁMITES AMBIENTALES**

En ejercicio de las funciones delegadas por el Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mediante Resolución 1393 de 8 de agosto de 2007 modificada con la resolución 178 del 4 de febrero de 2009, en especial con fundamento en lo determinado por las Leyes 99 de 1993 y 790 de 2002, el Decreto 216 de 2003, los Decretos 3266 de 2004, 1220 de 2005, 500 del 20 de febrero de 2006, y

CONSIDERANDO

Antecedentes

Que mediante Resolución No. 260 del 31 de marzo de 1997, el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, requirió a la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena - CORMAGDALENA-, para presentar un Plan de Restauración Ambiental de los Ecosistemas Degradados del Área de Influencia del Canal del Dique, y a la vez estructurar el Plan, estableciendo sus objetivos específicos, cobertura, plazos y Términos de Referencia.

Que a través de la Resolución 948 del 10 de noviembre de 1999, este Ministerio concedió a la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena - CORMAGDALENA-, un plazo de dos (2) años para la presentación del Plan de Restauración; contra dicho acto administrativo CORMAGDALENA interpuso recurso de reposición el cual fue resuelto mediante Resolución 918 del 8 de octubre de 2001 revocando el artículo segundo y confirmando en todo lo demás la Resolución 948 de 1999.

Que este Ministerio expidió la Resolución 921 del 8 de octubre de 2001, mediante la cual se modificó la Resolución 260 del 31 de marzo de 1997 en el sentido de establecer los alcances de los estudios para la restauración teniendo como referente el estado del canal en el año 1984 en las Bahías de Cartagena, Barbacoas, Canal del Dique y Sistema cenagoso asociado e influenciado por el Canal del Dique, incluyendo control de sedimentos a la entrada del sistema en calamar.

Que mediante Resolución 199 del 25 de febrero de 2002, este Ministerio aclaró el artículo cuarto de la Resolución 921 del 8 de octubre de 2001, en el sentido de establecer que CORMAGDALENA debe adelantar los estudios de Ingeniería básicos partiendo de la denominada Alternativa No. 4.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Que con la resolución 208 del 28 de febrero de 2002, este Ministerio rechazó por improcedente el recurso de reposición interpuesto por CORMAGDALENA en contra de la resolución 918 del 8 de octubre de 2001.

Que mediante Resolución 249 de 10 de marzo de 2004, este Ministerio modificó el artículo segundo de la Resolución No. 921 del 8 de octubre de 2001, en el sentido de solicitar a CORMAGDALENA, diseñar una alternativa de manejo hidrosedimentológico del Canal del Dique, para el Plan de Restauración Ambiental de los ecosistemas degradados que cumpla con unos requisitos técnicos y ambientales que se enuncian en dicho acto administrativo, para lo cual este Ministerio concedió un término de doce (12) meses contados a partir de la ejecutoria de la citada resolución.

Que con la resolución 0342 del 24 de marzo de 2004, este Ministerio estableció el Plan de Restauración Ambiental de los ecosistemas Degradados del Canal del Dique y se determinaron obligaciones.

Que la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – CORMAGDALENA-, mediante oficio No. 4120-E1-112308 de 21 de noviembre de 2006, solicitó ampliar el plazo en un (1) mes para la presentación del estudio que define la alternativa de control hidrosedimentológico en el Canal del Dique.

Que a través de la Resolución 2447 del 13 de diciembre de 2006, se modificó la Resolución 249 del 10 de marzo de 2004, en el sentido de conceder un nuevo plazo de noventa (90) días para que CORMAGDALENA presente el estudio de la selección de la alternativa de manejo hidrosedimentológico seleccionada del Canal del Dique; así mismo dicha resolución indicó que CORMAGDALENA, debía presentar los diseños definitivos de las obras de regulación en un plazo máximo de 12 meses contados a partir de la presentación a este Ministerio de la alternativa de manejo hidrosedimentológico del Canal del Dique para el Plan de Restauración Ambiental de los ecosistemas degradados.

Que con el Concepto Técnico 1818 del 22 de octubre de 2009, se evaluó el documento denominado “Alternativa de reducción del caudal en el canal del Dique mediante angostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa de Paricuica” presentado por CORMAGDALENA.

FUNDAMENTOS LEGALES

Del ambiente como derecho constitucional y deber del Estado

Que el artículo 8 de la Constitución Política establece que “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación.”

Que el artículo 79 *Ibíd*em, señala: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.”, consagrado no como un derecho constitucional fundamental sino como un derecho y un interés constitucional de carácter colectivo, que puede vincularse con la violación de otro derecho constitucional de rango o naturaleza fundamental, como la salud o la vida.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Que es deber del Estado proteger la biodiversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Que el artículo 80 de nuestra Carta Política, dispone para el Estado la obligación de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración y sustitución. Además deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Que en ese orden de ideas, es deber del Estado planificar el manejo de los recursos naturales a fin de garantizar su desarrollo sostenible, la norma constitucional hace referencia no solo a la Nación sino al conjunto de autoridades públicas, no solo por cuanto es un deber que naturalmente se predica de todas ellas sino, además, porque la Carta consagra obligaciones ecológicas de otras entidades territoriales.

Que igualmente, la norma Constitucional indica en su artículo 95, numeral 8, que toda persona está obligada a cumplir con la Constitución y las leyes y que dentro de los deberes del ciudadano se encuentra el de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Que la Constitución Política de Colombia en su artículo 209 reza:

“Artículo 209. La función administrativa está al servicio de los intereses generales se desarrolla con fundamento en los principios de igualdad, moralidad, eficacia, economía, celeridad, imparcialidad y publicidad, mediante la descentralización, la delegación y la desconcentración de funciones.

Las autoridades administrativas deben coordinar sus actuaciones para el adecuado cumplimiento de los fines del Estado. La administración pública, en todos sus órdenes, tendrá un control interno que se ejercerá en los términos que señale la ley.”

De la competencia del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

Que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial tiene competencia privativa para modificar el Plan de Restauración Ambiental de los Ecosistemas Degradados del Área de Influencia del Canal del Dique requerido con la Resolución No. 260 de fecha 31 de marzo de 1997, como organismo rector de la gestión ambiental, tendiente a la conservación y protección de los recursos naturales renovables y a garantizar a todas las personas un ambiente sano, por lo que debe ejecutar las políticas tendientes a cumplir los cometidos estatales en este aspecto.

Que el artículo segundo del Decreto 216 del 3 de febrero de 2003, contempla que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial continuará ejerciendo las funciones establecidas en la Ley 99 de 1993.

Que a través del Decreto 3266 del 8 de octubre de 2004, mediante el cual se modificó la Estructura del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se creó la Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales, adscrita al Despacho del Viceministro de Ambiente, al que se le asignó entre otras funciones, la de elaborar, revisar y expedir los actos administrativos por medio de los cuales se otorguen o nieguen las licencias ambientales y demás instrumentos de manejo y control ambiental de competencia de este ente administrativo, así como los actos

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

administrativos que sean necesarios para adelantar el procedimiento que tenga como fin el licenciamiento ambiental y demás autorizaciones ambientales.

Que el numeral 6 del artículo cuarto ibídem, establece como función, entre otras, la de elaborar, revisar y expedir los actos administrativos por medio de los cuales se otorguen o nieguen las licencias ambientales y demás instrumentos de manejo y control ambiental.

**CONSIDERACIONES DEL MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y
DESARROLLO TERRITORIAL**

La Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales de este Ministerio, una vez revisó, analizó y evaluó el documento *“Alternativa de reducción del caudal en el canal del Dique mediante angostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa de Paricuica”* allegado por CORMAGDALENA, emitió el Concepto Técnico 1818 del 22 de octubre de 2009, relacionado con el Plan de Restauración Ambiental de los Ecosistemas Degradados del Área de Influencia del Canal del Dique requerido con la Resolución No. 260 de fecha 31 de marzo de 1997, en el cual expresó lo siguiente:

“2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La cuenca del Canal del Dique se localiza en la región Caribe y las estribaciones de la Serranía de San Jacinto, cubre parte de los departamentos de Atlántico, Magdalena, Bolívar y Sucre con una superficie total de 4136.2 Km² y una longitud de 116 Km desde Calamar hasta su desembocadura en la bahía de Cartagena. Se encuentra localizado en la margen oriental del tramo inferior del denominado Bajo Magdalena y a través de los caños Correa, Baya, Matunilla y Lequerica presenta desembocaduras hacia mar abierto y hacia la bahía de Barbacoas.

En la cuenca afloran rocas de edad Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) y Terciario (Paleoceno hasta Mioceno) predominando en su zona inundable depósitos aluviales de diferente índole. Estructuralmente se encuentra dentro de los sistemas montañosos de los Cinturones de San Jacinto y del Sinú. El anticlinorio de San Jacinto se caracteriza por estructuras geológicas (anticlinales y sinclinales) muy apretadas y alargadas en dirección N 20° E. El fracturamiento regional esta asociado a fallas inversas paralelas a la dirección estructural general del área. El Cinturón del Sinú presenta una complejidad estructural menor.

Geomorfológicamente la cuenca del canal se caracteriza por presentar extensas llanuras de inundación con un complejo de zonas de ciénagas y tres zonas fácilmente diferenciables: Alto, Medio y Bajo o Delta Canal del Dique.

El Alto Canal del Dique va desde Calamar hasta la población de Soplaviento con una longitud de 33 Km y en este tramo se encuentran el Embalse del Guájaro y las ciénagas de Machado (Los Negros) y el Hobo. Cubre un área de 540.36 Km². A la altura de la población de Santa Lucía desemboca el Viejo Canal del Dique (Km 10)

El Medio Canal del Dique va desde el Km 33 hasta el Km 82 donde se desprende el Caño Correa y en su recorrido alimenta las ciénagas Capote; Tupe-Zarzal, Matuya, La Luisa, Aguas Claras y María La Baja. Cubre una área de 351 km².

El Bajo o Delta del Canal del Dique va desde el Caño Correa hasta Pasacaballos cubriendo un área de 311.7 Km². En este trayecto se encuentran las ciénagas de Juan Gómez y Palotal.

Las ciénagas Matunilla, Benitez y de la Barces se encuentran sedimentadas.

En Pasacaballos el avance de las lengüetas (prolongación de la orilla en forma de lengüeta) se incrementó significativamente después de las rectificaciones realizadas entre 1981 y 1984, las cuales aumentaron los aportes del Canal del Dique a la bahía de Cartagena. Este crecimiento ha generado muchos problemas operativos a los pescadores quienes se ven en la necesidad de desplazarse aproximadamente 1 km. más para realizar sus faenas de pesca, por tanto durante la ejecución del dragado en el 2002, CORMAGDALENA se comprometió a colaborar con el dragado de los caños interiores para así facilitar las actividades de los pescadores.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

2.1 INTERCONEXIÓN CANAL – CIÉNAGAS

- a) *Las interconexiones Canal – Ciénagas del sistema lagunar del Canal del Dique están conformadas por caños en los cuales, el flujo depende del nivel, si hay un mayor nivel en el Canal que en la ciénaga, se presentará un flujo del Canal a la Ciénaga, en caso de que suceda lo contrario, se invertirá el flujo. La cantidad y el sentido del flujo Canal – Ciénaga es variable en el tiempo según la condición de niveles que se presenten en la Ciénaga y en el Canal del Dique. Los caños de enlace, por ciénaga, son los siguientes:*

Ciénaga Hobo. *El caño Hobo es el que enlaza la ciénaga Hobo con el Canal del Dique, en el K19+500.*

Embalse del Guájaro. *El Embalse del Guájaro está interconectado con el Canal del Dique. La alimentación principal ocurre en el K25 por las compuertas de El Limón (hasta 250 m³/s). Las otras compuertas se ubican en el K30 cerca a la población de Villa Rosa. Los niveles del Embalse son controlados con la apertura y con el cierre de estas compuertas.*

Ciénaga La Luisa. *El caño de conexión con el Canal del Dique se ubica en el K43,6.*

Ciénaga Capote-Tupe-Zarzal. *Los caños Mahates – Zarzal y Mahates – Matuya son los que alimentan al sistema cenagoso Capote-Tupe-Zarzal con el Canal del Dique y se localizan en el K52.*

Ciénaga Aguas Claras. *El caño que enlaza la ciénaga Aguas Claras con el Canal del Dique se ubica en el K66.*

Ciénaga María La Baja. *A partir de K3+800 del caño Correa, se bifurca el caño Correa – Ciénaga María La Baja, que se comunica con la ciénaga de María La Baja. Tiene una longitud aproximada de 3.2 Km. La Ciénaga María la Baja presenta un sistema complejo en aguas altas cuando el agua que le entra lo hace por corrientes de las subcuencas de drenaje y caños que van paralelos al Canal, provenientes de otras ciénagas menores localizadas aguas arriba. También cuenta con influencia de la marea puesto que está conectada al Caño Correa. Sin embargo, en épocas de aguas altas, la ciénaga recibe una cantidad importante de caudal por desbordamientos del Canal.*

Ciénaga de Juan Gómez. *El caño Juan Gómez, localizado sobre la margen derecha del Canal del Dique, en el K82, comunica la dársena de ACUACAR, que se emplea para suministrar agua al acueducto de Cartagena, con la ciénaga Juan Gómez, tiene una longitud aproximada de 1.5 km.*

Ciénaga de Palotal. *El caño Palotal se bifurca en la margen izquierda del Canal del Dique en el K92, durante las crecientes, aporta aguas hacia la ciénaga de Palotal.*

2.2 CAÑOS DE DERIVACIÓN DEL CANAL DEL DIQUE

Los principales caños de drenaje, que se localizan en el Bajo Canal del Dique, son los siguientes:

Caño Correa. *Se bifurca en la margen izquierda del Canal del Dique, en el K82+500. Tiene una longitud aproximada de 31 Km, hasta su desembocadura en mar abierto por Boca Luisa. Adicionalmente tiene otras desembocaduras en el mar. A partir de K19+800 se bifurca el caño Rico de 9 Km de longitud hasta Boca Cerrada. A partir de K22+900 se bifurca al caño Portobelo, de 6,5 Km de longitud hasta Boca Puerto Belito.*

Caño Baya. *Se bifurca en la margen izquierda del Canal del Dique en el K88. Durante las crecientes, aporta aguas hacia la ciénaga La Honda, descargando los excedentes hacia el mar por Boca Cerrada.*

Caño Matunilla. *Se bifurca en la margen izquierda del Canal del Dique, en el K100, y desemboca en la bahía de Barbacoas, tiene una longitud aproximada de 6 Km.*

Caño Lequerica. *Se bifurca en la margen izquierda del Canal del Dique, en el K108, y desemboca en la bahía de Barbacoas, tiene una longitud aproximada de 4 Km.*

Que el concepto técnico 1818 del 22 de octubre de 2009, presenta las siguientes Consideraciones Técnicas:

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

“El Estudio “Alternativa de reducción del caudal en el canal del Dique mediante angostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa de Paricuica” establece lo siguiente:

Objetivo: Se trata de realizar la modelación matemática del Canal del Dique, su sistema lagunar, la zona marina de la bahía de Barbacoas y la desembocadura del Caño Correa al mar, con el fin de analizar la posibilidad de reducir el caudal hacia la Bahía de Cartagena mediante angostamientos parciales de la sección transversal a lo largo del mismo.”

En relación con el Análisis Hidroclimatológicos

“Los estudios hidroclimatológicos se realizaron para un período de diez (10) años que se considera representativo desde el punto de vista estadístico, el periodo de registro correspondió a 1988-1997.

Se realizaron análisis de curvas de calibración en estaciones hidrométricas, generación de series de variables hidrológicas y meteorológicas diarias, entre otros; mediante metodologías y grados de correlación adecuados. Los análisis se realizaron con el objeto de preparar las series hidroclimatológicas a nivel diario para el período 1988-1997, información básica para realizar la modelación acoplada hidrología-hidráulica al intervalo de cálculo del modelo hidráulico (subdiario), evaluando el balance hídrico y estableciendo los aportes ciénaga-canal o canal-ciénaga, para cada cuerpo cenagoso importante, para incluirlos en el modelo acoplado, puesto que estos aportes ayudan a mantener la dinámica del sistema de ciénagas y el canal del dique, garantizando de esta manera que se conservaran los servicios ambientales del sistema, cumpliendo con las exigencias de este Ministerio.”

En relación con la Modelación Hidráulica

“Con el fin de apoyar la evaluación de la factibilidad técnica de disminución del caudal en el Canal del Dique y su Sistema Lagunar se modelaron matemáticamente diferentes alternativas.

Se realizaron varias inspecciones de campo, y una campaña topo batimétrica para recolectar información relevante y necesaria para el modelo matemático y la simulación de escenarios. Se realizó una amplia modelación preliminar para precisar el efecto y la mejor localización de los sitios de reducción de la sección transversal del Canal del Dique y del efecto de una compuerta-esclusa de Paricuica aguas abajo en el sector del Recreo. Se consideraron alternativas de reducción generalizada del caudal en el sistema mediante el angostamiento de la sección transversal en diferentes sectores del Canal estratégicamente seleccionados; alternativas de reducción del caudal y sedimentos hacia la Bahía de Cartagena mediante compuerta-esclusa en el sector de Paricuica localizada ésta, bien en el kilómetro 104, o en el kilómetro 110 del Canal; y alternativas que combinan, tanto la construcción de los angostamientos de la sección transversal del Canal, como la construcción de la compuerta -esclusa.

La modelación de seis alternativas estudiadas se realizó mediante el modelo matemático integrado hidráulico, de calidad del agua y ecológico del Canal del Dique y su Sistema Lagunar implementado en el proyecto CORMAGDALENA-UNAL (2007a, 2007b; Camacho et al., 2008) en la plataforma SIMULINK de MATLAB (The MATHWORKS Inc, 1996) con algunas modificaciones y actualizaciones incorporadas en el presente trabajo. La modelación se realizó también con el apoyo del modelo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center- U.S. Army Corps of Engineers), implementado por la Universidad del Norte (IDEHA, 1999, 2002, 2003a, 2003b), para las condiciones de caudales bajos sin desborde lateral.

3.2.1 Consideraciones para la modelación matemática de la reducción del caudal en el canal del dique

3.2.1.1 Objetivos de la modelación matemática de reducción del caudal

Específicamente, con el modelo matemático en este proyecto se calculó:

- Caudales y niveles de agua en el Canal del Dique, los caños Correa, Matunilla y Lequerica, y los caños de interconexión con las ciénagas, y niveles de agua en las ciénagas, bajo diferentes condiciones hidrológicas e hidrogramas de entrada en Calamar, y considerando diferentes alternativas de reducción del caudal en el sistema mediante angostamientos parciales de la sección transversal en algunos sectores a lo largo del mismo y una compuerta-esclusa en el sector de Paricuica.
- Sedimentos en suspensión y sedimentación en el Canal del Dique, los caños, las ciénagas y la carga sólida aportada a las bahías de Cartagena y Barbacoas, bajo diferentes condiciones hidrológicas, hidrogramas y carga sólida a la entrada por Calamar, y considerando las alternativas de reducción en el caudal en el sistema.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

- *Calidad bacteriológica, biológica y físico-química del agua del Canal del Dique, los caños y las ciénagas, bajo diferentes condiciones hidrológicas y carga contaminante a la entrada por Calamar y considerando las alternativas de reducción en el caudal en el sistema.*

3.2.1.2 Metodología

Con el fin de apoyar el análisis de factibilidad de reducción de la carga sedimentológica que llega a la Bahía de Cartagena por reducción del caudal en el Canal del Dique mediante angostamiento de la sección del Canal por sectores y la construcción de la compuerta-esclusa de Paricuica en el sector del Recreo se siguió la siguiente metodología:

- *Realización de inspecciones de campo y una campaña de mediciones topo batimétrica con el fin de corroborar los sitios de desborde y actualizar las secciones transversales actuales del Canal en varios sectores, de los caños de intercambio canal-ciénaga, y de los rompederos o sitios de desborde actuales. Esto con el fin de reducir la incertidumbre y mejorar la precisión de los resultados del modelo en los caudales y volúmenes de agua de intercambio con las ciénagas.*
- *Actualización del modelo integrado hidráulico, de calidad del agua y limnológico del Canal del Dique CORMAGDALENA-UNAL (2007b) con los datos recopilados, y re-calibración hidráulica del modelo.*
- *Implementación y análisis matemático preliminar amplio mediante la utilización del modelo HEC-RAS en condiciones de caudal bajo, sin desborde lateral, para precisar el efecto y la mejor localización de los sitios de reducción de la sección transversal del Canal del Dique; del efecto de la compuerta-esclusa aguas abajo en el sector de Paricuica; y de la geometría básica factible y efectiva de las obras de angostamiento y cotas de la compuerta-esclusa.*
- *Definición conceptual de alternativas de disminución de caudal y sedimentos a ser evaluadas en forma completa en los aspectos de comportamiento hidráulico, de calidad del agua y limnológico del Canal del Dique y el sistema lagunar.*
- *Definición geométrica de las obras de angostamiento, cotas de las compuertas-esclusas consideradas y localización e implementación de las alternativas en el modelo integrado (CORMAGDALENA-UNAL, 2007b) actualizado.*
- *Simulación matemática de alternativas y análisis de resultados de comportamiento y efecto de disminución del caudal en el Canal del Dique y el sistema lagunar.*
- *Generación de hidrogramas de caudal y curvas de concentración de todos los determinantes de calidad del agua modelados (sólidos suspendidos totales SST, temperatura, oxígeno disuelto, etc) en las Bocas de los Caños Correa, Matunilla y Lequerica de las diferentes alternativas que constituyen los datos de entrada requeridos para la modelación de la zona marina de la Bahía de Barbacoas.*

3.2.2 Actualización del modelo matemático del canal del dique

Nuevas secciones transversales y discretización hidráulica

En el presente estudio se utilizó una discretización del sistema del Canal del Dique más detallada aumentando los tramos de análisis empleados en el estudio CORMAGDALENA-UNAL (2007b). El Canal fue dividido en 68 tramos de análisis y se consideraron 5 tramos adicionales en los caños Correa, Matunilla y Lequerica, para tener una representación más precisa del sistema, en particular de los desbordes de caudal lateral a lo largo del Canal.

Los tramos de análisis fueron definidos teniendo en cuenta la localización de la confluencia de los caños y cuerpos de agua lagunares, así como la localización de estaciones hidrográficas y la ubicación de compuertas y secciones transversales contraídas evaluadas en el presente estudio. La mayor parte del modelo está dividido en tramos de un kilómetro, pero en las zonas donde se identificó que no existían desbordes o algún tipo de conexión con otros cuerpos de agua, se utilizaron tramos de análisis de mayor longitud. La descripción de los 68 tramos considerados se presenta en la tabla 3.3 con el fin de dejar el registro de la actualización del modelo integrado (CORMAGDALENA-UNAL, 2007b).

TABLA 3.3 Descripción de los tramos de análisis en el Canal del Dique

Tramo No	Descripción Tramo (de – a)	Abscisas (km)	Longitud Tramo (km)
1	Calamar (Inicio contracción No.1)- Kilómetro 1	0 - 1.0	1.0
2	Kilómetro 1 - Kilómetro 2	1.0 - 2.0	1.0

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

TABLA 3.3 Descripción de los tramos de análisis en el Canal del Dique

Tramo No	Descripción Tramo (de – a)	Abcisas (km)	Longitud Tramo (km)
3	Kilómetro 2 - Kilómetro 3	2.0 - 3.0	1.0
4	Kilómetro 3 - Kilómetro 4	3.0 - 4.0	1.0
5	Kilómetro 4 - Kilómetro 5	4.0 - 5.0	1.0
6	Kilómetro 5 - Fin contracción No.1	5.0 - 6.0	1.0
7	Fin contracción No.1 - Estación Incora K7	6.0 - 7.0	1.0
8	Estación Incora K7 - Kilómetro 8	7.0 - 8.0	1.0
9	Kilómetro 8 - Santa Lucia	8.0 - 9.0	1.0
10	Santa Lucia - Kilómetro 12	9.0 - 12.0	3.0
11	Kilómetro 12 - Distrito de Riego Santa Lucia	12.0 - 15.0	3.0
12	Distrito de Riego Santa Lucia - Conexión Ciénaga de Jobo	15.0 - 19.5	4.5
13	Conexión Ciénaga de Jobo - Kilómetro 23	19.5 - 23.0	3.5
14	Kilómetro 23 - Entrada embalse del Guájaro	23.0 - 25.5	2.5
15	Entrada embalse del Guájaro - Kilómetro 28	25.5 - 28.0	2.5
16	Kilómetro 28 - Salida del Guájaro	28.0 - 31.0	3.0
17	Salida del Guájaro – Soplaviento	31.0 - 33.0	2.0
18	Soplaviento - Kilómetro 33	33.0 - 35.0	2.0
19	Kilómetro 33 - Kilómetro 36.5	35.0 - 37.0	2.0
20	Kilómetro 37 - Nueva conexión propuesta ciénaga de Capote	37.0 - 38.0	1.0
21	Nueva conexión propuesta ciénaga de Capote - Conexión Ciénaga de Tupe	38.0 - 41.8	3.8
22	Conexión Ciénaga de Tupe - Kilómetro 42.5	41.8 - 42.5	0.7
23	Kilómetro 42.5 - Conexión Ciénaga La Luisa (Inicio contracción No.2)	42.5 - 43.0	0.5
24	Inicio contracción No.2 - Kilómetro 45	43.0 - 45.0	2.0
25	Kilómetro 45 - Kilómetro 46	45.0 - 46.0	1.0
26	Kilómetro 46 - Kilómetro 47	46.0 - 47.0	1.0
27	Kilómetro 47 - Fin contracción No.2	47.0 - 48.0	1.0
28	Fin contracción No.2 - Kilómetro 49	48.0 - 49.0	1.0
29	Kilómetro 49 - Kilómetro 50	49.0 - 50.0	1.0
30	Kilómetro 50 - Kilómetro 51	50.0 - 51.0	1.0
31	Kilómetro 51 - Conexión Ciénaga de Zarzal	51.0 - 52.0	1.0
32	Conexión Ciénaga de Zarzal - Kilómetro 54	52.0 - 54.0	2.0
33	Kilómetro 54 - Kilómetro 55	54.0 - 55.0	1.0
34	Kilómetro 55 - Kilómetro 57	55.0 - 57.0	2.0
35	Kilómetro 57 - Conexión Ciénaga de Matuya	57.0 - 59.0	2.0
36	Conexión Ciénaga de Matuya - Nueva conexión propuesta ciénaga de Aguas Claras	59.0 - 61.0	2.0
37	Nueva conexión propuesta ciénaga de Aguas Claras - Kilómetro 63	61.0 - 63.0	2.0
38	Kilómetro 63 - Conexión Ciénaga de Aguas Claras	63.0 - 65.4	2.4
39	Conexión Ciénaga de Aguas Claras - Gambote	65.4 - 66.0	0.6
40	Gambote - Kilómetro 68	66.0 - 68.0	2.0
41	Kilómetro 68 - Kilómetro 70	68.0 - 70.0	2.0
42	Kilómetro 70 - Inicio de contracción No.3	70.0 - 72.0	2.0
43	Inicio de contracción No.3 - Sistema Carabalí – La Cruz	72.0 - 73.0	1.0
44	Sistema Carabalí - La Cruz - Kilómetro 74	73.0 - 74.0	1.0
45	Kilómetro 74 - Kilómetro 75	74.0 - 75.0	1.0
46	Kilómetro 75 - Kilómetro 76	75.0 - 76.0	1.0
47	Kilómetro 76 - Fin de contracción No.3	76.0 - 77.0	1.0
48	Fin de contracción No.3 - Kilómetro 78	77.0 - 78.0	1.0
49	Kilómetro 78 - Kilómetro 79	78.0 - 79.0	1.0
50	Kilómetro 79 - Conexión libre Ciénaga de Juan Gómez	79.0 - 80.0	1.0
51	Conexión libre Ciénaga de Juan Gómez – Conexión controlada compuertas	80.0 - 81.5	1.5
52	Ciénaga de Juan Gómez – Estación Santa Helena I (Conexión Caño Correa)	81.5 - 82.5	1.0
53	Estación Santa Helena I - Kilómetro 83.5	82.5 - 83.5	1.0
54	Kilómetro 83.5 - Estación Santa Helena II	83.5 - 84.5	1.0
55	Estación Santa Helena II - Kilómetro 86	84.5 - 86.0	1.5
56	Kilómetro 86 - Kilómetro 88	86.0 - 88.0	2.0

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

TABLA 3.3 Descripción de los tramos de análisis en el Canal del Dique

Tramo No	Descripción Tramo (de – a)	Abscisas (km)	Longitud Tramo (km)
57	Kilómetro 88 - Kilómetro 90	88.0 - 90.0	2.0
58	Kilómetro 90 - Vieja conexión Ciénaga de Palotal	90.0 - 92.0	2.0
59	Conexión Ciénaga de Palotal – Kilómetro 94	92.0 - 94.0	2.0
60	Kilómetro 94 - Kilómetro 96	94.0 - 96.0	2.0
61	Kilómetro 96 - Kilómetro 98	96.0 - 98.0	2.0
62	Kilómetro 98 - Conexión Caño Matunilla	98.0 - 100.0	2.0
63	Conexión Caño Matunilla - Kilómetro 101	100.0 - 101.0	1.0
64	Kilómetro 101 - Kilómetro 102	101.0 - 102.0	1.0
65	Kilómetro 102 - Kilómetro 103	102.0 - 103.0	1.0
66	Kilómetro 103 - Compuerta propuesta No.1	103.0 - 104.0	1.0
67	Kilómetro 104 - Conexión Caño Lequerica	104.0 - 108.0	4.0
68a	Conexión Caño Lequerica - Compuerta propuesta No.2	108.0 - 110.0	2.0
68b	Conexión Caño Lequerica - Pasacaballos	108.0 - 115.0	7.0

TABLA 3.4 Revisión de datos de interconexiones ciénaga-canal

Parámetros hidráulicos conexiones ciénaga - canal optimizados

Ciénaga	Ancho Canal Interconexión W (m)		Altura Interconexión P_{ci} (m) Paramento	
	Condición Actual	Condición Actual Mejorada	Condición Actual	Condición Actual Mejorada
Jobo	10	10	1.5	2
Capote-Tupe	8	20	2	1.75
Luisa	2	12	3	2
Zarzal	12	18	2	1.5
Matuya	3	12	2.3	1.2
Aguas Claras	9	7	2	2
Carabalí – Cruz	4	12	3	1.15
Juan Gómez	3	4	3	2
Palotal	7	3	2	2
María La Baja	20	20	1	1
La Honda	3	8	3.5	3

3.2.3 Resultados del proceso de re-calibración del modelo hidráulico

El modelo con los datos actualizados y utilizando la discretización hidráulica más detallada fue recalibrado. En la calibración de la componente hidráulica del modelo se utilizaron los hidrogramas de caudal diarios observados en las estaciones limnimétricas de Calamar, Incora, Gambote, Santa Helena 1 y Santa Helena 2 correspondiente a la serie de tiempo continua de enero de 1988 a diciembre de 1991. El modelo se validó con otra serie de tiempo continua de seis años, correspondiente a la serie correspondiente al periodo de enero de 1992 a diciembre de 1997. Es importante notar que desafortunadamente no existen estaciones con registros confiables en la zona baja del Canal del Dique y los caños Correa, Lequerica y Matunilla que permitan la calibración del modelo en esta zona.

La metodología de calibración utilizada se basó en simulaciones de MonteCarlo (Céspedes y Camacho, 2004) y UNIANDES-ACUAGYR (2005), utilizando el método GLUE (Beven y Binley, 1992). Los parámetros efectivos de calibración del modelo para cada tramo entre estaciones hidrométricas son: el coeficiente de rugosidad n-Manning, y el coeficiente de descarga de vertedero lateral, Cd, con el cual se modela el caudal de desborde lateral de cada subtramo del Canal del Dique hacia las ciénagas.

Los resultados de la calibración del modelo por tramos del Canal del Dique entre estaciones hidrométricas se resumen, en la tabla 3.5. Como función objetivo de bondad de ajuste se presenta el coeficiente de determinación de Nash y Sutcliffe (1970).

TABLA 3.5 Resultados de calibración del modelo hidráulico

Tramo	Calibración R²
Incora K7 – Gambote	0.9962
Gambote – Santa Helena 1	0.9715
Santa Helena 1 – Santa Helena 2	0.9407

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Los resultados de calibración ($R^2 = 0.9962$) en el tramo de Incora K-7 a Gambote se consideran muy buenos, ya que reflejan que las interacciones ciénaga – canal y los caudales de desborde de la parte alta están muy bien representados en el modelo.

Por su parte, los buenos resultados obtenidos en el tramo entre Gambote y Santa Helena 1 indican que los desbordos de esta zona media están bien representados. Finalmente, los buenos resultados de calibración obtenidos en la estación Santa Helena 2 demuestran que la derivación de caudales en la bifurcación del canal del Dique hacia el caño Correa es correcta en el modelo.

Para la modelación de la componente de calidad del agua y limnología de las ciénagas se utilizaron en este estudio las mismas constantes cinéticas y tasas de reacción calibradas en el proyecto CORMAGDALENA-UNAL (2007a, 2007b).

3.2.4 Resultados de la simulación de alternativas en el canal del dique

Con el modelo integrado apropiadamente calibrado se realizó la evaluación matemática de alternativas de reducción del caudal en el Canal del Dique como escenario de manejo hidrosedimentológico del Canal y su sistema lagunar.

Con la herramienta matemática se cuantificó la disminución del caudal que se alcanza mediante la alternativa de construcción de angostamientos de la sección transversal en tramos rectos a lo largo del Canal y se evaluó el comportamiento hidráulico, de calidad del agua y limnológico resultante en el sistema.

A su vez se cuantificó el efecto de construcción de la compuerta-esclusa de Paricuica aguas abajo del Canal del Dique en el sector del Recreo con el fin de controlar totalmente los caudales y sedimentos de entrada a la Bahía de Cartagena. Específicamente se modeló el comportamiento del sistema para dos alternativas de sitios de localización de dicha compuerta-esclusa. La primera localización entre los caños Matunilla y Lequerica sugerida en el Kilómetro 104 del Canal (RK 104) por la compañía CNR (CNR-CORMAGDALENA, 2007) y la segunda en el Kilómetro 110 aguas abajo del Caño Lequerica.

También se modelaron alternativas combinadas de construcción de angostamientos a lo largo del canal y la construcción simultánea de la compuerta de Paricuica.

Mediante el modelo integrado calibrado se cuantificaron los efectos hidráulicos, de calidad del agua y limnológicos de las obras alternativas, tales como reducción o aumento de caudal y sus implicaciones en los volúmenes de intercambio en los caños de conexión canal – ciénaga, así como las implicaciones del aumento de los hidrogramas de caudal en los caños Correa, Matunilla, Lequerica. Los impactos hidráulicos y sedimentológico en la zona costera de la desembocadura del Caño Correa y sobre la bahía de Barbacoas, se evaluaron por parte del Grupo de Investigación Oceánicos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional sede Medellín y se presentan más adelante.

Alternativas simuladas matemáticamente:

El ejercicio de modelación matemática del presente proyecto incluyó el montaje, simulación y análisis de las siguientes condiciones y alternativas:

- Condición actual de referencia sin angostamientos ni compuerta-esclusa
- Alternativa 2: Canal del Dique solamente con compuerta-esclusa en el RK104
- Alternativa 3: Canal del Dique con angostamientos de la sección transversal
- Alternativa 4: Canal del Dique con angostamientos y compuerta-esclusa en el RK104
- Alternativa 5: Canal del Dique solamente con compuerta-esclusa en el RK110
- Alternativa 6: Canal del Dique con angostamientos y compuerta-esclusa en el RK1102

“Teórica y conceptualmente los angostamientos de la sección transversal del Canal del Dique en algunos tramos tienen el potencial de producir el efecto de disminución del caudal que entra al Canal, y de mantener altos los niveles de agua por el efecto de remanso que generan hacia aguas arriba. Estas dos condiciones se consideran potencialmente favorables como alternativa para el manejo hidrosedimentológico del sistema pues la reducción del caudal genera una disminución efectiva del aporte de los caudales sólidos y sedimentos, y los niveles de agua altos favorecen el intercambio de agua que es necesario entre el Canal y las ciénagas.

En las alternativas evaluadas A3, A4 y A6 los angostamientos en las secciones transversales del Canal (o contracciones) están localizados y tienen una longitud dada por:

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Angostamiento No. 1:	Km 0 - Km 6	Longitud = 6 Km
Angostamiento No. 2:	Km 45 - Km 48	Longitud = 5 Km
Angostamiento No. 3:	Km 72 - Km 77	Longitud = 5 Km

Estos angostamientos se definieron iterativamente a partir de un amplio número de simulaciones y escenarios preliminares que permitieron definir su mejor localización y longitud para generar los dos efectos deseados. A lo largo de los angostamientos se definió una sección transversal trapezoidal con una base de 40 m de ancha y un talud 1V:1H.

Si bien los angostamientos de la sección transversal restringen la navegación del flujo de las embarcaciones y convoyes grandes en un solo sentido, este impacto se considera menor, toda vez que la frecuencia de viajes no es muy alta y con un ligero proceso de regulación en el tránsito de remolques-planchones puede ser fácilmente controlado.

Por su parte en las Alternativas 2, 4, 5 y 6 se ha considerado la construcción de una compuerta-esclusa aguas abajo en el Canal del Dique que permita controlar el flujo de agua y sedimentos que llegue por Pasacaballos a la bahía de Cartagena, desviando dicho flujo hacia la bahía de Barbacoas a través de los caños Matunilla y/o Lequerica. Se han considerado a nivel de evaluación preliminar de alternativas dos posibles sitios de localización de la compuerta-esclusa. El primer sitio preliminar, alternativas 2 y 4, es el propuesto en la zona del Recreo entre los caños Matunilla y Lequerica por CNR-CORMAGDALENA (2006) en el Kilómetro 104 del Canal del Dique (RK 104). El segundo sitio propuesto en este estudio, alternativas 5 y 6, está localizado en el Kilómetro 110 (RK 110) justo aguas abajo de la bifurcación del caño Lequerica para aprovechar la derivación del flujo hacia la Bahía de Barbacoas y controlar el flujo de agua y sedimentos que sigue hacia Pasacaballos.

La compuerta-esclusa evaluada en el Kilómetro RK104 tendría una profundidad de 5.80 m desde el lecho del canal hasta la corona, y una longitud aproximada en la cresta de 104 metros. En la Alternativa 2 que contempla solo la compuerta, se presenta un rango de variación de la profundidad en el K104 entre 5.13 y 5.14 metros, y de 5.12 y 5.14 metros en la Alternativa 4.

La compuerta-esclusa evaluada en el Kilómetro RK110 tendría una profundidad de 3.55 m desde el lecho del canal hasta la corona, y una longitud aproximada en la cresta de 94 metros. Los resultados encontrados en el modelo determinan que la profundidad tiene un rango de variación entre 3.54 y 3.56 metros en la Alternativa 5 en cercanías a la compuerta-esclusa, y un rango de variación entre 3.53 y 3.55 en la Alternativa 6. Esta compuerta-esclusa resulta ser por lo tanto sustancialmente pequeña.

3.2.5 Hidrogramas de caudal

Se simuló el río Magdalena como un embalse cuya descarga coincidiera con la curva de calibración registrada en la estación hidrométrica INCORA, ubicada en el kilómetro 7 aguas abajo del inicio del Canal del Dique. Se evaluaron 27 condiciones de caudales transportados por el canal con un rango entre 150 m³/s y 650 m³/s que cubren los valores registrados históricamente por las estaciones. Con estas simulaciones se estableció que para la condición evaluada de angostamientos se alcanza un 27% de disminución de caudal a la entrada del Canal del Dique respecto a la condición actual de referencia.

3.2.6 Cuantificación de los efectos hidráulicos de las alternativas de disminución de caudal

Con el fin de cuantificar los efectos hidráulicos de las alternativas se transita el hidrograma de caudales a la entrada en Calamar para el periodo de estudio de 4 años 1988 – 1991 hasta las desembocaduras del Canal del Dique.

Para la alternativa 2 de compuerta-esclusa localizada en el RK 104 se presenta un aumento sustancial de caudal respecto a la condición actual. En esta condición no existe reducción de caudal a la entrada en Calamar causada por el primer angostamiento y en cambio el efecto de remanso que genera la compuerta en el RK104 produce un nivel de agua alto en la bifurcación del caño Correa que causa una mayor derivación de flujo hacia el mar.

Por su parte la Alternativa 3 de solo angostamientos genera una condición de caudal más bajo que las condiciones actuales por el caño Correa. La razón de esto es que el primer angostamiento de 6 kilómetros a la entrada del Canal del Dique reduce el caudal de entrada en cerca del 27% y los angostamientos dos y tres producen niveles de agua altos que generan desbordes a las ciénagas del medio Canal. Como no se considera esclusa- compuerta en esta alternativa no hay efectos de remanso que aumenten el caudal del Caño.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Los resultados para la Alternativa 4 son interesantes pues el efecto combinado de disminución de caudal y niveles de agua altos causados, tanto por los angostamientos dos y tres como por el efecto de remanso de la compuerta-esclusa localizada en el RK 104 que genera desbordes sustanciales de agua, produce un resultado de caudal intermedio por el caño Correa menor al de la alternativa 2 sin agostamientos.

Los resultados de caudal para la Alternativa 5 y 6 están en un rango intermedio entre los valores de las alternativas 2 y 4 indicando que la localización de la compuerta-esclusa aguas abajo del caño Lequerica puede favorecer un comportamiento hidráulico más estable en la bifurcación del caño Correa. Esto es debido a que el efecto de remanso no se propaga hacia agua arriba generando niveles de agua altos ni desbordes excesivos porque el flujo se bifurca hacia la bahía de Barbacoas por los dos caños Matunilla y Lequerica.

De otra parte, se observa un aumento generalizado de caudal en la desembocadura en el caño Matunilla para las alternativas de compuerta-esclusa solamente (alternativas 2 y 5) y las combinaciones de compuerta-esclusa y angostamientos (alternativas 4 y 6). Solamente en la alternativa 3 se presenta una disminución del caudal en este caño debido al efecto del primer angostamiento a la entrada del Canal de reducir el caudal y a que el flujo continúa su tránsito hacia Pasacaballos.

Para el caño Lequerica solo se muestran los resultados de las alternativas 3, 5 y 6, ya que la compuerta-esclusa del RK 104 contemplada en las alternativas 2 y 4 impide el flujo hacia el caño Lequerica y hacia Pasacaballos. En las alternativas 5 y 6 el caudal aumenta ostensiblemente en este caño requiriéndose de la adecuación de las secciones transversales mediante dragados y la construcción de diques laterales para impedir caudales de desborde altos e inundaciones indeseables.

En la alternativa 3 que se permite el libre flujo hacia Pasacaballos, ya que solamente se construirían los angostamientos, se puede observar que el caudal disminuye respecto de la condición actual por el efecto de las contracciones.

En la tabla 3.6 se presenta el volumen promedio anual de agua en el sistema para el periodo de cuatro años simulados. De los 16000 millones de metros cúbicos que entran en Calamar salen a las Bahías de Cartagena y Barbacoas y al Mar por el caño Correa, un total de 12800 millones (79.8%) para la condición actual, valor que difiere ligeramente del resultado presentado en el informe (CORMAGDALENA-UNAL, 2007b), debido a que en el presente estudio se actualizaron las secciones transversales del caño Correa con las que se representan de manera más precisa los desbordes en este caño. El efecto es que se obtienen menores volúmenes de desborde y por esta razón mayores volúmenes de agua en la desembocadura.

El porcentaje del volumen desbordado a la planicie inundable aumenta de manera notoria en la alternativa 2 con la compuerta-esclusa en el RK 104 sin disminución de caudal a la entrada al Canal, y disminuye a cerca de la mitad en las alternativas 3 y 6. Estos resultados muestran condiciones críticas ya que por un lado en la alternativa 2 se tendrían problemas con las inundaciones generadas, y en las alternativas 3 y 6 se disminuyen los volúmenes de intercambio ciénaga-canal afectándose el estado limnológico de las ciénagas. Considerando el criterio de mejorar o mantener las condiciones hidráulicas actuales del Canal del Dique y su sistema lagunar, las alternativas 5 y 4, serían las que producen los mejores resultados. Esto es de esperarse para la alternativa 5 pues la compuerta del kilómetro 110 genera una condición de frontera aguas abajo muy similares a la del nivel del mar en Pasacaballos o la Bahía de Cartagena.

TABLA 3.6 Balance hídrico anual aproximado

Volumen Promedio Anual de Agua en el Sistema 1988-1991 (Millones metros cúbicos)						
Sitio	Cond. Actual	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Incora	16019	16020	11694	11694	16017	12014
Correa	2858	3316	2751	2642	2657	2301
Matunilla	4171	6186	3027	4822	6150	4987
Lequerica	1152	0	836	0	3688	2990
Pasacaballos	4608	-	3343	-	-	-
Total sale al mar	12789	9502	9957	7464	12495	10278
Desborde Planicie	3230	6518	1737	4230	3522	1736
Desborde Planicie (%)	20.2%	40.7%	10.8%	26.4%	22.0%	10.8%
Comparación Cond. Actual (%)	100%	202%	54%	131%	109%	54%

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

En la tabla 3.7 se presenta el volumen promedio anual de agua que ingresa a la bahía de Barbacoas para los cuatro años simulados. En las alternativas 3 y 4 se tiene una reducción de ese volumen respecto a la condición de referencia. En el primer caso por la continuación del flujo hacia Pasacaballos y en el segundo por el mayor desborde aguas arriba.

TABLA 3.7 Volumen de agua que ingresa a la Bahía de Barbacoas 1988-1991

(Millones metros cúbicos)

Sitio	Cond. Actual	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Correa	2858	3316	2751	2642	2657	2301
Matunilla	4171	6186	3027	4822	6150	4987
Lequerica	1152	0	836	0	3688	2990
Total sale Barbacoas	8181	9502	6614	7464	12495	10278
Comparación Cond. actual	100%	116%	81%	91%	153%	126%

La mayor afectación del caño Correa se causa en las alternativas 2 y 5 por el alto caudal aguas arriba y el efecto de remanso generado por la compuerta-esclusa aguas abajo. Para el resto de condiciones el volumen de agua que ingresaría a la bahía de Barbacoas sería menor o cercano al de las condiciones actuales.

En el caso del caño Matunilla aumenta el volumen de agua descargado hacia la bahía de Barbacoas en las condiciones 2 y 5 (alternativas que contemplan compuertas sin reducciones), teniéndose necesariamente que realizar una adecuación de la capacidad hidráulica de la sección transversal del caño mediante dragados y diques laterales de sobre elevación. En el caso del caño Lequerica se tienen condiciones desfavorables en las alternativas 5 y 6 que contemplan la compuerta en el K110. En la alternativa 3 el volumen de agua que se descarga en la Bahía de Barbacoas disminuye por la continuación del flujo hacia Pasacaballos.

En la tabla 3.8 se presenta el volumen de intercambio, de entrada, salida y neto, por todos los canales de interconexión de las ciénagas. Se puede notar que para el periodo simulado se presenta un flujo neto de salida de las ciénagas. Esto es debido a que se modela un año muy húmedo y dos años mayores al promedio hidrológico seguidos de un año seco. Este no es un comportamiento típico ya que la regulación de caudales en el sistema es multianual. Periodos de años secos o de caudales promedio bajos presentarán flujo netos negativos del Canal del Dique hacia las ciénagas. Las alternativas 2 y 4 producen mayores flujos de intercambio del Canal del Dique con las ciénagas lo cual tiene el potencial de mejorar el estado limnológico con respecto a las condiciones actuales.

TABLA 3.8 Volúmenes de intercambio a través de los caños de conexión Canal - Ciénaga

(Millones metros cúbicos)

	Cond. Actual	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Volumen de entrada por interconexiones	4176	6528	3190	5624	4380	2757
Volumen de salida por interconexiones	6424	8927	5385	7897	6631	4833
Volumen neto por interconexiones	2248	2400	2195	2273	2251	2076

De acuerdo a los análisis de caudales igualados o excedidos, es importante notar que el caudal mínimo igualado o excedido el 90% del tiempo de todas las alternativas es mayor a $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este valor, por sí solo, es del orden de 5 veces mayor a la suma del caudal crítico de uso consuntivo demandado en la ecorregión, y solamente se reduce en los tramos aguas abajo de las esclusas-compuertas evaluadas.

De acuerdo con los análisis de profundidad del flujo a lo largo del Canal del Dique, igualada o excedida el 50% del tiempo. Las Alternativas 2 y 4 que contemplan compuerta en el K104, generan las mayores profundidades del flujo especialmente en el último tramo en cercanías a la compuerta, situación que genera desbordes altos, que sugieren la necesidad de realización de obras de adecuación hidráulica consistentes en diques laterales y dragados desde el K80 al K104 donde se tiene influencia del remanso generado por la compuerta.

En la tabla 3.9 se presentan los valores de profundidad igualada o excedida el 50% del tiempo en el periodo simulado de 1988 a 1991. Los resultados son consistentes por cuanto se presentan las mayores profundidades en las Alternativas 2 y 4 de mayor volumen de desborde y de intercambio. Cabe anotar que en la alternativa 5 se tienen profundidades muy cercanas a la de la condición de

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

referencia, situación que permite establecer que el estado limnológico de las ciénagas bajo esta condición no sería afectado.

TABLA 3.9 Profundidad de las ciénagas igualada o excedida el 50% del tiempo [m]

Ciénagas	Cond. Act.	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
JOBO	2.77	2.86	2.45	2.64	2.77	2.36
TUPE	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23
LUISA	3.40	3.38	3.38	3.38	3.40	3.38
ZARZAL	2.46	2.69	2.50	2.72	2.47	2.36
MATUYA	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.82
AG CLARAS	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
CAR-C	3.89	4.20	3.71	3.84	3.89	3.63
J. GOMEZ	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
PALOTAL	2.93	3.73	2.69	3.67	3.03	2.84
Ma BAJA	1.34	1.40	1.31	1.33	1.34	1.30

3.2.7 Cuantificación de la carga sólida en suspensión

El modelo matemático permite el tránsito de caudales y el transporte de sólidos suspendidos totales (SST) y otros determinantes de calidad del agua a través de todos los cuerpos de agua conectados. En particular se pueden obtener los hidrogramas de caudal en las desembocaduras al mar y las series de tiempo de concentración de SST.

La multiplicación e integración de las dos series de tiempo, caudal y concentración permite estimar la carga contaminante promedio transportada en un sitio de interés para un periodo de tiempo dado.

La carga promedio anual aportada en Pasacaballos y los caños Correa, Lequerica y Matunilla se resume en la tabla 3.10.

TABLA 310 Carga promedio de sólidos en suspensión

(Millones de Ton/año)

Escenario	Sitio			
	Correa	Matunilla	Lequerica	Pasacaballos
Cond. Actual	0.41	0.70	0.19	0.76
Alt. 2	0.45	0.80	-	-
Alt. 3	0.37	0.47	0.13	0.52
Alt. 4	0.36	0.69	-	-
Alt. 5	0.42	1.05	0.63	-
Alt. 6	0.39	0.88	0.53	-

De acuerdo con los resultados, en la Bahía de Barbacoas en la que actualmente ingresan en promedio 1.3 millones de Ton/año de SST, puede esperarse una reducción máxima de carga de sedimentos en suspensión del orden del 26% con la alternativa 3, pero bajo esta condición aun estarían ingresando 0.52 millones de Ton/año de SST por la Bahía de Cartagena, valor que representa el 68% de los sedimentos que están entrando actualmente por Pasacaballos. Es decir la alternativa 3 de construcción de angostamientos sin compuerta-esclusa reduce el 27% de caudal en Calamar generando una reducción en carga de sólidos en suspensión del 32% a la Bahía de Cartagena.

Con respecto a las alternativas que contemplan únicamente descarga de sedimentos hacia la Bahía de Barbacoas, se determina que para las alternativas 2 y 4, en las que se reduce el caudal de entrada al sistema aguas arriba, incluso se puede esperar una reducción de sedimentos en suspensión del orden del 4% y 20% respectivamente con respecto a las condiciones actuales. Estos resultados reflejan el efecto de atenuación en la carga de SST, por el aumento de los desbordes sobre la planicie de inundación generada por la compuerta en el K104. Esta situación se considera efectiva desde el punto de vista de manejo sedimentológico, ya que no solo se está controlando este problema en la Bahía de Cartagena, sino que se presentan condiciones aún mejores que las actuales por la reducción de caudal. En estas alternativas sin embargo, hay que tener en cuenta los potenciales problemas asociados por las inundaciones generadas por el efecto de remanso de la compuerta entre los kilómetros 82 y K104.

Por otro lado, para las alternativas 5 y 6 se tendría un aumento máximo del 61% y 38% en la carga de sedimentos en suspensión que entra a la Bahía de Barbacoas respecto a la condición de referencia. Esto debido a que la compuerta-esclusa desvía el flujo hacia esta Bahía y no se generan efectos de remanso tan altos y por ende desbordes tan altos como en la condición de la compuerta-esclusa en el RK 104 (alternativas 2 y 4). Debido a que la alternativa 5 presenta volúmenes de desbordes semejantes a los de la condición actual, y un comportamiento hidráulico

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

semejante, ocurre que los sedimentos en suspensión que alcanzan actualmente la Bahía de Cartagena se distribuyen por los caños Matunilla y Lequerica hacia a la Bahía de Barbacoas. Para la condición 6 se obtiene un aumento menor del 38% de los sólidos en suspensión descargados a la Bahía de Barbacoas producto de la disminución de caudal y los volúmenes de desborde respecto a la condición actual. Se genera en esta alternativa un aumento en los picos de carga de SST por el menor efecto de los desbordes laterales y los caudales de intercambio en las interconexiones ciénaga-Canal.

Mediante el modelo matemático se calcularon las cargas de SST por desborde, por entrada y salida de las ciénagas a través de los canales de interconexión y de los caños de derivación. El balance de SST debe incluir además la sedimentación en trampas, canales y el transporte por arrastre de fondo se expone en la tabla 3.11.

**TABLA 3.11 Balance de SST en el sistema
(Millones de toneladas por año)**

	Cond. Actual	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Carga de entrada Calamar	7.9	7.9	5.8	5.8	7.9	5.9
Desborde a la planicie y ciénagas	2.5	4.5	1.0	2.2	2.4	0.7
Entrada a ciénagas por canales interconexión	2.1	3.0	1.6	2.6	2.1	1.4
Salida por caño Correa	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Salida por caño Matunilla	0.7	0.8	0.5	0.7	1.1	0.9
Salida por caño Lequerica	0.2	0.0	0.1	0.0	0.6	0.5
Salida por CD Pasacaballos	0.8	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
Sedimentación en trampas, canales y salida por arrastre	1.2	-0.9	1.7	-0.1	1.2	2.1

3.2.8 Cuantificación de los efectos en la calidad del agua

Como se mencionó anteriormente, la variación de caudal a la entrada del sistema del Canal del Dique y el complejo lagunar, genera impactos en la calidad del agua. Se afectan, por ejemplo, las cargas de los determinantes de calidad del agua y el tiempo de retención hidráulico que determina el alcance de los procesos de transformación de los determinantes tales como, sedimentación, degradación de la materia orgánica, nitrificación e hidrólisis, entre otros. Por lo tanto, se pueden esperar cambios en la calidad del agua de las ciénagas, e incluso en los 115 km del Canal del Dique, para las diferentes alternativas. Debe notarse que esto se presenta, a pesar de que la calidad del agua del Río Magdalena en la condición de frontera a la entrada del Canal del Dique se ha considerado igual para todas las alternativas.

En la tabla 3.12 se presenta el resumen de la carga total de diferentes determinantes de calidad del agua, en toneladas por año, vertida al mar en la bahía de Barbacoas. Se observa que desde el punto de vista de nutrientes y potencial de eutrofización en la Bahía la alternativa 4 es la que produce el menor impacto.

**TABLA 3.12 Cargas de nutrientes y DBO vertida al mar en la bahía de Barbacoas
(Ton/año)**

	Cond. Act.	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Carga de nitratos	43331	41297	36627	33769	65780	56483
Carga de fosfatos	7519	7079	5915	6980	11467	9594
Carga de DBO	54692	48274	43701	47693	83315	70764
Carga de Clorofila- a	73	66	60	56	110	93

De acuerdo con los resultados de la modelación de oxígeno disuelto y coliformes totales para el periodo de análisis en el kilómetro K81+500 del Canal del Dique, frente a la bocatoma de ACUACAR donde se realiza el bombeo a la ciénaga de Juan Gómez. Se observa una concentración mayor de oxígeno disuelto para la alternativa 6 de la compuerta-esclusa en RK110 con angostamientos en el Canal durante los periodos de invierno. Igualmente sucede con la concentración de coliformes totales lo cual, contrariamente al oxígeno disuelto, no es bueno desde el punto de vista de tratamiento.

Los cambios en la concentración son relativamente menores en todos los parámetros modelados debido a la alta capacidad de asimilación del Canal del Dique por su alto caudal y no se alcanzan a afectar los estándares de uso de agua.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

3.2.9 Cuantificación del avance de la cuña salina

Mediante el modelo integrado desarrollado en el estudio CORMAGDALENA-UNAL (2007a) es posible calcular, para el periodo de simulación, la longitud de la cuña salina desarrollada como variable de estado. La longitud de la cuña salina totalmente desarrollada depende de la profundidad de flujo y del caudal. Para una profundidad dada, a menor caudal la cuña salina se extiende hacia aguas arriba. Por esta razón se esperan diferencias en el efecto que las alternativas de manejo hidrosedimentológico pueden generar sobre la intrusión de la cuña salina a lo largo del Canal del Dique y los caños Correa, Matunilla y Lequerica.

En la tabla 2.13 se presenta el valor de excedencia del 50% de la longitud de la cuña salina por los canales para el periodo de simulación 1988 – 1991. A su vez, en tabla 2.14 se presenta la máxima longitud de la cuña salina registrada en el mismo periodo de análisis. Los resultados demuestran claramente que la longitud de la cuña salina para los caudales medios en las alternativas con angostamientos (alternativas 3, 4 y 6), aumenta con respecto a las condiciones actuales por la reducción del caudal. Para las condiciones 2 y 4 la longitud de la cuña salina aumenta libremente hasta el punto donde se encuentra la compuerta-esclusa en el RK104, desde Pasacaballos por el Canal del Dique y por el caño Lequerica.

En la condición de caudales bajos para la alternativa 5, la cuña salina no alcanza a avanzar totalmente por el caño Lequerica. Sin embargo, nótese que en el caño Matunilla se reduce la intrusión salina en las alternativas 2, 4, 5 y 6 por la mayor derivación de caudal que se genera por efecto de las esclusas-compuertas. Debe tenerse en cuenta que los caudales mínimos, en cada una de las bocas de los caños para el periodo de simulación son mayores a 35 m³/s con excepción del caño Lequerica donde se tienen caudales de 10 m³/s y 6 m³/s en la condición actual y alternativa 3 respectivamente.

TABLA 3.13 Valor de excedencia del 50% de la Longitud de intrusión de la cuña salina (m)

	Canal Dique Pasacaballos	Lequerica	Matunilla	Correa
Cond. Act.	529	3393	2719	229.2
Alternativa 2	11000	4000	54.4	177
Alternativa 3	1366	3960	3200	357.4
Alternativa 4	11000	4000	127.6	368.1
Alternativa 5	6000	184.2	185.8	332
Alternativa 6	6000	344.7	327.5	525.2

TABLA 3.14 Máxima longitud de la cuña salina (m)

	Canal Dique	Lequerica	Matunilla	Correa
Cond. Act.	14.270	4000	7000	1173
Alternativa 2	11.000	4000	381,8	2092
Alternativa 3	26.930	4000	7000	1770
Alternativa 4	11.000	4000	2671	5507
Alternativa 5	6.000	2832	2469	5329
Alternativa 6	6.000	4000	3646	6375

De acuerdo con los valores de longitud en kilómetros, de la cuña salina totalmente desarrollada, por cada canal, para todas las alternativas modeladas; se puede concluir que se interrumpe el avance de la cuña salina por los caños Lequerica y Matunilla cuando se alcanza la conexión con el Canal del Dique a los 4 y 7 kilómetros respectivamente, y que para las condiciones 2, 4 y 5, 6 ocurre la salinización del sistema hasta los 11 y 6 kilómetros dependiendo de la localización de la compuerta-esclusa respectivamente.

3.2.10 Cuantificación del efecto de las alternativas en el estado limnológico de las ciénagas

Mediante el modelo matemático es posible calcular variables hidráulicas y de calidad del agua de las ciénagas. En el presente trabajo se ha repetido el ejercicio juicioso e interesante realizado en el proyecto CORMAGDALENA-UNAL (2007b) al desarrollarse un índice que agrupa dichas variables y permite juzgar el estado limnológico y, por lo tanto, la productividad, de las ciénagas de la ecorregión. De hecho, el índice de estado limnológico parcial (IELP, ver UNAL – CORMAGDALENA (2007d)) ha sido calculado a partir de las variables de la modelación de todo el sistema con el fin de cuantificar el posible impacto de las alternativas en el estado limnológico de cada ciénaga.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

El índice se ha calculado en cada intervalo de tiempo a partir de las variables de estado del modelo: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, pH, nitratos, fósforo total, la relación nitratos/fosfatos, conductividad, la relación área/volumen de la ciénaga y concentración de clorofila-a.

A partir de las series de tiempo calculadas del IELP se ha estimado el valor del índice igualado o excedido el 50% del tiempo en cada ciénaga para cada alternativa. Los resultados muestran que en 9 de 11 ciénagas modeladas el IELP₅₀ resultante de los cuerpos de agua es mayor para la alternativa 4 de angostamientos y compuerta-esclusa en el RK 104. Estos resultados son de esperarse ya que para esta alternativa se mantiene e incluso aumenta ligeramente con respecto a las condiciones actuales el flujo de intercambio en las ciénagas y los desbordes de caudal lateral gracias a los angostamientos.

Debe recordarse que estas alternativas se han modelado con los parámetros de las interconexiones optimizados para la condición actual mejorada y por lo tanto la alternativa 4 de manejo hidrosedimentológico incluye la optimización de las ciénaga – canal.

MEJOR ALTERNATIVA PARA LA DISMINUCIÓN DE CAUDAL

Evaluando los factores hidráulicos, sedimentológicos, de calidad del agua, de desarrollo de la cuña salina y limnológicos en las ciénagas del sistema lagunar se considera que la mejor alternativa para la disminución del caudal y el aporte de sedimentos a la Bahía de Cartagena es la alternativa 4. Esta consiste en la optimización de los canales de interconexión ciénaga-canal, la construcción de angostamientos de la sección transversal en tres sectores del Canal, y la construcción de la compuerta-esclusa en el sector del Recreo en el kilómetro 104 del Canal.

El efecto combinado de las contracciones o angostamientos y de la esclusa – compuerta es reducir el caudal en el sistema en 27% con respecto a la condición actual de referencia manteniendo niveles de agua altos en las interconexiones ciénaga-canal sin que se afecten los intercambios de agua y de nutrientes necesarios para mantener adecuadas condiciones limnológicas en las ciénagas del sistema.”

Al respecto se concluye:

“De la alternativa 4 definida por CORMAGDALENA como la mejor opción permite cumplir los siguientes requerimientos establecidos en la resolución 249 de 2004, garantizar:

- 1. Caudal de agua requerido por los proyectos de riego existentes y proyectados en la zona.*
- 4. La disponibilidad de agua para cubrir las necesidades para consumo humano en la Cuenca del Canal del Dique definidas de acuerdo con las proyecciones del DANE¹ y los parámetros del RAS², en el año 2005 alcanzaría aproximadamente 101,1 millones de metros cúbicos, de los cuales el 84,8% corresponderá a las cabeceras.*
- 5. El mantenimiento de la comunicación longitudinal y lateral del río Magdalena-Canal del Dique para asegurar la continuidad de los fenómenos de subienda y bajanza.*

En relación con el requerimiento 3 de la resolución 249 de 2004, se encuentra que el remonte de la cuña salina no alcanza a afectar las ciénagas, pero la compuerta esclusa y en el km 104 generara salinización en los 11 kilómetros finales del canal del Dique y en el caño Correa, así como una reducción en la salinidad en el caño Matunilla, por lo que se espera la afectación en la composición de las comunidades bióticas de estas áreas, situación que deberá ser evaluada en la siguiente etapa del proyecto.

De los estimativos de caudales en las interconexiones ciénaga-canal y ciénaga-caños en el canal del Dique, se determina el caudal ambiental que requieren los cuerpos de agua y la profundidad de agua en las ciénagas, dando cumplimiento al requerimiento 10 Resolución 249 de 2004 de este Ministerio sobre la modelación de la profundidad de las ciénagas del sistema y la cuantificación de los efectos de la construcción del proyecto.

Del cálculo de sedimentos en suspensión en todo el sistema hídrico del ecosistema del Canal del Dique, como un componente importante en la modelación hidrosedimentológica, se da cumplimiento al requerimiento 9 de la Resolución 249 de 2004, sobre las actualizaciones de topografía y de batimetría que se consideren necesarias.

¹ DANE: Dirección Técnica de Censos - Grupo de Proyecciones de Población.

² Reglamento Técnico del Sector Agua POT'sable y Saneamiento Básico: Realizados a partir de los parámetros definidos en las Tablas: A-3.1., B-2.2. y B-2.3.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Del cálculo de la calidad bacteriológica, biológica y físico-química del agua en todo el sistema del Canal del Dique, permite evaluar los efectos ambientales en cuerpos de agua en términos de los conflictos uso-calidad del agua que se generan, los impactos en el estado limnológico de los cuerpos de agua dulce; dándose cumplimiento al requerimiento 11 de la Resolución 249 de 2004, sobre los efectos ambientales en todos los cuerpos de agua involucrados en el Plan de Restauración Ambiental de los Ecosistemas del Canal del Dique, se reitera que para que los resultados sean los estimados es necesario mejorar todas las interconexiones canal ciénaga.

De acuerdo a los estimativos de dinámica de la cuña salina en los cuerpos de agua, los cálculos de calidad del agua, conjuntamente con los cálculos de caudales en las interconexiones ciénaga-canal y ciénaga-caños, es posible estimar el caudal ambiental que requieren los cuerpos de agua, dando así cumplimiento del requerimiento 2 de la Resolución 249 de 2004 MAVDT, relacionado con garantizar el caudal mínimo requerido para mantener ambientalmente los cuerpos de agua del Canal del Dique.

Como mejor alternativa desde el punto de vista ambiental, en consideración a aspectos hidráulicos, sedimentológicos, de calidad del agua, de desarrollo de la cuña salina y limnológicos en las ciénagas del sistema lagunar; se considera que la mejor alternativa con énfasis en disminución del caudal y aporte de sedimentos a la Bahía de Cartagena es la alternativa 4; ya que de acuerdo con los resultados de las modelaciones realizadas, es la alternativa más conveniente, debido al efecto combinado de disminución de caudal y niveles de agua altos causados, tanto por los angostamientos dos y tres como por el efecto de remanso de la compuerta-esclusa localizada en el RK 104 que genera desbordes sustanciales de agua, produciendo un resultado de caudal intermedio por el caño Correa y con la posibilidad de control total de sedimentos en suspensión en Pasacaballos.

Igualmente para esta alternativa, el efecto combinado de las contracciones o angostamientos y de la esclusa – compuerta es reducir el caudal en el sistema en 27% con respecto a la condición actual de referencia manteniendo niveles de agua altos en las interconexiones ciénaga-canal sin que se afecten los intercambios de agua y de nutrientes necesarios para mantener adecuadas condiciones limnológicas en las ciénagas del sistema.

La alternativa 4 consiste en la optimización de los canales de interconexión ciénaga-canal, la construcción de angostamientos de la sección transversal en tres sectores del Canal, y la construcción de la compuerta-esclusa en el sector del Recreo en el kilómetro 104 del Canal.

No obstante se debe tener en cuenta que con esta alternativa se presentan los siguientes problemas:

- *Inundaciones generadas por el efecto de remanso de la compuerta entre los kilómetros K104 de nutrientes*
- *La longitud de la cuña salina aumenta libremente hasta el punto donde se encuentra la compuerta-esclusa en el RK104, desde Pasacaballos por el Canal del Dique y por el caño Correa*
- *Los resultados esperados dependen de la optimización de las interconexiones ciénaga – canal, por tanto se deberán adelantar prioritariamente estas obras.”*

En relación con los aspectos hidráulicos y de navegabilidad

“Se realiza un análisis de variaciones de alturas de láminas de agua y velocidades para diferentes caudales en los tres sectores propuestos de contracción de cauce y antes de los mismos; donde se evidencia que las variaciones en niveles de agua no son tan marcadas como las variaciones de velocidad, lo cual implica la protección del cauce en el canal del dique en los sitios de angostamiento ante el aumento del poder erosivo de la corriente en estos sectores, por tanto será necesario dar a cada zona del lecho en el sector del angostamiento un cubrimiento de material grueso.

Respecto a navegabilidad se realizan análisis de la fuerza tractiva específica T_s (fórmula de Langbein) necesaria en embarcaciones típicas comerciales, para vencer la corriente de un río con condiciones específicas de velocidad y profundidad, donde se concluye que para el canal del Dique en los angostamientos propuestos y secciones intermedias a los mismos, no se van a presentar restricciones de navegabilidad. Sin embargo es necesario conocer en cuanto tiempo se incrementará la navegación por embarcación”.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

En relación con la Modelación de la Zona Costera

“De la modelación se concluye que las épocas críticas para el avance de la pluma hasta las Islas del Rosario son aquellas en las cuales la dirección de los vientos fluctúa y el caudal proveniente de los caños es alto. Las épocas de vientos fuertes nos son críticas para el parque nacional natural Islas de Rosario y San Bernardo debido a que el viento sopla constantemente hacia el suroeste, alejando la pluma de las Islas del Rosario.

Teniendo en cuenta el comportamiento de los sedimentos provenientes de la boca del caño Matunilla para cualquier alternativa simulada, se identifica que no se requieren construir obras perpendiculares a la costa en el sector la bahía de Barbacoas, puesto que no contribuirán a la reducción del transporte de sedimentos hacia las Islas del Rosario.

Igualmente, muestra que para el posible impacto por aporte de sedimentos a la bahía de Barbacoas y su transporte hacia el Parque Nacional Natural Islas del Rosario y San Bernardo, la alternativa 4 mejora con respecto a las condiciones actuales, por tanto, no se generarán impactos mayores a los que puedan estarse presentando en la actualidad sobre el Parque Nacional Natural Islas del Rosario.

Con esta modelación se da cumplimiento al requerimiento 13 del artículo primero de la resolución 249 de 2004, sobre evaluar el impacto de los sedimentos transportados por el Canal del Dique sobre el Parque Nacional Natural Islas del Rosario y San Bernardo, pudiendo reiterar que al alternativa 4 es la más adecuada para implementar

La evaluación del cambio de alineamiento en la boca del caño Matunilla demostró que se incrementa significativamente las concentraciones de sedimentos en las Islas del Rosario, para las alternativas 1 y 6. De conformidad con lo anterior, cualquier obra que pretenda cambiar el alineamiento del caño podría generar un impacto significativo sobre Parque Nacional Natural Islas del Rosario y San Bernardo, así que no debe ser contemplada ninguna intervención en la orientación del caño.

Sin embargo dada las limitaciones que se presentaron en la realización de esta modelación, se considera necesario para el seguimiento y monitoreo del proyecto, que se realicen nuevas modelaciones incluyendo toma de datos en los diferentes periodos climáticos, se realice la simulación de más épocas climáticas, y que se incluya un análisis del proceso de sedimentación que incluya la floculación de los sedimentos con las sales del agua de mar.”

En relación con los Resultados del Análisis

“Como mejor alternativa desde el punto de vista ambiental, y teniendo en cuenta aspectos hidráulicos, sedimentológicos, de calidad del agua, de desarrollo de la cuña salina y limnológicos en las ciénagas del sistema lagunar; este ministerio esta de acuerdo en considerar que la mejor alternativa con énfasis en disminución del caudal y aporte de sedimentos a la Bahía de Cartagena es la alternativa 4; ya que de acuerdo con los resultados de las modelaciones realizadas, es la alternativa más conveniente, debido al efecto combinado de disminución de caudal y niveles de agua altos causados, tanto por los angostamientos dos y tres como por el efecto de remanso de la compuerta-esclusa localizada en el RK 104 que genera desbordes importantes de agua, mejorando las condiciones limnológicas de las ciénagas, produciendo un resultado de caudal intermedio por el caño Correa y con la posibilidad de control total de sedimentos en suspensión en Pasacaballos.

Igualmente para esta alternativa, el efecto combinado de las contracciones o angostamientos y de la esclusa – compuerta es reducir el caudal en el sistema en 27% con respecto a la condición actual de referencia, manteniendo niveles de agua altos en las interconexiones ciénaga-canal sin que se afecten los intercambios de agua y de nutrientes necesarios para mantener adecuadas condiciones limnológicas en las ciénagas del sistema.

La alternativa 4 consiste en la optimización de los canales de interconexión ciénaga-canal, la construcción de angostamientos de la sección transversal en tres sectores del Canal, y la construcción de la compuerta-esclusa en el sector del Recreo en el kilómetro 104 del Canal.”

En relación con los costos de la alternativa

“Se realiza un estimativo aproximado de costos del proyecto, para alternativas de taludes de angostamientos 1:1, 1,5:1 y 2.1, igualmente para los dragados; se tiene en cuenta el costo aproximado de los diques de control de inundaciones en el sector de Santa Helena 1; para la esclusa de Paricuica se tomó el costo estimado por la empresa CNR; para los costos de adecuaciones en los caños de conexión se estimó de una manera global teniendo en cuenta que

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

no existen prediseños de las obras y acciones a desarrollar, lo cual se debe realizar durante la etapa de prepliegos; no se incluyen los costos de operación y mantenimiento, con énfasis en control de la navegación, los cuales se deben realizar en la siguiente etapa.”

En relación con el valoración cualitativa de impactos ambientales

“Para la evaluación de impactos de todas las alternativas consideradas, se establecieron las acciones susceptibles a generar impactos; se identificaron los factores ambientales que pueden ser afectados acorde con los requerimientos de protección ambiental establecidos en la resolución 0249 de 2004; con base en lo anterior se conforma la matriz de identificación de impactos, donde interactúan los factores ambientales y las acciones susceptibles de deterioro ambiental para cada alternativa; de acuerdo a la anterior matriz se valoraron los impactos según atributos tales como: naturaleza (+/-), intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergismo, acumulación, relación causa-efecto, periodicidad y recuperabilidad, aplicando el modelo Conesa Fernández – Vítora (2003).

Finalmente se estimó la agresividad y/o bondad de cada alternativa y de deterioro y/o mejoramiento, concluyéndose que la alternativa 4 analizada en el presente estudio, (Condición Actual Mejorada + 3 Estrechamientos + Esclusa-Compuerta en el Recreo) se constituye en la alternativa que presenta una mayor bondad con el medio ambiente.”

En relación con el otros aspectos considerados por este Ministerio

“Desde el punto de vista ambiental se considera que la alternativa más apropiada con énfasis en disminución del caudal y aporte de sedimentos a la Bahía de Cartagena es la alternativa denominada 4, de acuerdo con los criterios hidráulicos, sedimentológicos, de calidad del agua, de desarrollo de la cuña salina y limnológicos en las ciénagas del sistema lagunar; debido al efecto combinado de disminución de caudal y niveles de agua altos causados, tanto por los angostamientos dos y tres como por el efecto de remanso de la compuerta-esclusa localizada en el RK 104 que genera desbordes significativos de agua, produciendo un resultado de caudal intermedio por el caño Correa, con la posibilidad de control total de sedimentos en suspensión en el sector de Pasacaballos.

En esta alternativa, el efecto combinado de las contracciones o angostamientos y de la esclusa – compuerta representa la reducción del caudal en el sistema en 27% con respecto a la condición actual de referencia, manteniendo niveles de agua altos en las interconexiones ciénaga-canal sin que se afecten los intercambios de agua y de nutrientes necesarios para mantener adecuadas condiciones limnológicas en las ciénagas del sistema.

No obstante de acuerdo con las necesidades adicionales de información para la fase de operación del proyecto, es necesario que CORMAGDALENA, realice en la fase de diseños definitivos los siguientes estudios:

- *Ensayos mediante modelo físico asociados a aspectos como navegabilidad y comportamiento de la dinámica hidrosedimentológica y de socavación a lo largo del canal.*
- *Es conveniente precisar la localización de la esclusa de Paricuica mediante investigaciones geológicas y geotécnicas in situ*
- *Definir estaciones de control para la navegación.*
- *Evaluar y definir una medida de manejo del impacto sobre la navegación doméstica en el sector a la compuerta-esclusa en el sector del Recreo, puesto que la compuerta afectará en alto grado el libre tránsito de la navegación doméstica, y de las pequeñas embarcaciones de pasajeros.*
- *Se considera necesario para desarrollar los programas y proyectos que impliquen distribución ordenada de sedimentos en la bahía de Barbacoas, realizar nuevas modelaciones de la zona costera, incluyendo toma de datos en los diferentes periodos climáticos, efectuando la simulación de más épocas climáticas, y que se incluya un análisis del proceso de sedimentación que incluya la floculación de los sedimentos con las sales del agua de mar. y para determinar las condiciones de ordenamiento de los depósitos en la bahía a fin de mejorar el crecimiento de manglares, lo anterior toda vez que se encontró que la construcción de obras perpendiculares a la costa no contribuiría significativamente a la reducción del transporte de sedimentos hacia las Islas del Rosario.*
- *Integrar todos los procesos de ordenamiento territorial de la ecoregión, como son el Plan de ordenamiento de la cuenca conjunta, el plan de manejo del santuario de fauna y flora el Corchal del mono Hernández, la zonificación de manglares, entre otros.*
- *Evaluar los efectos de la salinización del tramo de Pasacaballos y Lequerica, así como la posible eutrofización de la Bahía de Cartagena, con el fin de determinar el régimen de flujo de agua dulce hacia esta zona.*

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

- *Evaluar el impacto sobre la composición de especies de fauna y flora que tendrán los procesos de salinización del sector de pasacaballos y caño Lequerica y de la dulcificación del caño Matunilla y Bahía de Barbacoas. Evaluar de manera particular el posible impacto sobre la industria de la camaronicultura.*
- *Evaluar el impacto y presentar las medidas de manejo por el aumento del nivel de inundación en los sistemas lagunares desde El Caño Correa, (K80), hasta la esclusa o compuerta, que puede afectar los suelos cultivados y en cierta forma los sistemas productivos.*
- *Evaluar el posible impacto sobre las poblaciones de peces en la zona de la desembocadura del canal del Dique en la Bahía de Cartagena, así como de la pesca artesanal por la operación de la compuerta esclusa.*
- *Se reiteran las obligaciones de los numerales 7, 14 a 17 del artículo primero de la Resolución 249 de 2009 en lo relacionado con:*
 7. *"Exploraciones arqueológicas en los sitios de localización de las obras proyectadas en caso de requerirse de acuerdo con la evaluación realizada en el estudio de Factibilidad del Plan de Restauración Ambiental de los Ecosistemas Degradados del Canal del Dique realizado por la Universidad del Norte entre 1997 y 1999 .*
 14. *Se deberá elaborar y presentar el plan de Manejo de Aguas.*
 15. *Se deben precisar los esquemas de administración, operación y mantenimiento de las estructuras diseñadas.*
 16. *"Complementariamente, el estudio debe analizar el efecto sobre las condiciones de vida de los pobladores, en sus diferentes aspectos, incluyendo sus condiciones organizativas e institucionales, las tendencias de desarrollo, así como sobre el conflicto social presente en el área de influencia del proyecto.*
 17. *"Tanto la evaluación de los impactos como la formulación de las medidas de manejo correspondientes, debe adelantarse con la activa participación de las comunidades asentadas en el área de influencia del proyecto, de acuerdo con las determinaciones de la Dirección de Etnias del Ministerio del Interior al respecto, para lo cual se le debe consultar la procedencia de adelantar consulta previa con dichas comunidades."*

Que el concepto técnico 1818 de 2009 manifiesta: *“Una vez revisado el documento “Alternativa de reducción del caudal en el canal del Dique mediante angostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa de Paricuica” y teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se conceptúa que la información es suficiente para establecer los siguientes requerimientos y obligaciones a Cormagdalena”.*

Que por último el concepto técnico citado concluye en: *“Aceptar la alternativa 4 seleccionada por CORMAGDALENA como mejor alternativa de control hidrosedimentológico la cual consiste en tres angostamientos y la instalación de una compuerta-esclusa en el RK104.”*, conforme a los requerimientos y obligaciones que se determinaran en la parte resolutive del presente acto administrativo.

Que teniendo en cuenta que el tema arqueológico es competencia del El Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH-, no se reiterará el numeral 7 del artículo segundo de la resolución 921 del 8 de octubre de 2001, modificado con el artículo primero de la Resolución 249 de 2004. En tal sentido solamente se determinará en la parte resolutive del presente acto administrativo el cumplimiento de la Ley 1185 de 2008.

En mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- Aceptar la alternativa 4 seleccionada por CORMAGDALENA, como mejor alternativa de control hidrosedimentológico la cual consiste en tres angostamientos y la instalación de una compuerta-esclusa en el RK104.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

ARTÍCULO SEGUNDO.- CORMAGDALENA deberá presentar para evaluación y aprobación los diseños detallados de las siguientes obras y actividades:

- a) Tres (3) estrechamientos para reducir caudales manteniendo los niveles.
- b) Obras de protección del cauce en los sectores de angostamiento
- c) Diques de control de inundaciones en la parte baja del Canal sector K 104.
- d) Esclusa y compuerta en el kilometro 104
- e) Dragados al inicio y final del canal en los sectores de Calamar y Pasacaballos.
- f) Obras en todas las ciénagas para mejorar las conexiones canal-ciénagas.

PARÁGRAFO.- Para lo determinado en el presente artículo, CORMAGDALENA deberá tener en cuenta lo siguiente:

- 1 Ensayos mediante modelo físico asociados a aspectos como navegabilidad y comportamiento de la dinámica hidrosedimentológica y de socavación a lo largo del canal.
- 2 Es conveniente precisar la localización de la esclusa de Paricuica mediante investigaciones geológicas y geotécnicas in situ
- 3 Definir estaciones de control para la navegación.
- 4 Se deben precisar los esquemas de administración, operación y mantenimiento de la esclusa compuerta en el k104

ARTÍCULO TERCERO.- Asociados a los diseños definitivos de las obras y/o actividades referentes al plan de restauración y recuperación de los ecosistemas degradados del canal del dique, Cormagdalena deberá presentar el respectivo plan de manejo ambiental donde se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos, entre otros.

1. Manejo y plan de recuperación de las zonas de extracción de material de arrastre y/o cantera.
2. Manejo y recuperación de zonas de depósito de materiales sobrantes en la ejecución de obras y actividades.
3. Evaluar y definir una medida de manejo del impacto sobre la navegación doméstica en el sector a la compuerta-esclusa en el sector del Recreo, puesto que la compuerta afectará en alto grado el libre tránsito de la navegación doméstica, y de las pequeñas embarcaciones de pasajeros.
4. Para desarrollar los programas y proyectos que impliquen distribución ordenada de sedimentos en la bahía de Barbacoas, realizar nuevas modelaciones de la zona costera, incluyendo toma de datos en los diferentes periodos climáticos, efectuando la simulación de más épocas climáticas, y que se incluya un análisis del proceso de sedimentación que incluya la floculación de los sedimentos con las sales del agua de mar. y para determinar las condiciones de ordenamiento de los depósitos en la bahía a fin de mejorar el crecimiento de manglares en la zona como medida de compensación por los efectos ambientales que se vienen produciendo.
5. Integrar todos los procesos de ordenamiento territorial de la ecoregión, como son el Plan de ordenamiento de la cuenca conjunta, el plan de manejo del santuario de fauna y flora el Corchal del mono Hernández, la zonificación de manglares, entre otros.
6. Evaluar los efectos de la salinización del tramo de Pasacaballos y Lequerica, así como la posible eutrofización de la Bahía de Cartagena, con el fin de determinar el régimen de flujo de agua dulce hacia esta zona.
7. Evaluar el impacto sobre la composición de especies de fauna y flora que tendrán los procesos de salinización del sector de pasacaballos y caño Lequerica y de la dulcificación del caño Matunilla y Bahía de Barbacoas.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

Evaluar de manera particular el posible impacto sobre la industria de la camaronicultura.

8. Evaluar el impacto y presentar las medidas de manejo por el aumento del nivel de inundación en los sistemas lagunares desde El Caño Correa, (K80), hasta la esclusa o compuerta, que puede afectar los suelos cultivados y en cierta forma los sistemas productivos.
9. Evaluar el posible impacto sobre las poblaciones de peces en la zona de la desembocadura del canal del Dique en la Bahía de Cartagena, así como de la pesca artesanal por la operación de la compuerta esclusa.

ARTÍCULO CUARTO.- Reiterar a CORMAGDALENA el cumplimiento de las obligaciones contenidas en los numerales 14 al 17 del artículo segundo de la resolución 921 del 8 de octubre de 2001, modificado con el artículo primero de la Resolución 249 de 2004, en lo relacionado con:

14 Se deberá elaborar y presentar el plan de Manejo de Aguas.

15 Se deben precisar los esquemas de administración, operación y mantenimiento de las estructuras diseñadas.

16 "Complementariamente, el estudio debe analizar el efecto sobre las condiciones de vida de los pobladores, en sus diferentes aspectos, incluyendo sus condiciones organizativas e institucionales, las tendencias de desarrollo, así como sobre el conflicto social presente en el área de influencia del proyecto.

17 "Tanto la evaluación de los impactos como la formulación de las medidas de manejo correspondientes, debe adelantarse con la activa participación de las comunidades asentadas en el área de influencia del proyecto, de acuerdo con las determinaciones de la Dirección de Etnias del Ministerio del Interior al respecto, para lo cual se le debe consultar la procedencia de adelantar consulta previa con dichas comunidades".

ARTÍCULO QUINTO.- CORMAGDALENA deberá dar cumplimiento a la Ley 1185 del 12 de marzo de 2008 *“Por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 – Ley General de Cultura y se dictan otras disposiciones”*.

ARTÍCULO SEXTO.- Los demás términos, condiciones, obligaciones y requisitos contenidos en la Resolución No. 260 de fecha 31 de marzo de 1997 y en sus modificaciones, y la resolución 0342 del 24 de marzo de 2004, proferidas por este Ministerio, continúan plenamente vigentes.

ARTÍCULO SÉPTIMO.- Por la Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales de este Ministerio, notificar el contenido de la presente Resolución al representante legal y/o apoderado debidamente constituido de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena –CORMAGDALENA-.

ARTÍCULO OCTAVO.- Por la Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales de este Ministerio, comunicar el contenido del presente acto a las Alcaldías ribereñas del Canal del Dique, a las Gobernaciones de Bolívar, Atlántico y Sucre; a la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique –CARDIQUE-, a la Corporación Autónoma Regional de Sucre –CARSUCRE- a la Corporación Autónoma Regional del Atlántico –CRA- , a la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, y a la Dirección General Marítima –DIMAR-.

ARTÍCULO NOVENO.- Por la Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales publicar el presente acto administrativo en la Gaceta Ambiental de este Ministerio, de conformidad con lo señalado en el artículo 71 de la Ley 99 de 1993.

**“POR LA CUAL SE ACEPTA UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL
HIDROSEDIMENTOLÓGICO”**

ARTÍCULO DÉCIMO.- Contra la presente resolución procede el recurso de reposición, el cual podrá ser interpuesto dentro de los cinco (5) días siguientes a su notificación, por escrito, ante el funcionario que emitió la misma, conforme a lo preceptuado en el artículo 50 y siguientes del Código Contencioso Administrativo.

NOTIFÍQUESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

EDILBERTO PEÑARANDA CORREA
Asesor Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales