D N P

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

CORPAMAG

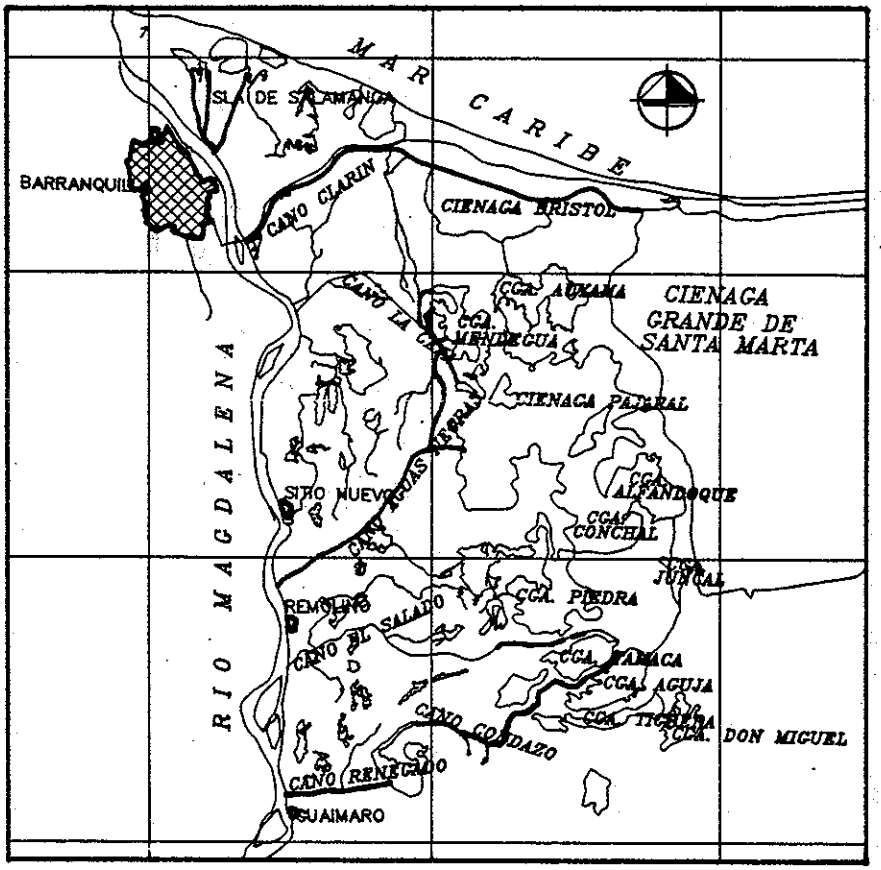
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL MAGDALENA
Y DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA

PRO – CIENAGA

GTZ

Deutsche Gesellschaft fur Technische
Zusammenarbeit

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA



DISEÑO OBRAS HIDRAULICAS

INFORME FINAL

DOCUMENTO EXTERNO

DEEB SOSSA S en C

ABRIL DE 1993

PROGRAMA DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

INFORME FINAL

DOCUMENTO EXTERNO

INDICE

1. INTRODUCCION 1-1

1.2 GENERALIDADES 1-2

1.3 ALCANCES 1-3

2. EL AREA DE ESTUDIO Y SU PROBLEMATICA 2-1

2.1 GENERALIDADES 2-1

2.2 EVOLUCION GEOLOGICA 2-4

2.3 GEOMORFOLOGIA 2-6
2.3.1 Cuerpos lagunares 2-6
2.3.2 Areas de bosque de pantano 2-7
2.3.3 Antiguos cursos del río Magdalena 2-7
2.3.4 Albardones y diques 2-7
2.3.5 Basines 2-8
2.3.6 Síntesis 2-8

2.4 IMPORTANCIA DEL AREA 2-9

2.5 PROBLEMATICA DE LA ZONA 2-10

2.6 DIAGNOSTICO HIDRICO DE LA SITUACION ACTUAL 2-11

2.7 ESQUEMA DE SOLUCION PROPUESTA 2-13

3.	INFORMACION BASICA UTILIZADA	3-1
3.1	CARTOGRAFIA Y AEROFOTOGRAFIAS	3-1
3.1.1	Planos	3-1
3.1.2	Aerofotografías	3-1
3.2	TOPOGRAFIA	3-2
3.2.1	Sistema de coordenadas	3-3
3.2.2	Alcance de la información de campo	3-3
3.2.3	Base de Datos	3-3
3.2.4	Referencias en campo	3-3
3.3	GEOTECNIA	
4.	DISEÑO DE LOS CANALES	4-1
4.1	GENERALIDADES	4-1
4.2.1	Estratigrafía y nivel freático	4-1
4.2.2	Recomendaciones de diseño - Taludes de excavación de los canales	4-4
4.2.3	Recomendaciones de diseño - Geometria de los diques	4-4
4.3	ANALISIS HIDROLOGICOS	4-5
4.3.1	Análisis de los registros de la estación de Calamar	4-5
4.3.2	Análisis de frecuencia	4-6
4.3.3	Caudales y niveles del Río Magdalena en el Trayecto de Interés	4-7
4.4	ESTUDIOS HIDRAULICOS	4-8
4.4.1	Generalidades	4-8
4.4.2	Procedimientos de Cálculo - Perfiles hidráulicos	4-10
4.4.3	Procedimiento de Análisis-Estabilidad Hidrodinámica de los Canales	4-12
4.4.4	Parámetros Básicos	4-13
4.4.5	Planteamiento y análisis de alternativas	4-14
4.4.5.1	Interconexiones Río Magdalena - Complejo Lagunar de Pajaral	4-14

4.4.5.2	Caños de Interconexión de la Isla de Salamanca	4-14
4.4.6	Trampas de Sedimentos	4-15
4.4.6.1	Caracterización Sedimentológica del Río Magdalena	4-15
4.4.6.2	Consideraciones para el Diseno de Trampas de Sedimentos	4-16
4.5	OBRAS DE CONTROL HIDRAULICO	4-17
4.5.1	Localización	4-17
4.5.2	Niveles y caudales	4-18
4.5.3	Criterios básicos utilizados	4-19
4.5.4	Dimensionamineto general	4-20
4.5.4.1	Zonas de Transición	4-21
4.5.4.2	Compuertas radiales	4-22
4.5.4.4	Rápida y Foso de Disipación de Energía	4-23
4.5.5	Consideradiones geotécnicas	4-23
4.5.6	Erosión a la salida de la estructura de control	4-23
5.	PROYECTO ADOPTADO	5-1
5.1	ESQUEMA GENERAL	5-1
5.1.2	Características generales	5-2
5.1.3	Elementos del sistema adoptado	5-2
5.1.4	Planos	5-3
5.2	CANALES	5-3
5.2.1	Canal Clarín	5-3
5.2.2	Canal Renegado	5-4
5.2.3	Canal Aguas Negras	5-6
5.2.4	Canales Isla de Salamanca	5-7
5.3	ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ENTRADA DE AGUA	5-8
5.4	OBRAS COMPLEMENTARIAS	5-10
5.4.1	Trampas de sedimentos	5-10
5.4.2	Puentes	5-11
5.4.3	Muelles	5-11
5.4.4	Otras obras	5-12
5.5	DISPOSICION DE SEDIMENTOS	5-12

6.	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	6-1
6.1	GENERALIDADES	6-1
6.2	OBRAS CONTEMPLADAS	6-1
6.3	CONSIDERACIONES BASICAS	6-2
6.4	PROGRAMA DE CONSTRUCCION	6-2
6.5	EQUIPO REQUERIDO	6-3
7.	PRESUPUESTOS DE INVERSION	7-1
7.1	PRECIOS UNITARIOS	7-2
7.2	CANTIDADES DE OBRA	7-2
7.3	PRESUPUESTOS	7-3

APENDICES

1. RELACION DE PLANOS
2. CALCULO DE VOLUMENES DE EXCAVACION Y TERRAPLEN
3. ANALISIS DE COSTOS

ANEXOS

1. TOPOGRAFIA
2. GEOTECNIA

3. CALCULOS HIDRAULICOS
   - CANALES
   - ESTRUCTURAS

4. CALCULOS ESTRUCTURALES

DOCUMENTOS DE LICITACION

1. PLIEGOS DE CONDICIONES

2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

3. PLANOS

4. FORMULARIOS

PROGRAMA DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

FIGURAS

2.1 ESQUEMA BASICO DE LA ZONA DE ESTUDIO E IMPLEMENTACION IDEAL DEL MODELO CIENAGAS - CONDICION BASE.

2.2 DESCRIPCION GEOMORGOLOGICA DEL DELTA DEL RIO MAGDALENA AÑO 1953.

2.3 DESCRIPCION GEOMORGOLOGICA DEL DELTA DEL RIO MAGDALENA AÑO 1968.

2.4 DESCRIPCION GEOMORGOLOGICA DEL DELTA DEL RIO MAGDALENA AÑO 1987.

2.5 ARQUITECTURA DE CANALES

4.1 CURVA DE DURACION DE CAUDALES

4.2 CURVA DE DURACION DE NIVELES

4.3 CURVAS DE EXCEDENCIA

6.1 CRONOGRAMAS DE OBRAS

6.2 CRONOGRAMAS DE OBRAS

6.3 CRONOGRAMAS DE OBRAS

6.4 CRONOGRAMAS DE OBRAS

MAPA No.1
ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS MAS IMPORTANTES DEL DELTA DEL RIO MAGDALENA - MARGEN DERECHA.

PROGRAMA DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

TABLAS

3.1 MOJONES PROYECTO CIENAGAS

4.1 CAUDALES MAXIMOS ESPERADOS PARA PERIODOS DE RETORNO ENTRE 5 y 100 AÑOS

4.2 RELACION ENTRE LOS CAUDALES FRENTE A LA ESTACION DE CALAMAR Y LOS CAUDALES DEL RIO MAGDALENA AGUAS ABAJO DEL CANAL DEL DIQUE

4.3 DIMENSIONAMIENTO TRAMPA DE SEDIMENTOS

4.4 CONCENTRACION DE SEDIMENTOS

4.5 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA FRACCION DE ARENAS ENCONTRADAS EN EL RIO MAGDALENA

4.6 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA FRACCION DE ARENAS ENCONTRADAS EN EL RIO MAGDALENA

4.7 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA FRACCION DE ARENAS ENCONTRADAS EN EL RIO MAGDALENA

4.8 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA FRACCION DE ARENAS ENCONTRADAS EN EL RIO MAGDALENA

5.1 RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS CANALES

5.2 DIMENSIONES DE DISEÑO PUENTES TIPO

PROGRAMA DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

CUADROS

7.1 PRECIOS UNITARIOS

7.2 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El presente documento hace parte de una serie de informes, trabajos e investigaciones que se han adelantado durante los últimos 15 años, en busca de soluciones a la problemática ambiental del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, incluyendo la Isla de Salamanca.

El Gobierno Nacional, inicialmente a través de' INDERENA y posteriormente a través del DNP/CORPAMAG, con la colaboración de COLCIENCIAS, INVEMAR, EL CORPES de la Costa Atlántica, PRO-CIENAGA, las Universidades de Magdalena, El Norte y de Los Andes, y otras entidades y consultores; ha incrementado su interés por adelantar las tareas y obras requeridas para iniciar la recuperación de los recursos naturales propios de la zona, como una acción tendiente a mejorar las condiciones de vida de la población que vive de la explotación de éstos.

Los estudios hidráulicos fueron posiblemente iniciados por el Laboratorio Central de Francia, cuando por convenio con el Ministerio de Obras Públicas operaban el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Bogotá, a finales de la década de los sesentas y comienzos de los setentas. Posteriormente, la Universidad de Los Andes, a través del Centro de Estudios Técnicos e Investigaciones Hidráulicas, CETIH, adelantó para INDERENA un diagnóstico Hídrico y Salino de la Ciénaga Grande de Santa Marta 1978, como parte de las tareas de recopilación, análisis e investigación de las condiciones existentes, tendientes a la formulación de un programa de ecodesarrollo para la región. Por cuestiones de índole presupuestal INDERENA no pudo continuar con estos trabajos, ni implementar las propuestas que de ellos surgieron.

Más adelante INDERENA adelantó algunos estudios que sirvieron de base a la convocatoria de entidades públicas que hiciera la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales, acción que reunió al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a la Gobernación del Magdalena, INDERENA, CORPAMAG, SENA, HIMAT entre otras con el propósito de adelantar unas Obras de Emergencia que fueron acordadas como resultado de dicha convocatoria.

El Departamento Nacional de Planeación a través del Plan de Acción Forestal para Colombia DNP-PAFC, CORPAMAG y el Proyecto de Cooperación Técnica Alemana, PRO-CIENAGA, han dado un nuevo impulso a las acciones tendientes a la recuperación

ambiental del Complejo Lagunar, contando además con el apoyo financiero, en principio, por parte del Banco Interamericano de Desarrollo.

El trabajo que aquí se presenta es el resultado de todo este esfuerzo en el cual, con el concierto de todas las entidades participantes, se presentan los diseños detallados y los documentos de licitación para un conjunto de obras, de la primera Fase, con las cuales se espera iniciar la recuperación ambiental del Complejo Lagunar asociados a la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Parque Isla de Salamanca.

Este es una de las líneas de trabajo emprendidas por las entidades participantes, y por lo tanto su enfoque aparece parcial y restringido a consideraciones técnicas de ingeniería hidráulica. Complementando este trabajo hay múltiples acciones que vienen desarrollando la Nación y la Región, enmarcadas en el propósito de la recuperación ambiental de la zona y el bienestar de las comunidades que de ella derivan su sustento.

1.2 GENERALIDADES

Los diseños que se presentan en este documento son el resultado de un largo proceso de investigación, análisis, planteamiento de alternativas, consideración de diferentes opciones de manejo y amplia discusión multidisciplinaria, que llevó al Departamento Nacional de Planeación, a CORPAMAG y a la GTZ a definir finalmente los parámetros (caudales) que gobiernan el diseño hidráulico.

Con base en los parámetros así definidos los Consultores adelantaron los diseños detallados con miras a minimizar los costos requeridos, cumpliendo con todos los requerimientos técnicos. Complementando los diseños, que se describen en el presente volumen, se han preparado los documentos completos de licitación, en cuatro volúmenes, así:

- Pliego de Condiciones
- Especificaciones Técnicas
- Planos Detallados
- Formularios de Licitación

1.3 ALCANCES

El presente volumen contiene una descripción, somera pero completa, de la información básica recolectada, procesada y utilizada, de los análisis técnicos realizados, así como una completa descripción de las obras propuestas para la Fase I.

En capítulo aparte, y a nivel de factibilidad, se presentan los dimensionamientos de las obras contempladas para la segunda etapa, utilizando los caudales de diseño definidos por la Interventoría Internacional, Delft Hydraulics.

Para las obras de la Fase I se presenta un capítulo especial sobre el cronograma de construcción de cada canal, con recomendaciones específicas sobre el equipo recomendado. Como se reitera en el capítulo 6 el cronograma propuesto debe considerarse como guía, correspondiendo a los constructores especializados en este tipo de obras ajustar los tiempos de acuerdo a su experiencia y equipo disponible.

Complementando los capítulos anteriores se presenta el cuadro de costos preparado a precios de Marzo de 1993.

CAPITULO 2

EL AREA DE ESTUDIO Y SU PROBLEMATICA

2.1 GENERALIDADES

El área del proyecto de Recuperación Ambiental del Delta del Río Magdalena, corresponde a una zona delimitada por el Caño Schiller al sur, el río Magdalena al oeste, el mar Caribe al norte y por la Zona Bananera de Santa Marta al este.

En esta gran zona (más de 3.000 km^2) se pueden distinguir varios sectores claramente identificables por su fisiografía y problemática ambiental.

El área de interés, para efectos del trabajo aquí descrito, es menor. Comprende la Ciénaga Grande de Santa Marta, el Complejo Lagunar de Pajaral, la Isla de Salamanca y la margen derecha del río Magdalena que drena hacia el Complejo Lagunar. El sector del Caño Schiller y su área de influencia no está aquí contemplado.

Para describir el comportamiento hídrico del Complejo Lagunar de Pajaral y de la Ciénaga Grande de Santa Marta, el área de estudio se define en función de sus entradas y salidas de agua. Desde este punto de vista, y dados los aportes de agua de los ríos provenientes de la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, la Zona Bananera forma parte del área de estudio, y representa el límite oriental de la misma. Los aportes desde el Río Magdalena hacia el Complejo Lagunar implican el análisis del trayecto comprendido entre la ciudad de Calamar (donde se presenta la difluencia del Canal del Dique) y la desembocadura en Bocas de Ceniza. De esta manera el río Magdalena se constituye en el límite occidental del área de estudio.

La interacción entre la Ciénaga Grande de Santa Marta y el mar, uno de los elementos más importantes del sistema en estudio, implica que el Mar Caribe es el límite norte del área de interés. La presencia de la Troncal del Caribe se constituye en una frontera que separa al Parque Isla de Salamanca del resto del Complejo Lagunar, a pesar de existir algunas conexiones hidráulicas menores.

El límite sur lo define la divisoria natural de aguas entre las vertientes de la Ciénaga de Sapayán (hacia el sur), y el Complejo Lagunar bajo estudio.

Dentro de estos límites geográficos, se identifican varias áreas o cuerpos de características singulares a resaltar. Los principales son:

Al oriente, la zona montañosa de la vertiente occidental de la **Sierra Nevada de Santa Marta** caracterizada por sus elevadas pendientes, valles estrechos y ríos torrenciales. Esta zona posee un amplio piedemonte muy bien definido que separa la zona montañosa de la planicie, suavemente ondulada y de alta riqueza agrológica, conocida con el nombre de Zona Bananera de Santa Marta. La zona bananera es una región de intenso uso del agua, con aprovechamiento de las aguas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, afectando los volúmenes de agua y cambiando su distribución en el tiempo antes de que éstos se conviertan en aportes hídricos a la Ciénaga Grande. Las principales corrientes son los ríos Frío, Sevilla, Orihueca, Tucurinca, Aracataca y Fundación.

La Zona Bananera puede dividirse en dos áreas bien definidas. Una larga franja de suelos productivos con un ancho que aumenta de Norte a Sur, de 10 km a 25 km respectivamente, y una zona de suelos predominantemente salinos, donde resulta menor la afectación directa del hombre, cubierta por un bosque intervenido (denso, sempervivente ombrófilo y pantanoso[1]) que colinda con la Ciénaga Grande de Santa Marta.

La complejidad del sistema de drenaje local y la carencia total de información particular imposibilita la descripción detallada del comportamiento hidráulico de este sector.

La Ciénaga Grande de Santa Marta es la laguna costera más grande de Colombia, con una extensión de cerca de 430 km^2. Cuenta con una sola conexión con el mar, a través de la boca del Puente La Barra. La Ciénaga Grande está conectada con el Complejo Lagunar de Pajaral por caños, siendo el principal el "Caño Grande", el cual comunica los dos cuerpos lagunares de mayor tamaño: Ciénaga Grande y Ciénaga de Pajaral. Adicionalmente, se comunica con la Ciénaga de la Auyama a través del Caño Tambor, con la Ciénaga Alfandoque a través del Caño La Bodega, con el sector del Bristol por el caño El Clarín y con la ciénaga Don Miguel en la zona de desembocadura del Río Fundación.

La Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra comunicada con el río Magdalena a través del Caño Clarín, que en vecindades de la ciénaga se conoce con el nombre de Caño Hondo.

Al occidente de la Ciénaga Grande se encuentra el denominado **Complejo Lagunar de Pajaral**, conjunto integrado por numerosos cuerpos de agua entre los cuales se pueden mencionar, de sur a norte, los principales así:

---

[1] INDERENA. Bases para el Plan Regional de Ecodesarrollo del Complejo Estuárico de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Arthur Simon, 1981.

- El límite sur lo conforman las Ciénagas de Buenavista, la Tigrera, Don Miguel y La Aguja, las cuales se encuentran conectadas con el río Magdalena a través de los caños Renegado y Condazo.

- La Ciénaga de Tamaca, que además de estar comunicada con la Ciénaga de La Aguja, recibe agua del río Magdalena a lo largo del Caño Salado.

- La Ciénaga de El Juncal, conectada por el sur a la Ciénaga de La Aguja y a través de ella al sistema de caños Renegado y Condazo. Por el norte interactúa con la Ciénaga de Alfandoque.

- Ciénaga de La Piedra, conectada con el río Magdalena a través del Caño El Salado, y con las Ciénagas de Tamaca al Sur y El Conchal al norte.

- Ciénaga de Alfandoque, localizada al norte de la Ciénaga de El Juncal con la cual existe una comunicación. Esta Ciénaga está interconectada tanto con la Ciénaga Grande como con Pajaral, con esta última a través de la Ciénaga de El Conchal.

- El cuerpo principal del complejo de Pajaral lo compone la Ciénaga de Pajaral y las Ciénagas de Pijinio, Cherle y del Tigre, que por el gran tamaño de los canales de interconexión se siguen considerando como un solo elemento. La ciénaga de Conchal se considera como un cuerpo aparte. La Ciénaga de Pajaral recibe aguas del río Magdalena a través del Caño Aguas Negras, al sur, y del Canal la Ceja más al norte, hoy en día taponado a la altura de los Rieles.

- Al norte de Pajaral se encuentran las ciénagas de Mendegua, Machetico, Hachita, La Luna y de la Auyama, intercomunicadas entre sí y con la Ciénaga de Pajaral a través de "Caño Hondo", aunque existen otros caños menores. La Ciénaga de la Auyama está comunicada con la Ciénaga Grande de Santa Marta por medio del Caño Tambor; la Ciénaga de La Luna se comunica al Caño Clarín a través del Canal de Láminas del Caribe (conocido también como caño Indio) y del Caño Bristol.

- Este sector norte, en especial la zona del caño Bristol, está compuesto por un importante número de pequeños cuerpos de agua que al sumarse conforman un elemento de características muy similares a las demás ciénagas del complejo en el sector norte.

Rodeando este complejo de ciénagas se encuentra un bosque de Mangle, el cual ha estado sujeto a un fuerte stress ambiental en los últimos años.

Entre el Complejo Lagunar descrito y el río Magdalena se encuentra una planicie de inundación, construida por el río al desplazarse de oriente a occidente, en donde se han localizado varias poblaciones. En los últimos lustros esta área ha experimentado un rápido proceso de incorporación de tierras a la producción agropecuaria.

Las poblaciones localizadas en la margen derecha (oriental) del río Magdalena han construido diques de protección contra inundaciones, los cuales hoy en día representan una barrera casi continua desde el Piñón hasta Palermo, en una distancia superior a los 50 km. De esta manera los desbordamientos naturales del río Magdalena, que aportaban en épocas de inundación abundante cantidad de agua dulce al Complejo de Pajaral, se encuentran limitadas a unas pocas bocas reguladas por compuertas, operadas con fines de control de inundaciones primordialmente.

2.2 EVOLUCION GEOLOGICA[2]

Existen varios estudios que describen geológica y geomorfológicamente el delta del río Magdalena, en una aproximación de carácter regional. No se ha obtenido, sin embargo, un estudio geomorfológico detallado del actual delta del río Magdalena a pesar de los numerosos estudios de ingeniería existentes.

Según los estudios geológicos consultados (Proyecto Colombo Holandés, 1977 Vol. 1, Cap. 4; IGAC "Monografía del Departamento de Magdalena", 1973; SODEIC, 1987; A. Simón "Bases para el Plan de Ecodesarrollo..." 1981; RAASVELT 1958) la génesis geológica del área se encuentra asociada a tres grandes fuerzas o factores: a) Los cambios del nivel medio del mar, b) el transporte litoral de sedimentos, desde Santa Marta al sur por la corriente costanera marina y c) la continua sedimentación del río Magdalena.

Al comenzar la era terciaria (hace 65 millones de años aproximadamente) la mayor parte del país se hallaba cubierta por mar. Tan solo emergían algunas islas, como anticipo de las actuales cordilleras, y el escudo de la Guyana. En el período Eoceno, de la era terciaria (53 - 37 millones de años) ocurrió una fase del levantamiento andino.

La Sierra Nevada de Santa Marta parece haber formado parte de un mismo sinclinal con el eje de la Cordillera Central y las serranías de la Guajira. El fallamiento de este sinclinal, ocurrido durante el Mioceno (26 a 12 millones de años), dio origen a la

---

[2] Tomado del Informe "Evaluación Preliminar de Aspectos Ambientales - Estabilización del Canal Navegable de Acceso al Terminar Público de Barranquilla". Septiembre de 1988, elaborado por Dr. A. Deeb a través de Estudios y Asesorías Ltda. para el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores.

depresión momposina y predeterminó las condiciones que finalmente fijaron el cauce del río Magdalena. El levantamiento del Macizo de la Sierra Nevada posiblemente se inició desde el mioceno (26 a 12 millones de años) y tuvo su fase más activa durante el plioceno (12 a 3 millones de años); su emergencia determinó el límite oriental del delta del río Magdalena.

A la iniciación de la era cuaternaria (últimos 3 millones de años), los montes de María, la región de Cartagena, el sistema de colinas de Ariguaní y la Sierra Nevada de Santa Marta, presentaban el aspecto de una serie de islas. Durante los primeros 2 millones de años de la era cuaternaria (Pleistoceno) ocurrió una activa sedimentación en toda la llanura sumergida del litoral y se presentaron oscilaciones del nivel marino que provocaron transgresiones. Se estima que durante el Tercer Interglaciar ocurrió la transgresión más importante llegando el mar a tener unos 100 ó 120 metros por encima de su nivel actual y el río Magdalena desembocaba en un gran Estuario, el cual se iniciaba en donde hoy se encuentra la ciénaga de Zapatosa. Posteriormente (cuarto pluvioglacial-Wisconsiniano) se presenta una gran regresión del nivel marino (aproximadamente 100 metros por debajo del nivel actual); la depositación de sedimentos debió entonces incrementarse como resultado de un clima más lluvioso, y dio inicio a la formación del cauce bajo reciente del río Magdalena.

Al comenzar el Holoceno (últimos 10.000 años) el mar asciende al nivel que presenta hoy y el delta del río Magdalena se halla formado por un conjunto de brazos que llegan al mar Caribe, incluyendo el Canal del Dique y un conjunto de canales que desembocan en la Ciénaga Grande de Santa Marta, entonces una bahía.

Es durante este último período, Holoceno, en el cual actúa de manera especial el transporte litoral de sedimentos, que forma una flecha o conjunto de barras en el límite norte de la bahía cambiando las características de la misma hacia una ecorregión estuárica.

El desarrollo posterior es de consolidación de las principales geoformas, con interferencia por parte del hombre en fijar la desembocadura del río Magdalena, afectar el sistema natural de drenaje (especialmente el asociado a desbordamientos) y explotar los recursos naturales del área. El proceso geomórfico descrito se observa gráficamente en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.

No se pudo identificar ningún estudio que describa específicamente los cambios geomórficos de la parte norte del delta del río Magdalena, sin embargo, es claro de los mapas históricos analizados, que la flecha o barra de Salamanca se ha unido a algunas islas de formación fluvial, localizadas al oriente de la desembocadura del río Magdalena, y que los canales, caños y bocanas se han colmatado principalmente con los materiales

que transporta el río Magdalena, pero con influencia de la carga litoral del Mar Caribe, conformada principalmente por arenas medias y gruesas.

2.3 GEOMORFOLOGIA

No existe, como se mencionó anteriormente, estudios geomorfológicos de la zona estuárica del río Magdalena que permitieran un detallado análisis de los muchos componentes geomórficos que componen el área de estudio. Los Consultores han concentrado sus esfuerzos en la planicie de inundación del río Magdalena, sector donde se ubican las obras hidráulicas contempladas.

Para efectos de la breve descripción de los principales elementos geomorfológicos de la planicie de inundación del río Magdalena, se han utilizado los trabajos recientes presentados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Estudio de las Conexiones Hidrológicas entre el Río Magdalena y las Ciénagas Aledañas (Margen derecho, sector Palermo-Sitio Nuevo), Sep. 1988, y por Gómez, Cajiao y Asociados, Estudio Topográfico, Hidráulico y Geotécnico del Camino Palermo-Sitio Nuevo-Remolino en el Departamento de Magdalena, Dic. 1991. Estos trabajos fueron realizados para el Fondo Nacional de Caminos Vecinales. (El lector interesado debe referirse a estos documentos para una descripción geológica-geomorfológica más detallada).

Como se puede apreciar en el mapa No. 1, y desde el punto de vista de este informe, los elementos geomorfológicos más importantes que se identifican corresponden a:

- Cuerpos lagunares.
- Area de bosque de manglar y de vegetación de pantano que rodea los cuerpos lagunares y que delimita la zona pantanosa o de frecuente inundación.
- Antiguos cursos del río Magdalena.
- Albardones o diques naturales que bordean y conforman los cauces, antiguos y actual, del río.
- Basines, o áreas plano cóncavas, normalmente rodeadas por albardones y que representan artesas naturales.

2.3.1 Cuerpos lagunares

En el plano adjunto, en el cual se ha reproducido la información del IGAC, 1988, se indican los principales cuerpos lagunares permanentes. Por el objeto mismo del mapa no se indican las interconexiones existentes, excepto las más importantes.

2.3.2 Areas de bosque de pantano

Rodeando todos los cuerpos lagunares se encuentra una extensa zona de vegetación de pantano y mangle que llega a bordear la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Esta zona tiene especial relevancia para efectos del presente trabajo. El límite sur claramente define el extremo de interés de la posible interacción río Magdalena - Complejo Lagunar, lo cual claramente justifica la exclusión del caño Schiller.

El borde occidental de esta zona representa el límite entre la zona pantanosa, de frecuente inundación y suelos orgánicos, por un lado, y tierra firme por el otro, caracterizado por orillales de antiguos cauces, albardones naturales, de suelos granulares finos, relativamente consolidados y topográficamente algo elevados; ésto es, el límite oriental de la planicie de inundación.

2.3.3 Antiguos cursos del río Magdalena

Varios antiguos cursos se desprenden del actual, hacia el noreste (Raasveldt, 1958; CIAF, 1983; Khobzi, 1985; IGAC, 1988; y Gómez Cajiao, 1991).

- Uno, al sur de Salamina, muestra una historia compleja, con un brazo antiguo que desaparece en la Ciénaga La Tigrera y otros más recientes que terminan en la Ciénaga Dos Santos, ambos sepultados en su tramo final por sedimentación arcillosa.

- Otro entre Remolino y sitio Nuevo, actual caño Aguas Negras, se aleja hacia el noreste pero, en lugar de penetrar hacia la Ciénaga de Pajaral, toma una orientación hacia el norte y noroeste, con ramales que terminan en las ciénagas de La Señora, Pajaral, Mendegua y termina en el canal Caño Clarín Nuevo.

- El último, probablemente el más reciente, une el sector de Palermo en la costa actual que lo recorta.

- Huellas, ahora apenas discernibles, de morfologías de barras aluviales asociadas con antiguos cursos del río, se observan al sur, caño Schiller, y al occidente la ciénaga La Señora.

2.3.4 Albardones y diques

La identificación geomorfológica de los antiguos cursos del río Magdalena se obtiene observando la disposición de los albardones o diques de orilla que se observan tanto en fotografías aéreas como en el terreno. Estos albardones son depósitos de sedimentos que

se forman como resultado de la depositación del material grueso que transportan las aguas de desbordamiento de los ríos aluviales. Como los materiales más gruesos se depositan primero, los diques tienden a dar origen a suelos de alta permeabilidad, bien drenados y fértiles. Tienden por lo tanto a ser explotados y su posición topográfica, a mayor nivel que el resto de la planicie, atrae el asentamiento de viviendas protegidas de las inundaciones.

Como se puede apreciar en el mapa geomorfológico a casi todo lo largo de la orilla derecha del río Magdalena se observa la presencia continua de albardones, a excepción de la entrada del caño Aguas Negras, entre Remolino y Sitio Nuevo.

A lo largo del caño Aguas Negras, en los límites entre la planicie de inundación y la zona pantanosa, se observan los relictos de un albardón que debió ser "cortado" en pequeñas hendiduras para permitir el paso de agua hacia el complejo lagunar.

2.3.5 Basines

Bajo este nombre se identifican geoformas plano cóncavas, o artezas naturales, donde tienden a retenerse las aguas de desbordamiento, dando origen con frecuencia a ciénagas de poca profundidad y de extensión muy variable entre invierno y verano. En el área de estudio este tipo de geoforma se identifica en sectores que han sido rodeados de albardones, que impiden o dificultan el drenaje de las aguas hacia el exterior. Como ejemplo se pueden indicar el área que rodea las ciénagas de Pivijay y La Señora, y el sector de la ciénaga de Guaimaral entre los más importantes.

Estos basines detienen las aguas de desbordamiento fomentando la depositación de sedimentos finos. Por lo anterior dan origen a suelos finos, de tipo arcilloso, de baja permeabilidad y normalmente con un alto contenido de humedad.

2.3.6 Síntesis

Desde el punto de vista del planeamiento de las obras hidráulicas requeridas para la recuperación ambiental del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, se requiere la construcción de canales o ampliación de caños que atraviesen la planicie de inundación y entreguen sus aguas en las ciénagas directamente. A la existencia de cursos antiguos del río Magdalena hay que agregar la existencia de muchísimos caños menores, artificiales y naturales, que pueden ser utilizados como corredores.

El análisis de los estudios geomorfológicos realizados en el pasado permiten delimitar adecuadamente la planicie de inundación, la zona pantanosa y las geoformas principales. Esta información resulta particularmente valiosa para la identificación y análisis de

canales o caños que se piensen utilizar para la derivación de aguas desde el río Magdalena.

El área de interés particular ha sido ocupada en repetidas ocasiones por el cauce del río Magdalena, el cual ha depositado material que transporta, principalmente durante períodos de desbordamiento, dando origen a una geomomorfología cruzada, con orillales y paleocauces. Estos relictos de una actividad fluvio dinámica anterior, también han dado origen a basines donde se depositan materiales finos y arcillosos, y donde se observan ciénagas que han ido desapareciendo por la intervención del hombre. (Tal es el caso de la ciénaga de Pivijay).

2.4 IMPORTANCIA DEL AREA

El Delta exterior del río Magdalena y su complejo ecosistema costero constituye el ambiente de mayor productividad biológica del Caribe colombiano. Aunque la extensión de sus ciénagas y lagunas salobres no superan los 1.200 Km^2, cada metro cuadrado de su espejo de aguas es veintiocho veces más productivo que la misma área en las aguas oceánicas adyacentes del Mar Caribe. Hernández y Gocke (1990) reportan una productividad primaria bruta anual para el centro de la CGSM de 1690 gC/m^2/día y productividad primaria neta de 990 gC/m^2/día, valores muy por encima de los reportados para la Bahía Apalachicola (Florida - USA) de 300 gC/m^2/día o para la Laguna Costera de Términos (México) de 438 gC/m^2/día (Escobar, 1991).

Tomando en cuenta la pequeña influencia de aguas marinas superficiales poco productivas a través de la Boca de la Barra al sistema, se calcula según los datos obtenidos por Hernández (1986) una producción primaria bruta fitoplanctónica de 710.000 toneladas de carbono orgánico por año; de éstas, el 49% (347.900 ton) son consumidas por la respiración (metabolismo) del zooplancton y la degradación bacteriana, de tal forma que el sistema produce en 450 Km^2 de espejo de agua 360.000 toneladas de carbono orgánico para los requerimientos de la productividad secundaria (bancos de ostra, camarones, peces y otros) y un excedente para exportación a los ecosistemas neríticos y pelágico-costeros adyacentes. Estos fenómenos pulsátiles de fertilización sustentan los mecanismos de producción natural y la oferta de productos marinos costeros que soportan las pesquerías artesanales en cerca del 60% del litoral de Departamento del Magdalena.

La zona del Delta, sus lagunas y ciénagas rodeadas de manglares son un extenso depósito de toneladas de materia orgánica en tránsito arrastrada por la escorrentía de la vertiente oriental de la SNSM y los caños que unen (unían) al Río Magdalena con las ciénagas del Delta, comportándose entonces como un sistema abierto al flujo de energía y materia. De esta forma los ecosistemas lenticos y lóticos de agua dulce de la cuenca, lagunas costeras y estuarios salobres del Delta y el mar, interactúan a través de las

corrientes de agua constituyendo una UNIDAD ECOLOGICA, interdependiente, muy productiva, pero de notable fragilidad.

Al disminuir los insumos de agua dulce al sistema, la salinidad del agua y el suelo aumento, y la productividad neta disminuye. Estos factores aunados a cambios del terrero por erosión y deforestación terrestre excesiva, ocasionan una reducción de la producción de hojarasca del manglar (27.5 ton. ha/año para la CGSM) que sustenta a su vez una compleja red trófica del sistema basada en el transporte de energía y materia orgánica a través de la vía detrítica.

2.5 PROBLEMATICA DE LA ZONA

A partir de 1956 cuando se construyó la carretera Ciénaga-Barranquilla, se inició un proceso de degradación progresiva de la ecorregión, por la interrupción que hizo el terraplén de la vía de los caños que permitían el intercambio hídrico entre el mar y el complejo de ciénagas del Delta Exterior del Río Magdalena. Esta situación fue agravada posteriormente por la disminución de los flujos provenientes del río Magdalena debido a la sedimentación de los Caños principales, a la construcción de la vía Palermo-Sitio Nuevo- Remolino-Salamina cuyos terraplenes interrumpieron flujos menores y donde se construyeron obras de drenaje para los caños mayores sin cumplir las especificaciones necesarias. El proceso de deterioro del Delta ha alcanzado en el último decenio características alarmantes. Estudios recientes, elaborados por el Instituto de Investigaciones Marinas (INVEMAR), ponen en evidencia la muerte en el período 1956 a 1987 de 20.804 hectáreas que representan el 41% del bosque de manglar existente. Como causa principal se asocian aquellos factores ligados al equilibrio halohídrico, puesto que en máxima proporción la problemática de degradación inmediata que viene afrontando la ecorregión depende de la ruptura de dicho equilibrio o balance a favor de pronunciadas tendencias hacia la hipersalinidad del suelo y del agua. Estudios realizados (Moreno, 1984) en el Parque Isla de Salamanca encontraron salinidades en el suelo muy superiores a los valores que puede resistir la especie de mangle *Avicennia Germinans* la cual soporta las mayores tensiones ambientales y sobrevive a salinidades mayores a 80 partes por mil y muere con salinidades superiores a 100 partes por mil (Sánchez, 1988).

El deterioro ambiental de la Isla de Salamanca, Ciénaga Grande y demás sistemas pertenecientes al Delta generó grandes perturbaciones ecológicas que provocaron la disminución drástica de las pesquerías reflejado en la declinación de los volúmenes de captura y en la pesca de ejemplares que no han alcanzado las tallas mínimas de madurez sexual. Los volúmenes de pescado movilizado de la Ciénaga Grande de Santa Marta, pasaron de 8.000 toneladas (incluyendo ostras) en 1972 a 1.800 toneladas en 1989. Esta situación crítica de las pesquerías, sumada a la alta presión de pesca, sitúa en un punto

de riesgo potencial la renovación natural de las especies y el futuro de las pesquerías de la región.

En la actualidad se observa que grandes extensiones del parque natural y del sistema laguno-estuárico, otrora de espesos bosques de manglar con árboles que alcanzaban hasta los 25 metros de altura, se han convertido en un paisaje desolador con grandes troncos de mangle seco, donde no crece ninguna vegetación debido a la hipersalinización del suelo y el agua.

Entre las causas de este grave deterioro ecológico se mencionan:

- Interrupción del intercambio de agua entre el Complejo y el mar debido a la construcción del carreteable Ciénaga-Baranquilla, que no previó en su momento las medidas necesarias para mantener los flujos naturales.

- Disminución de entrada de agua dulce al Complejo proveniente del río Magdalena, bien por la excesiva sedimentación u obstrucción de canales debido a procesos naturales, o bien por la acción de propietarios situados en el Delta que han obstruido caños que permitía el flujo de agua dulce desde el río Magdalena a través de pasajes naturales. La construcción de la carretera Medialuna-Pivijay-Salamina, que afectó los caños Ciego y Salado junto con la construcción del carreteable Palermo-Sitio Nuevo ha sido otro factor que ha influido en la disminución del flujo de agua dulce al Complejo, debido a que las obras de drenaje construidas para permitir el paso del agua resultaron insuficientes.

- La permanencia de colonos invasores dentro del parque, quienes también taponan los caños y hacen explotación inadecuada del mangle.

2.6 DIAGNOSTICO HIDRICO DE LA SITUACION ACTUAL

Los resultados de estudios anteriores, particularmente de la aplicación del modelo CIENAGAS[3], permiten tener una visión global de la problemática hídrica del complejo lagunar caracterizada por:

a. El Complejo Lagunar se encuentra localizado en una región climática con marcado déficit hídrico, al ser la evaporación superior a la precipitación. La precipitación fluctúa entre 400 mm/año alrededor de la Isla de Salamanca y

[3] PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA. Diseños Hidráulicos Preliminares. DEEB SOSSA S. en C.. Octubre 1992.

1.000 mm/año en la Zona Bananera, mientras la evaporación es cercana a 2.200 mm/año en Barranquilla y de alrededor de 1.700 mm/año en la Zona Bananera. Sin aportes hídricos externos el Complejo Lagunar sería permanentemente hipersalino.

b. Hay dos fuentes principales de agua dulce adicionales a la precipitación: los ríos que drenan la Sierra Nevada de Santa Marta y que surten los distritos de riego de Prado Sevilla, por el costado oriental, y el río Magdalena por el extremo occidental.

c. Las aguas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta afectan principalmente, y en forma directa, la salinidad del cuerpo principal de la Ciénaga Grande de Santa Marta, con un efecto muy secundario en el resto del complejo.

d. Las ciénagas del costado occidental dependen de la escorrentía generada en la planicie de inundación y de los caudales derivados del Río Magdalena para su control salino, produciéndose hipersalinización cuando se interrumpen o limitan sus flujos, o dulcificando los cuerpos lagunares cuando se presentan desbordamientos importantes.

e. Los aportes del río Magdalena, en la condición existente, resultan ser muy bajos durante los primeros meses del año, cuando más se requieren por exceder ampliamente la evaporación a la precipitación. Por el contrario, las aguas altas del río Magdalena concuerdan con el período de lluvias del segundo semestre, aportando mayores volúmenes de agua cuando no se necesitan causando en ocasiones períodos prolongados de dulcificación de las ciénagas.

f. Como lo indica la Figura 2.1, a nivel anual, el complejo lagunar como tal entrega al mar (exporta) alrededor de 3.500 Mm^3. Este balance de aguas con el mar claramente indica un gran aporte de agua dulce al sistema en su totalidad.

g. Analizando el Complejo de Pajaral, éste también es exportador de agua, en aproximadamente 290 Mm^3/año. No obstante ser exportador de agua, el Complejo Lagunar de Pajaral representa una zona con déficit hídrico de alrededor de 458 Mm^3/año. Lo anterior implica que los aportes del río Magdalena y la escorrentía propia de la planicie de inundación suman 748 Mm^3/año.

h. Los números anteriores muestran que el Complejo Lagunar de Pajaral presenta una importante dinámica hídrica, al transitar a través del sistema 290 Mm^3/año netos, y al tener ingresos de agua por 748 Mm^3/año.

i. Estos números también indican la muy alta dependencia que mantiene el Complejo Lagunar de Pajaral de los aportes hídricos del río Magdalena y de su planicie de inundación.

j. Balances hídricos parciales, con base en los datos indicados en la Figura 2.1, para cada uno de los principales sectores del Complejo Lagunar de Pajaral indican (datos promedio de 18 años de simulación, en Mm^3/año)

	ENTRADAS	SALIDAS	PERDIDAS
Sector Sur	462,5	376,2	86,3
Sector Central[4]	353,7	307,3	46,4
Ciénaga de Pajaral	459,0	304,1	154,9
Sector Norte[5]	175,4	2,1	173,3
Complejo de Pajaral	749,4	288,5	460,9

Estos valores permiten afirmar en términos generales que no existe, a nivel anual, un problema de déficit de aguas. Con la sola excepción del sector norte, donde el ingreso de agua escasamente cubre el déficit esperado.

2.7 ESQUEMA DE SOLUCION PROPUESTA

Estudios anteriores, principalmente los resultados del análisis de Alternativas de Regulación Hidráulica, Deeb Sossa S. en C., Enero 1993, y las reuniones y discusiones multidisciplinarias que se realizaron durante los meses de Febrero y Marzo de 1993, permitieron definir un esquema de solución aceptado y concertado entre todos los investigadores asociados al Complejo Lagunar.

El esquema de solución considera:

a. El problema de hipersalinidad existente requiere de mayores aportes, derivaciones, del río Magdalena hacia el Complejo Lagunar.

b. Los trabajos anteriores indican que el sistema halohídrico del Complejo Lagunar de Pajaral es controlable. Esto es, el hombre a través de obras hidráulicas puede

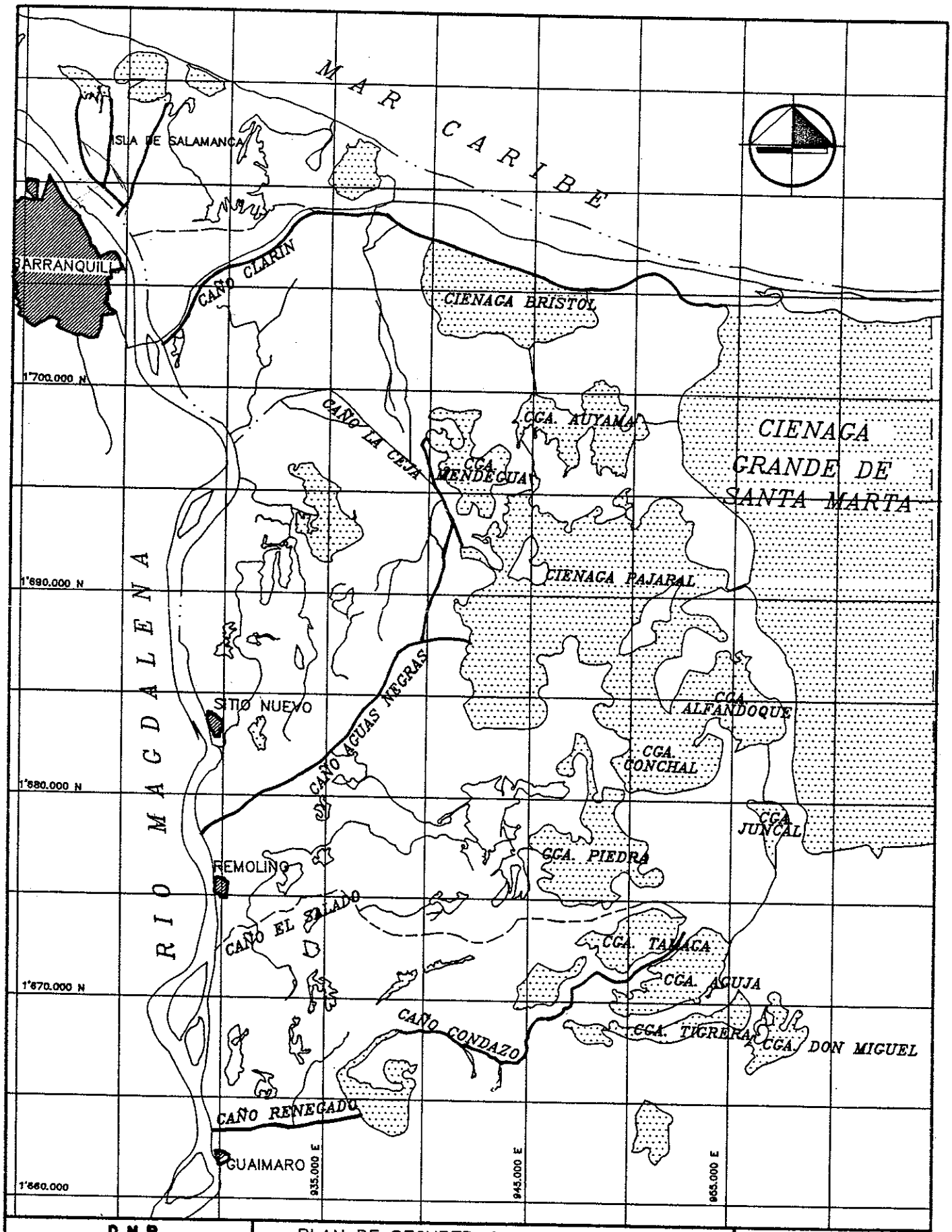
---

[4] Ciénagas de El Juncal, Alfandoque y el Conchal.

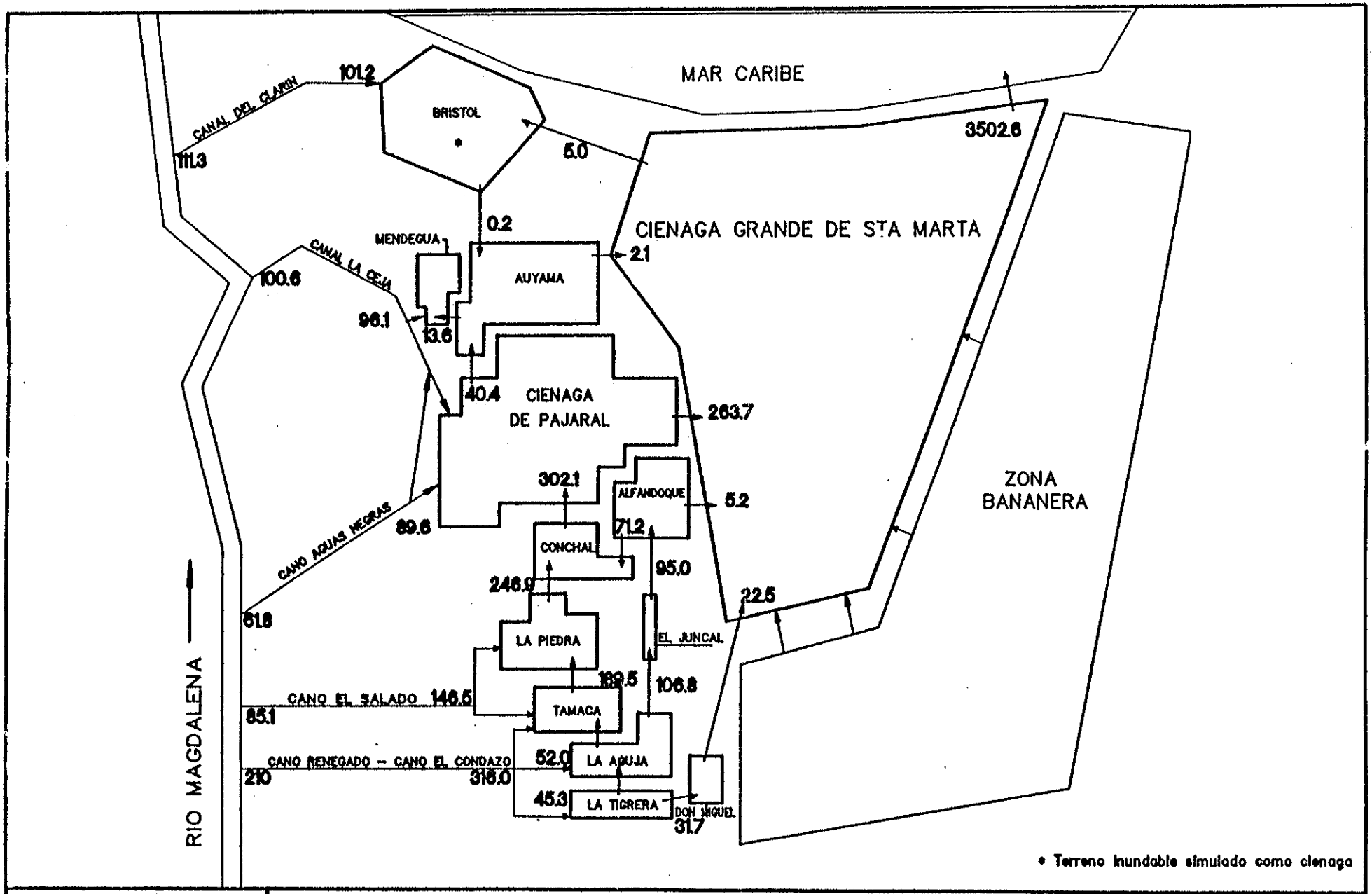
[5] Sector del Bristol, Mendegua y La Auyama.

Aguas Negras y Renegado-Condazo requieren de sendas estructuras (compuertas) de regulación hidráulica, los canales deberán tener como capacidad última los indicados 60 m^3/s.

En los capítulos que se presentan a continuación se resumen los trabajos realizados para llevar a cabo los diseños correspondientes, manteniendo como criterio el cumplir con las restricciones impuestas a mínimo costo.



DNP CORPAMAG	PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA	DEEB SOSSA S en C
	ARQUITECTURA DE CANALES	FIGURA 2-5



D N P DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION **CORPAMAG** CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL MAGDALENA Y DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA	PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA	**DEEB SOSSA S en C**
	ESQUEMA BASICO DE LA ZONA DE ESTUDIO E IMPLEMENTACION IDEAL DEL MODELO DE CIENAGAS – CONDICION BASE	FIGURA 2 – 1

PLAN DE ACCION FORESTAL PARA COLOMBIA

Santafé de Bogotá, D.C., 16 Marzo, 1993

Doctor
Alejandro Deeb
Deeb Sossa S. en C.
Bogotá, D.C.

Estimado Doctor Deeb:

Según común acuerdo entre los representantes del PAFC, CORPAMAG y GTZ, reunidos el 16 de Marzo de 1993 en las oficinas del PAFC en Bogotá y en cumplimiento del contrato vigente entre su empresa y PRO-CIENAGA le solicitamos aplicar las siguientes características para los diseños hidráulicos definitivos contemplados en la Fase I del Plan de Recuperación Ambiental del Complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la Isla de Salamanca:

1.- Aporte de agua dulce desde el Río Magdalena por los caños:
- Clarín Nuevo
- Aguas Negras
- Renegado-Condazo
- Almendros
- El Torno

2.- Caudal máximo total de diseño, 140 m3/segundo según la siguiente distribución:

- Clarín Nuevo 20 m3/segundo
- Aguas Negras 60 m3/segundo
- Renegado - Condazo 60 m3/segundo

(Los volúmenes aportados por los caños Almendros y el Torno no se incluyen en este cálculo de los 140 m3/seg. por estar localizados fuera del sistema de las ciénagas de Pajaral).

Detalles adicionales a aplicar en los diseños de las obras son los detalles técnicos convenidos durante las reuniones de interventoría sostenidas del Viernes 11 hasta el Domingo 14 de Marzo de 1993.

Además de estos detalles se incorporarán las instrucciones por parte de DELFT HYDRAULICS que se darán a partir del 16 de Marzo para la parte final del diseño de las obras.

El diseño definitivo deberá terminarse dentro del plazo de hoy hasta el 1 de Abril de 1993.

Los planos y detalles del diseño se enviarán a DELFT HYDRAULICS en la medida que sean elaborados y de acuerdo al contrato existente.

Atentamente,

HORST SALZWEDEL
GTZ

HENDRIK DERKS,
Interventor GTZ DELFT HYDRAULICS

HERNANDO SANCHEZ
CORPAMAG

FABIO ARJONA H.
PAFC

ERNESTO BARRIGA
PAFC

CAPITULO 3

INFORMACION BASICA UTILIZADA

Este capítulo presenta la información básica recopilada para la fase de diseños definitivos consistente principalmente en Cartografía y fotografías aéreas y en los levantamientos topográficos y geotécnicos practicados específicamente en la zona de proyecto por los Consultores.

3.1 CARTOGRAFIA Y AEROFOTOGRAFIAS

3.1.1 Planos

La cartografía básica empleada, consistió de los siguientes documentos:

- Planos en escala 1:100.000, IGAC-1959, con cubrimiento sobre toda el área de estudio.

- Planos 1:50.000, preparados en 1965 por el Army Map Service del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, a partir de cartas preliminares 1:25.000, IGAC-1959.

- Planos 1:25.000, IGAC-1976, preparados con base en aerofotografías de 1974.

- Planos 1:10.000, IGAC-1970/80.

3.1.2 Aerofotografías

Los Consultores recopilaron la mayor cantidad de registros aerofotogramétricos disponibles, a escalas de trabajo, permitiendo utilizar la información contenida en los siguientes vuelos:

- Vuelo C 1231, Fotos 411-420 y 434-441. Escala aproximada 1:31.000. IGAC. 1968.

- Vuelo C 2420, Fotos 177-183. Escala aproximada 1:53.000. IGAC 1990.

- Vuelo C 2421, Fotos 020-032 y 059-070. Escala aproximada 1:49.300. IGAC-1990.

- Vuelo C 2046, Fotos 026-033. Escala aproximada 1:56.700. IGAC-1981.
- Vuelo C 2148, Fotos 0247-0256. Escala aproximada 1:57.450. IGAC-1984.
- Vuelo C 2034, Fotos 014-020. Escala aproximada 1:32.600. IGAC-1981.
- Vuelo C 1989, Fotos 055-062. Escala aproximada 1:30.400. IGAC-1981.
- Vuelo R 963, Fotos 003-029. Escala aproximada 1:28.820. IGAC-1985.
- Vuelo C 1235, Fotos 252-271. Escala aproximada 1:30.500. IGAC-1987.
- Vuelo C 2289, Fotos 083-0105. Escala aproximada 1:32.000. IGAC-1987.
- Vuelo C 1506, Fotos 001-020. Escala aproximada 1:29.300. IGAC-1974.
- Vuelo C 2315, Fotos 004-0015. Escala aproximada 1:37.800. IGAC-1987.
- Vuelo C 2148, Fotos 086-0102. Escala aproximada 1:56.550. IGAC-1984.

3.2 TOPOGRAFIA

La recolección, procesamiento y análisis de la información topográfica en la zona de interés, representó uno de los aspectos de mayor importancia para la ejecución del estudio. A este respecto, se recopiló la información de campo, tanto planimétrica como altimétrica de los actuales alineamientos de los caños:

a. Caño LOS ALMENDROS y EL TORNO en la Isla de SALAMANCA.

b. Caño CLARIN, sobre el costado sur de la carretera B/QUILLA - SANTA MARTA.

c. Caños AGUAS NEGRAS, el TAMBOR, la MATA, los cuales van encadenados, y en su orden presentan un recorrido desde el río MAGDALENA, entre las poblaciones de REMOLINO y SITIO NUEVO, en sentido Nor-Este, pasando por la Ciénaga de PAJARAL, y avanzando luego hacia el Norte, hasta la Ciénaga de MENDEGUA y la confluencia con el Caño MARQUEZ.

d. Caño RENEGADO

Los trabajos se realizaron entre el 30 de Noviembre de 1992 y el 16 de Febrero de 1993.

3.2.1 Sistema de Coordenadas

El sistema de coordenadas planimétricas adoptado corresponde sistema IGAC, y el de altimetría al empleado por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores (LEH-LF), el cual ha discriminado y materializado una completa red de puntos de referencia en la zona de estudio. Adicionalmente, se empleó la información obtenida de geoposicionamientos realizados por GEODESIA POR SATELITE en la zona de proyecto, puntos que fueron empleados como cierre de las poligonales principales.

3.2.2 Alcance de la Información de campo

Las especificaciones generales para los levantamientos topográficos de los caños se resumen en los siguientes aspectos:

- Poligonal planimétrica amarrada al sistema de coordenadas IGAC, tomando secciones transversales a los cauces, en distancias no mayores a 250 m.

- Poligonal altimétrica amarrada el sistema de cotas del LEH-LF.

- Instalación de mojones de referencia uno cada 3 kilómetros, debidamente materializados y de fácil acceso.

3.2.3 Base de Datos.

Como elemento fundamental para el diseño de los canales se diseño una metodología especial para la toma de información de campo mediante códigos, que permitió sistematizar, procesar, emplear y analizar el gran volumen de información recolectada (alrededor de 8.000 puntos topográficos).

En el anexo 1 de topografía se presentan los listados de resumen con la información de las puntos debidamente codificados.

Esta base de datos se empleó directamente como entrada a los programas de computador disponibles por el Consultor, para los cálculos hidráulicos y de movimiento de tierras, así como para la producción de los planos finales de diseño.

3.2.4 Referencias en Campo

Se dejaron referencias permanentes en concreto a lo largo de cada uno de los caños levantados. En la Tabla 3.1 aparece un resumen general de coordenadas y cotas de los mojones de referencia dejados en campo para cada caño.

DEEB SOSSA S en C

DNP - CORPAMAG
GTZ - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

MOJONES PROYECTO PROCIENAGA — MOJONES.WK1

No.	COORDENADAS NORTE	ESTE	COTA		DESCRIPCION
		CLARIN			
7001	1703112.142	926643.560	9.053	*	NP A6 TN 5
7011	1702960.766	926734.132	2.660	*	DELTA 1
407	1706156.069	929011.311	0.336	*	BM C-19 ANTIGUO
7012	1708733.948	933771.814	0.423	*	DELTA 68
7003	1709007.875	936930.383	2.250	*	BM No 3 SAT
988	1708898.415	936949.492	0.446	*	BM C-40 ANTIGUO
7013	1707677.178	939694.307	0.123	*	5103 DELTA 103
7008	1706293.317	943934.282	0.275	*	BM C-67 ANTIGUO
7014	1706141.310	950440.479	0.084	*	DELTA- 165
7016	1704704.521	952961.276	-0.509	*	DELTA- 185
7017	1704425.830	953443.141	-0.036	*	DELTA- 194
		AGUAS NEGRAS			
7000	1674744.602	929966.906	5.060	*	H-16
7021	1677993.009	929444.066	3.410	*	DELTA 13
7020	1677959.846	929648.120	3.154	*	DELTA AUX-4
7012	1679884.461	931724.353	2.817	*	DELTA 8000
7003	1682344.761	935428.118	1.889	*	DELTA 56
7004	1682496.469	935651.527	1.376	*	DELTA 57
7022	1684513.231	937289.896	2.389	*	DELTA 70
7005	1686949.576	937313.166	2.766	*	HUESO-739
7023	1684636.302	937370.635	3.193	*	DELTA 71
7009	1697632.857	937583.891	1.406	*	SAZ RIELES
7008	1697644.397	937622.590	1.568	*	VERTICE LOS RIELES
7006	1687568.654	939693.714	0.562	*	DELTA 97
7007	1687603.258	939694.052	1.261	*	SAZ D-97 BM NORPARK
7024	1689697.386	939958.326	1.537	*	DELTA 165
7025	1689793.164	939967.973	0.636	*	DELTA 166
7010	1692546.509	940351.575	0.729	*	DELTA 161
7011	1692713.775	940262.465	0.711	*	DELTA 183
7026	1694278.870	940373.184	1.103	*	DELTA 301
7027	1694287.161	940521.282	0.660	*	DELTA 300
		RENEGADO			
7011	1663255.135	929908.271	5.192	*	MR1A
7001	1662285.849	929944.602	5.674	*	H-12 GUAI
7006	1663294.641	931040.258	3.557	*	SAZ. MR2
7005	1663345.452	931077.837	4.119	*	MR-2 7005
7007	1663057.520	933052.033	3.028	*	MR 3
7014	1663270.315	933459.306	1.865	*	DELTA 37
7015	1663552.913	933657.492	1.859	*	BM PV 91 1120 NORPAK
7002	1664140.058	936828.577	1.200	*	RENEGADO
		ALMENDROS			
5009	1710703.334	923326.694	1.026	*	DELTA 9
5010	1710734.131	923402.171	1.029	*	DELTA 10
		EL TORNO			
5010	1708735.611	924768.224	2.235	*	DELTA 10
5011	1708822.978	924870.005	1.578	*	DELTA 11

controlar las fluctuaciones de salinidad, dentro de los rangos considerados adecuados para el ecosistema que se desea recuperar.

c. Existen numerosas combinaciones de canales que permiten obtener los niveles de salinidad deseables. Se ha dado prioridad a aquellos que son de dominio público, o para los cuales hay convenios escritos con los vecinos riparios para la ejecución de las mejoras que se requieran. En todos los casos CORPAMAG mantendrá total autonomía para la operación de las estructuras de control que se construyan.

d. Los volúmenes de agua que se requieren para el control de la salinidad dependen del programa de operación que se adopte para las compuertas. Hubo total consenso en considerar que las obras hidráulicas deben permitir una alta flexibilidad para reproducir un amplio rango de condiciones de salinidad y dinámica hídrica.

Como resultado de estas reuniones y discusiones multidiscplinarias se acordó la "arquitectura" de canales descrita en la Figura No. 2.5, la cual resume los diseños que se presentan en los capítulos siguientes.

Se presentó, sin embargo, desacuerdo en la definición de la capacidad hidráulica para la cual deberían diseñarse los caños, lo cual llevó al Departamento Nacional de Planeación, a CORPAMAG y a la GTZ a emitir conjuntamente una directiva (Marzo 16 de 1993), la cual se incluye al final de este capítulo, con la cual se fijan los caudales de diseño.

Los valores adoptados dan a las obras hidráulicas contempladas una amplia capacidad para reproducir todo el rango de condiciones de salinidad y de dinámica hídrica considerados convenientes por los participantes en las reuniones y discusiones sostenidas.

Consecuentemente con lo anterior, y para los canales que interconectan el río Magdalena con el Complejo Lagunar de Pajaral y la Ciénaga Grande de Santa Marta se adoptaron los siguientes caudales de diseño:

-	Caño Clarín Nuevo	20 m^3/s
-	Caño Aguas Negras	60 m^3/s
-	Caño Renegado-Condazo	60 m^3/s

Estos caudales deberán poderse derivar para las condiciones de niveles medios en el río Magdalena durante los meses de Noviembre y Diciembre, y que corresponden a un caudal de 9.300 m^3/s en el trayecto Calamar-Bocas de Ceniza. Más aún, como los caños

CAPITULO 4

DISEÑO DE LOS CANALES

4.1 GENERALIDADES

A continuación se presentan los análisis técnicos adelantados con miras al diseño de las obras hidráulicas contempladas para la primera fase del Plan de Recuperación del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la Isla de Salamanca.

Tomando como punto de partida las consideraciones presentadas en los capítulos anteriores, los estudios técnicos específicos que se presentan son:

- Consideraciones Geotécnicas
- Análisis Hidrológicos
- Estudios Hidráulicos

La información básica, correspondiente a cartografía, fotografías aéreas, topografía y trabajo geotécnico de campo se ha indicado en el Capítulo 3. En este capítulo se analiza la información y se presentan las consideraciones técnicas específicas tenidas en cuenta en el diseño.

4.2 CONSIDERACIONES GEOTECNICAS

4.2.1 Estratrigrafía y nivel freático

Las condiciones del subsuelo encontradas a lo largo de los canales corresponden básicamente a típicos depósitos de llanura aluvial en ríos maduros, en los cuales predominan limos y arenas finas.

La estratigrafía generalizada, muy uniforme como se desprende del análisis detallado de los registros estratigráficos, consiste básicamente en:

a. Depósito superior de limos con un espesor variable entre 2.0 y 4.0 metros en la mayoría de los casos.

b. Depósito inferior de arenas finas, localizado inmediatamente abajo del estrato limoso, y cuya presencia fue detectada por lo general hasta el final de los sondeos a profundidades variables entre 4.0 y 6.0 metros.

Las propiedades más importantes del depósito superior de limos son las siguientes:

- El contenido de humedad natural es superior al límite plástico, pero inferior al límite líquido.

- La resistencia a la compresión inconfinada varía entre 0.6 kg/cm² y 1.5 kg/cm².

- La resistencia de cohesión no drenada (Cu, veleta de campo) tiene valores típicos entre 2 Ton/m² y 4 Ton/m², con algunos valores máximos del orden de 7 Ton/m² y hasta 8 Ton/m²; para el caño Aguas Negras la cohesión es mayor, con valores entre 7 Ton/m² y 14 Ton/m². Sin embargo, aunque el caño Aguas Negras presenta mejores valores de resistencia, el predominio de material arenoso es mayor que en el resto de los caños, dado que el espesor de estrato limoso se reduce a valores que frecuentemente están entre 1.0 y 2.0 metros.

- La relación de vacíos (e) para el limo es en promedio del orden de 1.0.

Con relación al depósito inferior de arenas, las propiedades más importantes son:

- Densidad. Se trata de arenas totalmente sueltas, con valores de penetración estándar entre 2 golpes/pie y 4 golpes/pie.

- Resistencia al corte. El ángulo de fricción interna de estas arenas se estimó en 22° tomando en cuenta la composición de las mismas, en densidad y contenido de gravas. Para los depósitos aluviales existentes a lo largo de los canales se encontró (según sondeos) un nivel freático relativamente superficial, con profundidades entre 0.4 y 1.6 metros.

Para el diseño de los canales se tomaron en cuenta las condiciones geotécnicas predominantes, las cuales resultan relativamente pobres, a saber:

- Presencia de un estrato superior de limo, en estado saturado (nivel freático alto) y de baja resistencia al corte.

- Presencia del estrato inferior de arena en un estado muy suelto y baja resistencia al corte ($\Phi = 22°$).

Con relación a la selección de los parámetros geométricos para el diseño de los canales y diques son relevantes entonces las siguientes consideraciones geotécnicas:

a. Taludes de los canales

La presencia de terrenos con baja resistencia al corte implica la necesidad de considerar, con especial cuidado, el problema de la estabilidad de los taludes definitivos de las excavaciones para los canales.

b. Niveles de agua

El programa de operación del sistema de canales implica que en determinadas condiciones varios sectores de canal podrán quedar completamente vacíos, mientras otros tramos quedarán con láminas de agua permanentes relativamente pequeñas (1.0 m - 2.0 m) en comparación con la altura de los canales (3.5 m - 5.0 m).

Los efectos negativos de un descenso de niveles de agua pueden ser:

- Se reduce el empuje hidrostático contra las superficies de la excavación, con lo cual se reduce el factor de seguridad al deslizamiento.

- Si el descenso del agua es rápido, el nivel freático en la capa superior de limo se mantiene durante un tiempo (menor permeabilidad), con lo cual se produce una carga de agua diferencial entre el terreno y el canal; este efecto produce un gradiente hidráulico que origina flujo de agua desde el terreno hacia el canal, a través de la capa de arena.

  Dado que esta arena es fina y suelta, el flujo de agua producirá fenómenos de erosión interna que socavan finalmente los taludes y llevan a la falla de los mismos. La erosión interna en estas arenas finas aluviales se presentan usualmente con gradientes hidráulicos muy bajos (i = 0.1 a 0.2 m/m).

c. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, uno de los criterios de diseño para los canales será precisamente la prevención de fenómenos de erosión interna.

d. Con relación a los diques perimetrales para el confinamiento de las aguas máximas, los cuales se espera construir con el mismo material obtenido de las excavaciones mediante dragado, hay que tomar en cuenta las características de estos materiales, pues se trata de suelos potencialmente erosionables tanto por efectos externos (lluvia, etc.) como internos (erosión interna por infiltración).

Por lo tanto los criterios de diseño y especificaciones constructivas para los diques estarán directamente relacionados con la prevención de la erosión interna.

4.2.2 Recomendaciones de diseño - Taludes de excavación de los Canales

Los resultados de los análisis realizados, ver Anexo 2 Estudios Geotécnicos, se pueden resumir en las siguientes pautas para el diseño:

a. Para aquellos tramos de canal en los cuales la lámina de agua permanente se pueda asumir de aproximadamente 2.0 m y la altura de los taludes no sobrepase los 4.0, se puede utilizar un talud 2.0 horizontal por 1.0 Vertical.

   Estas condiciones corresponden al caño Aguas Negras desde aproximadamente el Km 12.0 en adelante, y en el caño Clarín Nuevo desde el Km 13.0 hasta su entrega en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

b. Para todas las demás condiciones encontradas se recomienda mantener los taludes 2.5 horizontal por 1.0 vertical, a pesar que existen algunos tramos que resultan con factores de seguridad superiores al mínimo considerado.

Los taludes que se acaban de indicar corresponden a un factor de seguridad de 1.5.

4.2.3 Recomendaciones de diseño - Geometría de los diques

Para diques con una altura igual o inferior a los dos metros (2.0 m) se recomienda la siguiente geometría:

- Inclinación de taludes (dos horizontal, uno vertical) — 2:1
- Ancho de cresta — 2.0 metros

Con esto se garantiza un gradiente hidráulico interno en el suelo de 0.2, suficiente para prevenir el lavado de partículas de arena suelta.

Las recomendaciones sobre inclinación de taludes son válidas únicamente para sobrecarga de 500 kg/m² correspondiente al peso de equipos de construcción. Cualquier sobrecarga superior a este valor reduce consecuentemente el factor de seguridad de los taludes.

En caso que las alturas de taludes incluyan la altura de los posibles diques a construir, la estabilidad de los taludes no se modifica.

Sin embargo, si se presentan casos en los cuales la altura del dique sea adicional a las alturas ya consideradas, la sobrecarga del dique será bastante mayor a los 500 kg/m²