



**SOCIEDAD PORTUARIA PUERTO BAHÍA**  
**Modificación de la Licencia Ambiental**

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN MEDIO ABIÓTICO**



**hidrocaribe ltda**

**Octubre de 2011**  
**Cartagena de Indias, D.T.**

## TABLA DE CONTENIDO

|        |                                              |     |
|--------|----------------------------------------------|-----|
| 3      | CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA ..... | 3   |
| 3.1    | ÁREAS DE INFLUENCIA .....                    | 3   |
| 3.1.1  | Área de influencia indirecta (AII) .....     | 3   |
| 3.1.2  | Área de influencia directa (AID).....        | 4   |
| 3.2    | MEDIO ABIÓTICO .....                         | 6   |
| 3.2.1  | Geología .....                               | 6   |
| 3.2.2  | Geomorfología.....                           | 15  |
| 3.2.3  | Suelos .....                                 | 30  |
| 3.2.4  | Hidrología .....                             | 37  |
| 3.2.5  | Calidad del agua.....                        | 48  |
| 3.2.6  | Usos del agua.....                           | 75  |
| 3.2.7  | Hidrogeología .....                          | 76  |
| 3.2.8  | Geotecnia .....                              | 78  |
| 3.2.9  | Oceanografía .....                           | 80  |
| 3.2.10 | Atmósfera .....                              | 120 |
| 3.2.11 | Paisaje .....                                | 142 |
| 3.2.12 | Bibliografía.....                            | 146 |

### 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Este capítulo incluye la caracterización de las áreas de influencia del Proyecto Terminal Portuario Multipropósito Puerto Bahía; para los medios abióticos y bióticos se consideraron las unidades fisiográficas naturales y ecosistémicas; para los aspectos sociales, las entidades territoriales y las áreas étnicas de uso social, económico y cultural entre otros, asociadas a las comunidades asentadas en dichos territorios. Este documento está sustentado en la caracterización del área de influencia del informe de EIA<sup>1</sup> que la Sociedad Portuaria Puerto Bahía (SPPB) presentó al MAVDT en 2010, y a la cual se le hicieron ajustes basados en actividades de campo adicionales y en la información que fue necesario complementar y actualizar, en función de la modificación planteada para el terminal portuario.

#### 3.1 ÁREAS DE INFLUENCIA

El área de influencia definida para este EIA corresponde con la delimitación geográfica a nivel local y regional que se verá afectada, ya sea de forma positiva o negativa, por las actividades, obras y demás aspectos relacionados con las etapas de construcción y operación del terminal portuario, localizado sobre el costado sur de la bahía de Cartagena. Las características del área de influencia definen la magnitud e importancia de los impactos potenciales del proyecto a lo largo de su vida útil y si la ejecución del proyecto es o no viable ambientalmente.

Para este estudio se construyeron una serie de criterios que permitieron definir tales espacios geográficos de potencial afectación basados principalmente en consideraciones ambientales, ecológicas, sociales, políticas y económicas. Tales criterios correspondieron con:

- Áreas de posible afectación por incremento del ruido o por dispersión de material particulado o gases.
- Áreas de origen de la mano de obra no calificada para construcción y operación del puerto
- Área con posible afectación en la pesca artesanal o de subsistencia
- Sector turístico de posible afectación

Con base en tales consideraciones se establecieron un Área de Influencia Directa (AID) y un Área de Influencia Indirecta (AII) con delimitación específica y niveles de afectación y consecuencias derivadas diferenciales.

##### 3.1.1 Área de influencia indirecta (AII)

El AII está constituido por todo el territorio del Distrito Cultural y Turístico de Cartagena de Indias, capital del Departamento de Bolívar, definida al considerar que la actividad que se pretende desarrollar con el Proyecto Terminal Portuario Multipropósito Puerto Bahía, tiene implicaciones de tipo económico en el Distrito

---

<sup>1</sup> INCOPLAN. *Estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de un terminal de servicio público multipropósito*. Sociedad Portuaria Puerto Bahía. Cartagena. 2010

como tal; así mismo, se consideró que dentro de los ámbitos que consolidan el Plan de Ordenamiento Territorial se encuentra el Distrital: Cartagena Urbano-rural, que dentro de su Paisaje integra la bahía de Cartagena y canal del Dique (actividades económicas, turísticas, portuarias, industriales y de comercio exterior), áreas que se considerarán a lo largo del presente documento (POT Cartagena, 2001).

### 3.1.2 Área de influencia directa (AID)

Se identificaron dos delimitaciones del área de influencia directa. La primera corresponde al enfoque social, definido considerando que las comunidades asentadas en inmediaciones de la bahía hacen uso de ésta así como de las aguas del canal del Dique y comprende los centros poblados de los corregimientos de Pasacaballos, Santana (incluye centro poblado Ararca), Bocachica y Caño del Oro. La segunda corresponde al enfoque abiótico y biótico, considerando la zona a ser intervenida o afectada por la construcción del proyecto portuario así como por las maniobras de las embarcaciones que atraquen en éste.

#### 3.1.2.1 AID Social

Está delimitada en la parte sureste por la carretera que conduce del Distrito Turístico a la zona industrial de Mamonal y de allí al canal del Dique. Posteriormente por el trazado de la vía Transversal de Barú incluyendo el puente que atravesará el canal del Dique en tal sentido. Hacia el suroeste está delimitada por la población de Ararca, incluyendo el manglar adyacente al pueblo e igualmente el manglar denominado Polonia. Finalmente, imitada en el extremo noroeste con la zona de Bocachica, principal puerta de entrada de las embarcaciones que ingresan a la bahía de Cartagena y por el Norte con la población de Caño del Oro.

La bahía de Cartagena exhibe condiciones ambientales muy precarias debido a los diversos usos que se le han dado, los cuales se debaten entre el turismo, el desarrollo industrial y el carácter portuario, aunado con el crecimiento demográfico, la necesidad de terrenos para urbanizar y la falta de saneamiento básico.

Cabría referir en primer término, el hecho que la descarga de aguas domésticas de la ciudad tiene lugar en la bahía (Cuatrobocas), lo que llevó a comienzos de los años ochenta, a que elINDERENA recomendará a la Alcaldía, el cierre definitivo de las playas del Laguito y de Castillo Grande por sus altos niveles de coliformes. Este aspecto es fundamental por el conflicto que genera puesto que allí precisamente se localizaba la casi totalidad de la infraestructura hotelera de la ciudad. La falta de saneamiento básico en la ciudad a través de su historia, fue la causa de las grandes y repetidas mortalidades de peces en la ciénaga de la Virgen.

Como segundo factor relevante del deterioro de la calidad ambiental de la Bahía están los vertimientos de las industrias de Mamonal, que incluyen diversos químicos, hidrocarburos y materia orgánica. Se conoce que no ha habido gran regulación con tales vertimientos, e incluso han ocurrido graves contingencias por derrames de unos y otros. Adicionalmente, por décadas fueron arrojadas allí las aguas de sentina de los barcos. Diversos estudios estatales durante la década de los ochenta mostraron, por ejemplo, que la contaminación por hidrocarburos provenía de la Refinería de Ecopetrol y de los buques de la Armada (instituciones del Estado). Se exceptúa como control Estatal, el cierre de la Planta de Álcalis que arrojó grandes concentraciones de mercurio a la Bahía, elemento que se bioacumuló y biomagnificó en la cadena trófica alcanzando niveles crónicos en pescadores y pobladores. Concentraciones semejantes en otras partes del mundo, demostraron ser la causa de malformaciones genéticas críticas en recién nacidos.

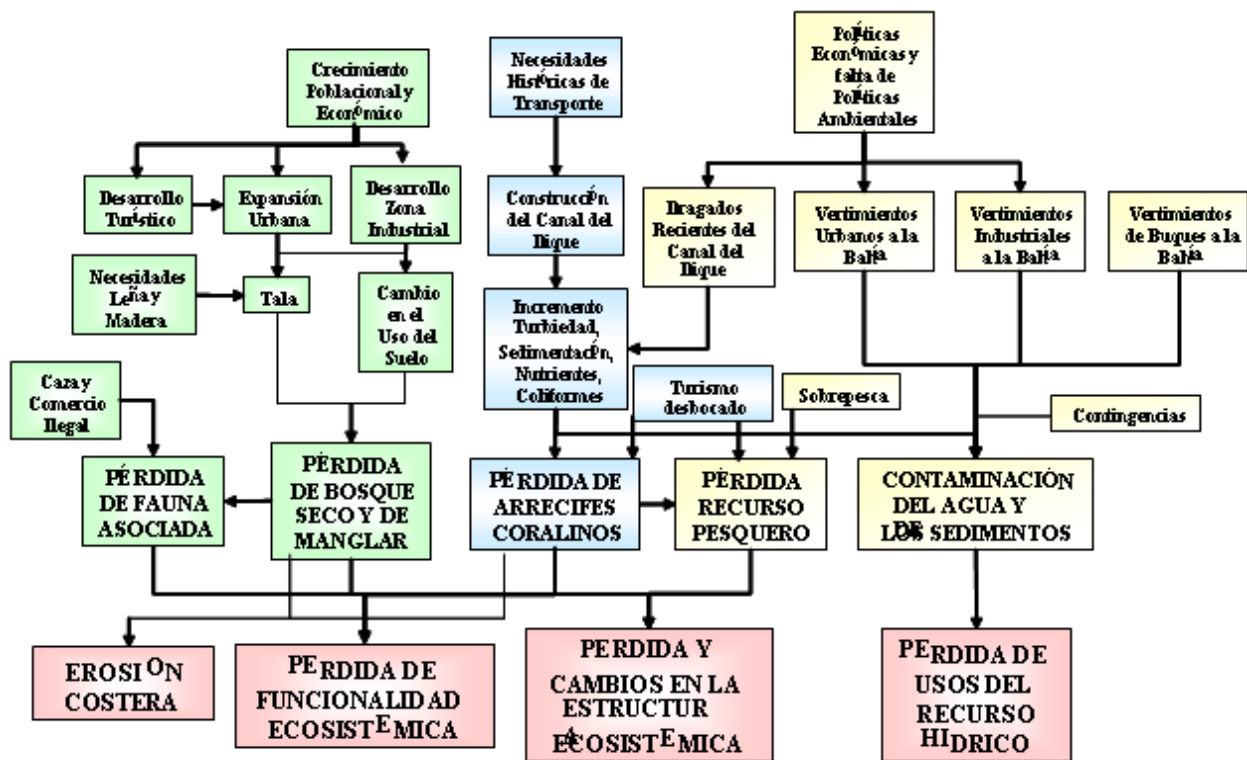
Como tercer factor está el canal del Dique el cual ha mostrado desde el Ministerio de Transportes la necesidad de su navegabilidad constituyéndose en política permanente de Estado. Numerosos estudios, incluido el actual, han demostrado una inmensa pérdida de calidad de las aguas de la bahía, en razón de la presencia



de metales pesados y coliformes, condición esta última que elimina de plano usos de contacto primario y secundario, así como de pesca en el Sur de la Bahía (los cuales se llevan a cabo por los pobladores, muy a pesar de los riesgos de salubridad que ello implica).

La urbanización costera alrededor de la Bahía exceptuando quizá la isla de Tierrabomba, ha sido la causa de la tala y destrucción permanente de los manglares y bosques secos del área. Así mismo, el crecimiento de la zona industrial ocurrió por demás, sobre la franja de manglar que cubría todo el costado oriental de la Bahía, del cual sólo quedan hoy día unos pocos árboles. El cambio en el uso del suelo diezmó de forma permanente estos importantes ecosistemas.

Figura 3.1.1. Síntesis de la problemática actual

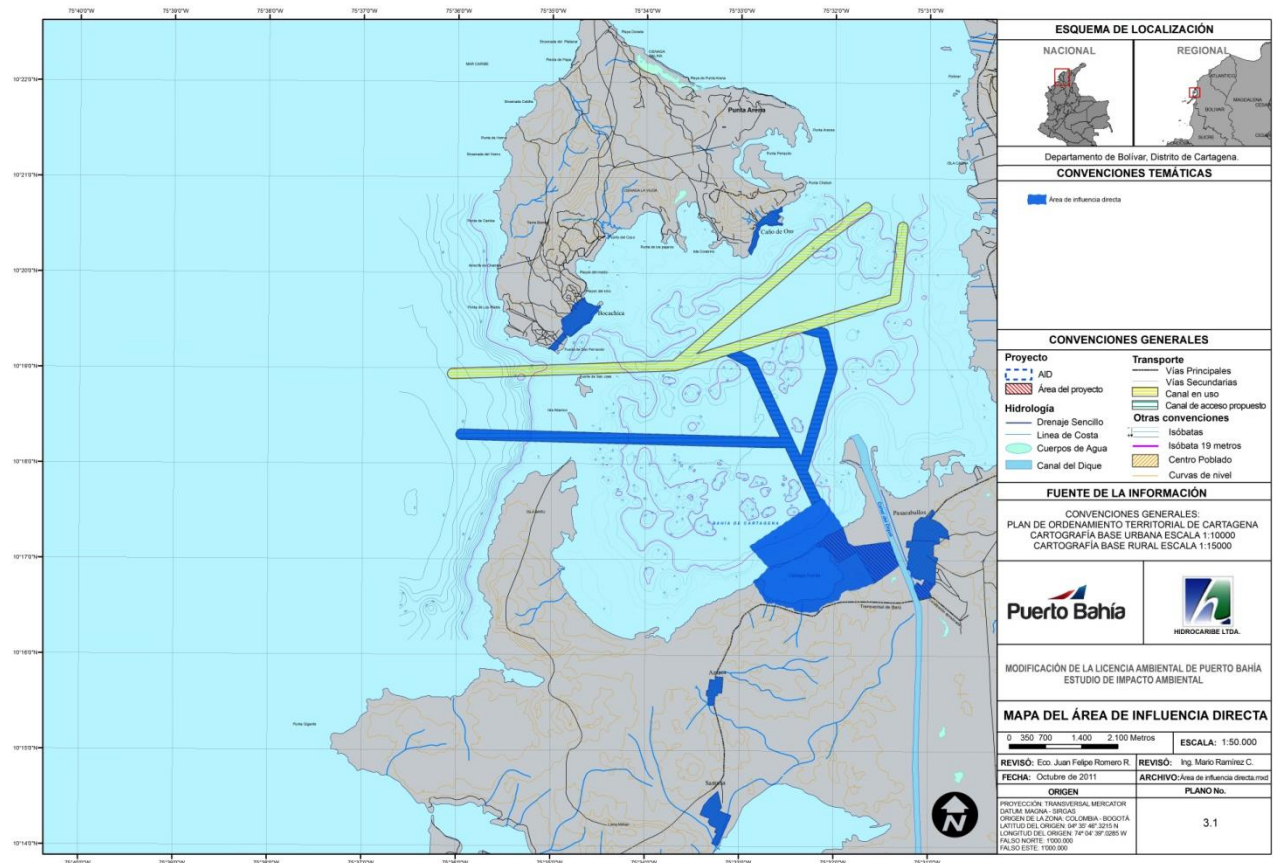


Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Por otra parte, se definió como área de influencia directa para los componentes físicos y bióticos, la zona a ser intervenida o afectada por la construcción del proyecto portuario así como por las maniobras de las embarcaciones que atraquen en éste.

El área se encuentra localizada en la bahía de Cartagena e incluye ecosistemas terrestre y marino. En el medio marino se define desde la línea de costa hasta unos 1 000 metros mar afuera en el costado sureste de la bahía y en la zona terrestre, desde dicha línea hasta la carretera y de allí hasta el canal del Dique, incluyendo la estación de transferencia ubicada en Pasacaballos. En el costado Suroeste, se incluye el área conformada por ciénaga Honda, por ser un ecosistema estratégico en el área. (Figura 3.1.2 y Anexo Cartográfico).

Figura 3.1.2. Área de influencia directa del proyecto



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

## 3.2 MEDIO ABIÓTICO

El componente abiótico de un ecosistema comprende factores climáticos (precipitación, temperatura, etc.) geológicos, geomorfológicos, calidad del aire, del agua y ecológicos (paisaje por ejemplo), entre otros. Estos factores condicionan el tipo de biocenosis (factores bióticos) de un ecosistema y a la inversa.

### 3.2.1 Geología

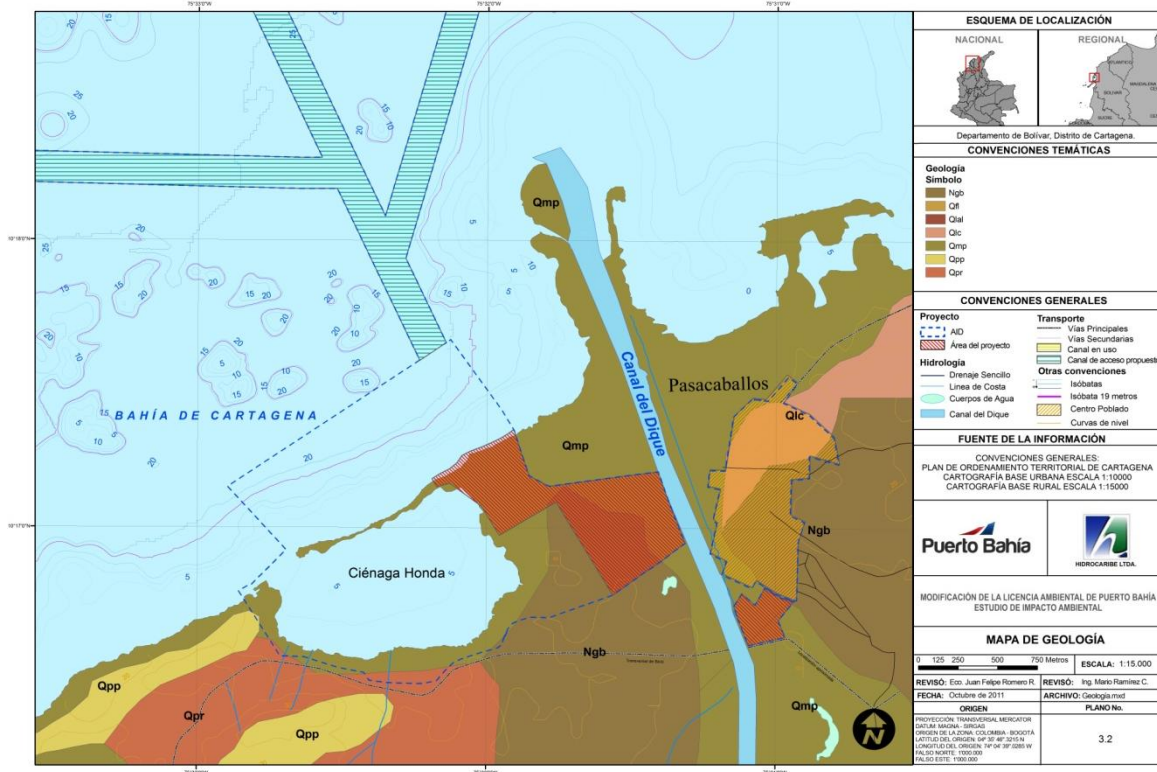
De acuerdo con la memoria geológica de la plancha 23 - Cartagena, del INGEOMINAS, 2001, el área del proyecto se caracteriza por presentar unidades geológicas terciarias y depósitos recientes. La evolución de la geología en la zona es resultado de importantes movimientos tectónicos desde el Paleoceno. A continuación se describen las unidades litoestratigráficas representativas que se encontraron en la zona de estudio (Figura 3.2.1 y Anexo Cartográfico).

### 3.2.1.1 Unidades litoestratigráficas

### Formación Bayunca (Ngb)

La Formación Bayunca, de edad Mioceno-Plioceno, alcanza un espesor de 500 m. Se localiza en un tramo del corredor cercano a Cartagena; constituida por una secuencia de lodolitas gris oscuras, claras y negras, con niveles de oxidación amarillo, en capas delgadas y medias, laminación interna ondulosa discontinua. Son frecuentes las lodolitas moteadas bioturbadas; la secuencia presenta intercalaciones de limolitas grises pasando a pardas, en capas delgadas; principalmente hacia el techo de la unidad hay intercalaciones de areniscas de cuarzo, gris claro y amarillo claro, de grano fino hasta conglomeráticas; estas últimas son líticas, en capas delgadas y gruesas, estratificación inclinada, plana paralela y masiva. Son frecuentes capas de areniscas con cemento calcáreo y gran contenido de conchas de moluscos y restos de plantas.

Figura 3.2.1. Mapa geológico



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011. Adaptado de Ingeominas, 2001.

### Formación La Popa (Qpp)

Se extiende en sentido N-S en la parte occidental del área, constituyendo pequeñas estructuras anticlinales y sinclinales. Dentro de ella se diferenciaron tres conjuntos: uno inferior arcilloso, el intermedio arenoso y el superior arcilloso. El conjunto intermedio está formado esencialmente por areniscas de grano muy fino a ligeramente conglomeráticas, friables y poco fracturadas por lo que se le considera con una porosidad básicamente primaria. Se depositó en un ambiente marino somero-transicional, cercano al nivel de mareas, durante el Plioceno inferior-Pleistoceno.

La formación alcanza los 100 m de espesor en la zona de estudio y está conformada por bancos de calizas arrecifales de 3 a 4 m de espesor y color amarillo crema, localmente muy compactas y areniscas calcáreas pardo amarillentas con delgadas capas de arcillolitas calcáreas de colores grises y amarillos. Hacia la parte superior y dependiendo del grado de meteorización, las calizas presentan aspecto terroso y poroso.

#### **Gravas de Rotinet (Qpr)**

Se encuentran expuestas en cercanías al Canal del Dique, está conformada por gravas de cuarzo, chert negro, rocas volcánicas, neises y limolitas, en capas muy gruesas, cuneiformes, con estratificación en artesa y macizas, con intercalaciones de arenitas cuarzosas a sublíticas, de grano fino a medio, deleznales, en capas cuneiformes delgadas y gruesas, con estratificación cruzada. La interestratificación de las gravas y las arenitas es gradual. Tiene un espesor máximo de 110 m y se depositó durante el Pleistoceno medio-superior en un ambiente deltáico. Su porosidad es principalmente primaria.

#### **Depósitos Recientes**

- **Depósitos de llanura costera (Qlc):** Representa depósitos marinos de llanuras de inundación de marismas recientes y subrecientes. Compuestos por material fino (limos y arenas) y orgánico con presencia de sales y nivel freático muy superficial. Se describe como la zona donde el Canal del Dique entra en contacto con el mar. Se ha caracterizado como acuitardo.

- **Depósitos de playa (Qmp):** Representa depósitos marinos y en algunos casos depósitos de cauces menores. Se constituyen de arenas, limos y lodos calcáreos y abundante material fino. Estos depósitos son muy abundantes a lo largo de la bahía de Barbacoas. Se consideran como acuitardos.

- **Depósitos Fluvioacústicos (Qfl):** Los depósitos fluvioacústicos son depósitos asociados con la llanura de inundación del Canal del Dique; están compuestos principalmente por materiales finos tipo arcilla o limo, producto de las fluctuaciones invierno verano que aportan material a dicha zona de inundación. Se consideran como acuitardos.

- **Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal):** Los depósitos de llanura aluvial son aquellos depósitos recientes localizados en el área de influencia del Canal del Dique. Se trata de depósitos de poco espesor formados por el fenómeno de arroyadas y compuestos, generalmente, por material fino de arcillas y arenas finas. La morfología de estos depósitos es de planicies ligeramente inclinadas, que siguen la dirección de escurrimiento. Asociados con los drenajes mayores se presentan terrazas de extensión limitada y alturas no superiores a 10 m, compuestas por gravas y esporádicamente bloques. Se considera en conjunto como acuitardo. Los niveles de gravas y bloques pueden constituir acuíferos de porosidad primaria.

- **Depósitos aluviales-terrazas (Q):** Aparece al norte del canal del Dique, se compone de sedimentos limo-arcillosos en la parte superior y de intercalaciones de grava, arena gruesa y limo hacia la base, con un espesor hasta de 70 m. Esta unidad de porosidad primaria, se depositó en el cuaternario en un ambiente fluvial-cenagoso.

#### **3.2.1.2 Geología Estructural**

El área de influencia del proyecto transcurre a lo largo de una región tectónico-estratigráfica con varios elementos estructurales regionales, los cuales conforman un mosaico de bloques con características propias. Los elementos estructurales mayores son el Cinturón de San Jacinto en el sector oriental y el Cinturón



del Sinú al occidente, separados por el lineamiento del Sinú (Duque- Caro, 1980). Dichos cinturones se subdividen en bloques tectónicos de acuerdo con sus características estructurales. En el Cinturón de San Jacinto se encuentran los bloques tectónicos de Luruaco, El Carmen y Sincelejo. En el Cinturón del Sinú se ubican los bloques tectónicos de Turbaco y Cartagena (Reyes y Clavijo, 1996).

### Estilo Estructural del Cinturón Sinú

El Cinturón del Sinú está constituido por las Formaciones Arjona, Bayunca, Gravas de Rotinet, Arroyo Grande, La Popa y de éstas afloran a lo largo del corredor las Formaciones Arjona de edad Oligoceno-Mioceno, Bayunca de edad Mioceno, La Popa y las Gravas de Rotinet de edad Pleistoceno. Dichas formaciones están cubiertas parcialmente por depósitos aluviales, coluvio-aluviales y fluvio-lacustres del Cuaternario Reciente.

**- Bloque Tectónico de Turbaco:** El Bloque Tectónico de Turbaco se localiza hacia la región de Turbaná, Arjona y Turbaco; al sur es interrumpido por el Cinturón del Sinú (Duque-Caro, 1984). Este bloque presenta un tren estructural N40°E y se extiende por el borde costero y la depresión del Dique. Está conformado por rocas de ambiente marino somero y hemipelágicos del Oligoceno al Reciente. A nivel regional el límite estructural con el Bloque Tectónico de Luruaco es el lineamiento del Sinú, que estaría representado por la Falla de Villanueva–El Totumo. La deformación de las rocas es más evidente, cuan más antiguas son; así, en el área de Arjona el fallamiento es grande en la Formación Arjona y en Pasacaballos se encuentran fallas y pliegues pronunciados en la Formación Bayunca (Mioceno-Plioceno), en tanto que en la isla Barú y Turbaco las rocas de la Formación La Popa (Pleistoceno) se encontraron casi completamente sanas; sólo se vislumbra la presencia de un plegamiento estrecho y de corta extensión. Sin embargo, en el borde costero en cercanías del caserío de Albornoz las rocas pleistocénicas sí están deformadas y afectadas por fallamiento y por procesos diapíricos como el volcán de lodo de Ternera.

**-Falla Buenos Aires:** Se extiende por 42 km desde la localidad de Rocha al sur, hasta la Falla del Dique al norte, y cruza al oeste de Arjona, entre los caseríos de Chiquito y Bayano y la localidad de Villanueva. En el sector Rocha–Arjona, tiene un rumbo N30°E, para luego dar una curva al este en el sector de Chiquito, donde su rumbo es N50°E, y al norte es de N20°E; el buzamiento es siempre al este alrededor de 60°. En la mayor parte, su comportamiento es inverso, pero al norte de Arjona es claro un movimiento dextral. Es una de las fallas con mayor desplazamiento en el Bloque Tectónico de Turbaco, dentro de la Formación Arjona.

La Falla Buenos Aires cruza el corredor al noreste de Arjona bajo una cobertura de edad Cuaternaria de las Gravas de Rotinet y no presenta efectos visibles sobre la vía.

**-Falla de Casaloma:** Se extiende por 20 km entre el caserío de Badel en el canal del Dique y Arjona, donde se le une a la Falla Buenos Aires. Tiene rumbo N30°E y buza entre 40° y 50° al este, su comportamiento es inverso y repite parte de la secuencia de la Formación Arjona. La Falla Casaloma cruza el corredor bajo una cobertura de edad Cuaternaria de las Gravas de Rotinet y no presenta manifestaciones visibles sobre la vía.

**-Falla de Turbaná:** Se extiende por 35 km desde el canal del Dique en inmediaciones del caserío Recreo-Piedrecitas, hasta la Falla del Dique, al occidente de Villanueva. Tiene un rumbo general N45°E y buzamiento de 40° al este. Es una falla inversa de cabalgamiento que presenta al este de Turbaco evidencia claras, como lo son planos estriados, y ruptura de la roca, mientras que al suroeste de Turbaná y noreste de Turbaco sólo presenta indicios de movimiento. Las evidencias muestran cabalgamiento de las Gravas de Rotinet sobre la Formación La Popa y repetición de la Formación La Popa. La ubicación de esta falla hace pensar que es la expresión cuaternaria de actividad tectónica, aunque en el sector del corredor no se observaron efectos visibles sobre la vía.

**-Falla Pasacaballos:** La Falla Pasacaballos se extiende por 30 km desde la localidad de Pasacaballos hasta el Caserío de Algarrobo, donde termina en la Falla Villanueva –El Totumo. Tiene un rumbo N40°E y buzamiento al este de alrededor de 50°; es una falla inversa que afecta directamente a la Formación Bayunca y repite parte de su secuencia; son evidentes en el área de Pasacaballos inversiones de estratos y plegamientos rápidos y pequeños. En la región de Membrillal la mala exposición de la secuencia hace imposible su reconocimiento en campo; sin embargo, por rasgos fotogeológicos se hizo su proyección hacia el norte en forma inferida; sobre la Formación Arjona se reconoció y está desplazada en forma sinistral por la Falla del Dique (INGEOMINAS, 2001).

La Falla Pasacaballos cruza un corredor bajo una cobertura cuaternaria de la Formación la Popa y no se observaron efectos visibles sobre la vía.

**-Falla Mamonal:** Se extiende por 60 km por el área de Mamonal y Arroz Barato; presenta un rumbo N50°E y buzamiento al este de alrededor de 50° a 60°; al suroccidente se interna en la bahía de Cartagena y probablemente pasa entre las islas de Barú y Tierra Bomba. La traza establece un cambio topográfico y controla la extensión de la Formación La Popa de Albornoz hacia el este y genera fracturamiento y plegamiento en las rocas lodolíticas y areniscas de la Formación Bayunca. Su comportamiento es principalmente inverso, pero la disposición de la Formación La Popa sugiere una componente de desplazamiento sinistral.

**-Plegamiento de Turbaco:** Está localizado en el área de Turbaco, constituido por dos estructuras anticlinales y dos sinclinales, muy estrechas, y de extensión máxima 7 km. Sus planos axiales son verticales, y los flancos son simétricos con inclinaciones menores a los 15°; regionalmente son pequeñas ondulaciones estructurales desarrolladas en la Formación La Popa, sin efectos importantes sobre la vía.

**-Volcán de Lodo de Ternera:** Es una estructura cómica localizada en cercanías de la parte sur de la ciudad de Cartagena. Se manifiesta en pequeños cráteres con diámetros inferiores a 0.5 m, por los cuales salen lodo y gases. Topográficamente se manifiesta en una leve colina poco notoria. Actualmente, la presencia de este volcán está afectando la construcción de una carretera que da salida al complejo industrial de Mamonal, hacia la carretera de La Cordialidad. En el corredor de la vía no se observaron efectos visibles por efectos de este volcán de lodo.

**-Depresión del Dique:** Está localizada sobre el área de influencia del canal del Dique en jurisdicción de la localidad de Piedras, hasta el oeste de las localidades de Rocha y Correa. Está formada por dos segmentos, el primero, al este, tiene una orientación N40°E, hasta el sector de San Pablo, Ciénaga de María La Baja y continua al sur; y el segundo, con rumbo este- oeste, entre las localidades de Correa, Rocha, Puerto Badel, hasta la bahía de Barbacoas. El primer segmento separa los bloques tectónicos de San Jacinto y Luruaco y su hundimiento respecto a estas estructuras está controlado por la falla inferida de Bolívar que desde el sur trae un rumbo N10°E y en Correa cambia a N40°E. Esta variación hace que su comportamiento cambie de rumbo sinistral al sur, a dextral al norte; así se forma una divergencia del bloque de Correa y el bloque de Arjona, reflejada en una distensión N35°E soportada por las fallas normales inferidas de Rocha y Correa, y se genera un graben entre las dos, que es el segundo segmento de la depresión del Dique.

**-Falla inferida de Bolívar:** La falla inferida de Bolívar ó Lineamiento de Bolívar (Duque-Caro, 1980), designa una zona de falla inversa, presente en el Cinturón de San Jacinto y se infiere su continuación en el canal del Dique de acuerdo con rasgos morfológicos que son indicios de actividad tectónica en los depósitos cuaternarios. En el área de Correa es la proyección de cómo ha sido cartografiada en el Cuadrángulo y al norte sigue, por alineamiento de algunos arroyos, especialmente cerca de Piedras, donde el rumbo es N40°E. Como se indicó anteriormente, y de acuerdo con análisis de esfuerzos en rocas de edad Pleistocénicas en el

área de Turbaco y al cambio de rumbo de la falla inferida de Bolívar, ésta tiene comportamiento sinextral en Correa y dextral al norte. Este juego de movimientos de bloques determina la apertura de una cuenca, como es la Depresión del Dique, aunque no se presentan efectos visibles en el corredor de la vía.

### 3.2.1.3 Amenaza sísmica

La amenaza sísmica se define (Ingeominas, 2007) como la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producida por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia.

La aceleración pico efectiva (Aa) corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño contempladas en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), como porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre ( $g = 980 \text{ cm/s}^2$ ). Estas aceleraciones tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, correspondiente a la vida útil de una edificación. El valor del parámetro Aa se utiliza para definir las cargas sísmicas de diseño que exige el reglamento de Construcciones Sismo Resistentes.

**-Zona de Amenaza Sísmica Baja:** definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (Aa) de 0,10g. La vía Cruz del Viso – Cartagena se encuentra en esta zona de amenaza.

**-Zona de Amenaza Sísmica Intermedia:** definida para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva, mayores de 0,10g y menores o iguales de 0,20g.

**-Zona de Amenaza Sísmica Alta:** definida para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva, mayores de 0,20g.

**El área de influencia del proyecto se encuentra en una zona de amenaza sísmica baja**

### 3.2.1.4 Análisis de Canteras

De acuerdo con la memoria geológica de la plancha 23 Cartagena, del INGEOMINAS, 2001 y la visita de campo realizada, el inventario de las canteras con su ubicación y material explotado desde el punto de vista económico-minero es el siguiente:

#### **Zona I**

Se caracteriza por sus bajas posibilidades de explotación minera de rentabilidad económica. Localiza al suroeste de la línea imaginaria que une la región Mamellal (Vía Cañaveral) con el caserío El Recreo (en el canal del Dique, al oeste de la plancha). Se presentan cinco canteras, utilizadas para extracción de materia prima en el afirmado de carreteras, y son explotadas únicamente cuando se hace el mantenimiento de ellas; ver Tabla 3.2 1.

#### **- Materiales explotados**

**Conglomerados:** Las mejores exposiciones de conglomerados se presentan en las canteras de El Limón y Palenque al sureste de la plancha. Estas dos canteras se observan a ambos lados del Sinclinal de Palenque. Al norte del canal del Dique, en el carretable que de Arjona conduce a Rocha en las regiones de Buenos Aires, se presenta otra cantera (Buenos Aires) de conglomerados conformada por grandes bloques de caliza micrítica y arenisca, embebidos en una matriz arenosa.

**Calizas:** Las calizas son micríticas y se presentan alineadas; forman cerros alargados al norte del Canal del Dique y al sur de la población de Ballesta, en las canteras Casaloma y Puerto Badel; esta última está abandonada por su difícil extracción.

Tabla 3.2.1. Localización de Canteras Zona I

|   | CANTER A           | LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA                                            | COORDENADA S X, Y            | MATERIALES EXPLORADOS | PRODUCTO O USO  | SISTEMA DE EXPLOTACIÓN              | PLAN DE EXPLOTACIÓN |    | UNIDAD GEOLÓGICA EXPLORADA |
|---|--------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------|----|----------------------------|
|   |                    |                                                                    |                              |                       |                 |                                     | SI                  | NO |                            |
| 1 | Hacienda Casa Loma | Carret. Arjona-Rocha Km 12.1                                       | X : 1.618.400<br>Y : 864.400 | Caliza Silíceo Chert  | Recebo Afirmado | Ciclo abierto Climatizado           |                     | X  | Formación Arjona           |
| 2 | Buenos Aires       | Carretera Arjona Rocha Km 17.5                                     | X : 1.613.200<br>Y : 854.800 | Conglomerado          | Recebo Afirmado | Ciclo abierto Macanizado            |                     | X  | Formación Arjona           |
| 3 | Puerto Badel       | Carretera Rocha Pto. Badel Km 3                                    | X : 1.612.100<br>Y : 850.500 | Chert                 | Recebo Afirmado | Ciclo abierto Macanizado abandonado |                     | X  | Formación Arjona           |
| 4 | El Limón           | Carretera Malagana - María la Baja - Caserio el Limón 4 Km al Sur. | X : 1.604.900<br>Y : 874.800 | Conglomerado          | Recebo Afirmado | Ciclo abierto Macanizado            |                     | X  | Formación Maco             |
| 5 | Palenque           | San Basilio de Palenque                                            | X : 1.608.300<br>Y : 877.600 | Conglomerado          | Recebo Afirmado | Ciclo abierto Manual abandonado     |                     | X  | Formación Maco             |

Fuente: INGEOMINAS, 2001.

**Chert:** El chert está en capas delgadas interstratificado con las calizas y su extracción es conjunta con éstas. En la hacienda Pomares, sobre la carretera Rocha-Pasacaballos, hay buenos afloramientos de caliza-chert, con fácil acceso y condiciones favorables de extracción. En la región de Jinete se presentan unos cerros de poca altura (20 m), conformados por chert, los cuales están sin explotar. Los sistemas de explotación se hacen a cielo abierto, con el uso de buldozer, cargador y volquetas para su transporte; no poseen un plan de desarrollo y el deterioro ambiental es bajo dadas las circunstancias morfológicas de colinas bajas circundadas por zonas planas.

## Zona II

Presenta un alto desarrollo minero, dadas las características litológicas y geomorfológicas de dicha zona (Tabla 3.2.2 a la Tabla 3.2.5).. Esta zona se localiza al noreste de la línea imaginaria que une la región Mame-Ial con el caserio El Recreo, en ella se han inventariado 39 canteras, algunas con alto desarrollo técnico y otras con una explotación muy rudimentaria.

## Materiales Explotados

**Calizas:** Las calizas son de origen arrecifal pertenecientes a la Formación La Popa con un espesor cercano a 100 m, en el área de Turbaco. Las capas son gruesas y dispuestas subhorizontalmente. La explotación se hace a cielo abierto por corte de arriba hacia abajo en bloques o disgregando y generalmente su extracción es mecanizada (Franco & Castiblanco, 1993). Se utilizan en la fabricación de cemento, como recebo y en la construcción para enchapes. El deterioro ambiental por la extracción de este material es alto y la gran mayoría de canteras no cuenta con un plan de desarrollo minero ambiental.



Tabla 3.2.2. Localización de Canteras Zona II

| NÚMERO | CANTERA            | LOCALIZACIÓN                 | MATERIAL | EXPLOTACIÓN   |
|--------|--------------------|------------------------------|----------|---------------|
| 1      | La esperanza       | X : 1.640.100<br>Y : 843.900 | Grava    | Cielo Abierto |
| 2      | Canalete           | X : 1.654.500<br>Y : 854.600 | Grava    | Cielo Abierto |
| 3      | Manzanillo del Mar | X : 1.555.300<br>Y : 844.500 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 4      | Grano de Oro       | X : 1.659.400<br>Y : 850.800 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 5      | Carrizal           | X : 1.658.250<br>Y : 855.350 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 6      | Atrévete           | X : 1.658.350<br>Y : 855.450 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 7      | Palma de Vino      | X : 1.659.700<br>Y : 855.050 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 8      | La Unión           | X : 1.660.300<br>Y : 855.850 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 9      | Proagrecar         | X : 1.558.600<br>Y : 856.500 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 10     | Pertuz Cerro Púa   | X : 1.666.350<br>Y : 849.900 | Grava    | Cielo Abierto |
| 11     | Arroyo Grande      | X : 1.667.100<br>Y : 857.500 | Grava    | Cielo Abierto |
| 12     | La Aguadita        | X : 1.673.000<br>Y : 854.100 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 13     | La Florida         | X : 1.674.100<br>Y : 866.300 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 14     | Alvarez y Collins  | X : 1.674.600<br>Y : 866.700 | Arenas   | Cielo Abierto |
| 15     | Palmarito          | X : 1.674.450<br>Y : 865.000 | Arenas   | Cielo Abierto |

Fuente: INGEOMINAS, 2001.

**Gravas y Arenas:** Las gravas son extraídas de las Gravas de Rotinet y de la Formación Arroyo Grande, constituidas por intercalaciones de arenas, gravas y arcillas con espesores muy variables, pero que pueden alcanzar los 70 m. La explotación se hace a cielo abierto por corte de arriba hacia abajo y en menor proporción de abajo hacia arriba; su extracción es manual principalmente.

**Arcillas:** Sólo se presenta una cantera de extracción de arcillas y es explotada para la fabricación de ladrillo. Estratigráficamente corresponde a niveles arcillosos de la Formación Bayunca. Esta cantera es mecanizada, utiliza buldozer, cargador y volquetas. No cuenta con un plan de explotación minera. La arcilla utilizada para la fabricación de ladrillo no debe contener carbonatos ni yeso; aquí la consecución de éstos se hace por experiencia, con la búsqueda de los niveles más oscuros.

Tabla 3.2.3. Localización de Canteras Zona II

|   | CANTERA            | LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA                | COORDENADAS X.Y            | MATERIAL EXPLOTADO          | PRODUCTO USO                             | SISTEMA DE EXPLOTACIÓN   | PLAN DE EXPLOTACIÓN SI NO |   | UNIDAD GEOLÓGICA EXPLOTADA |
|---|--------------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| 1 | La Esperanza       | Cartagena vía Turbaco                  | X: 1.638.800<br>Y: 848.542 | Caliza, Arena Rajón, Bloque | Arena, Grava, Materiales de Construcción | Cielo Abierto Manual     | X                         |   | Formación Bayunca          |
| 2 | ¿Cocklinker        | Cartagena vía Mamonal                  | X: 1.628.000<br>Y: 844.500 | Caliza                      | Cemento                                  | Cielo Abierto Mecanizado |                           | X | Formación La Popa          |
| 3 | Ladrillera la Clay | Pasacaballos                           | X: 1.629.300<br>Y: 843.400 | Arcilla                     | Ladrillo                                 | Cielo Abierto Mecanizado |                           | X | Formación Bayunca          |
| 4 | La Legua           | Pasacaballos 2 Km al N-E               | X: 1.629.200<br>Y: 845.400 | Arena                       | Materiales de Construcción               | Cielo Abierto Mecanizado |                           | X | Formación Rotinet          |
| 5 | Puente Hondo (1)   | Cartagena vía Turbaco Km 7             | X: 1.635.600<br>Y: 850.600 | Arena                       | Concretos                                | Cielo Abierto Manual     |                           | X | Formación Rotinet          |
| 6 | Puente Hondo (2)   | Cartagena vía Turbaco Km 3             | X: 1.635.125<br>Y: 855.050 | Arena                       | Concretos                                | Cielo Abierto Manual     |                           | X | Formación Rotinet          |
| 7 | Cimaco             | Km 3 al N-W de Turbaco                 | X: 1.635.520<br>Y: 851.040 | Caliza                      | Concretos                                | Cielo Abierto Manual     | X                         |   | Formación La Popa          |
| 8 | Alcalis Ltda       | Turbaco vía Mamonal Km 3               | X: 1.634.100<br>Y: 850.425 | Caliza                      | Concretos                                | Cielo Abierto Mecanizado |                           | X | Formación La Popa          |
| 9 | Coloncito          | Cerro Coloncito Km 3.5 al N de Turbaco | X: 1.638.500<br>Y: 854.625 | Caliza                      | Carbonatos Concretos                     | Cielo Abierto Mecanizado |                           | X | Formación La Popa          |

Fuente: INGEOMINAS, 2001.

Tabla 3.2.4. Localización de Canteras Zona II

|    |               |                                   |                            |                         |                    |                          |  |   |                   |
|----|---------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|--|---|-------------------|
| 10 | Campuzano     | Turbaco vía Cañaveral Km 1        | X: 1.634.875<br>Y: 855.200 | Arenas, Gravas, Bloques | Concretos, Relleno | Cielo Abierto Manual     |  | X | Formación Rotinet |
| 11 | Socorro       | Turbaco vía Arjona Km 2           | X: 1.633.450<br>Y: 856.100 | Caliza                  | Concretos Recebo   | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 12 | Cicon         | Turbaco vía Arjona Km 1.5         | X: 1.633.200<br>Y: 855.800 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 13 | T.A.M         | Turbaco vía Arjona Km 2.5         | X: 1.632.800<br>Y: 855.700 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 14 | Movicon       | Turbaco vía Arjona Km 3           | X: 1.632.700<br>Y: 856.000 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 15 | Bonanza       | Turbaco vía Arjona Km 2.5         | X: 1.632.000<br>Y: 854.800 | Caliza                  | Bloques            | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 16 | La Constancia | Turbaco vía Arjona Km 3           | X: 1.631.950<br>Y: 855.375 | Caliza                  | Bloques Concretos  | Cielo Abierto Manual     |  | X | Formación La Popa |
| 17 | Aguas Vivas   | Turbaco vía Arjona Km 4           | X: 1.629.999<br>Y: 856.325 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto Mecanizado |  | X | Formación La Popa |
| 18 | Cañaveral     | N.E de Cañaveral                  | X: 1.639.000<br>Y: 863.150 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto            |  | X | Formación La Popa |
| 19 | Paricueta (1) | Pasacaballos vía Pto Badel Km 5.5 | X: 1.624.000<br>Y: 846.000 | Caliza                  | Recebo             | Cielo Abierto            |  | X | Formación La Popa |

Fuente: INGEOMINAS, 2001.

Tabla 3.2.5. Localización de Canteras Zona II

|    |               |                                    |                              |        |                            |               |  |   |                   |
|----|---------------|------------------------------------|------------------------------|--------|----------------------------|---------------|--|---|-------------------|
| 20 | Paricuita (2) | Pasacaballos vía Pto Badel Km 85.5 | X : 1.622.400<br>Y : 845.500 | Caliza | Recebo                     | Cielo Abierto |  | X | Formación La Popa |
| 21 | Loma el Limón | Turbaná vía Ballesta Km 1.5        | X : 1.626.500<br>Y : 851.400 | Caliza | Recebo                     | Cielo Abierto |  | X | Formación La Popa |
| 22 | Pasacaballos  | Pasacaballos vía el Chorro         | X : 1.628.200<br>Y : 846.300 | Caliza | Materiales de Construcción | Cielo Abierto |  | X | Formación La Popa |
| 23 | Albornoz      | Albornos                           | X : 1.638.000<br>Y : 843.800 | Caliza | Bloques Concretos          | Cielo Abierto |  | X | Formación La Popa |
| 24 | Basurero      | Basurero de Cartagena              | X : 1.638.800<br>Y : 845.300 | Arena  | Materiales de Construcción | Cielo Abierto |  | X | Formación Rotinet |

Fuente: INGEOMINAS, 2001

### 3.2.2 Geomorfología

El área de influencia indirecta La zona desde Cartagena hasta Arjona está localizada en las serranías de San Jacinto, Turbaco- Luruaco- Tubará y con morfología suave de amplias planicies interrumpidas por zonas de colinas o relieves ondulados, limitados al occidente por la línea costera. Este terreno se formó en dos episodios que corresponden a la formación de los cinturones de San Jacinto y Sinú, en el cual el diapirismo aparece como el factor deformante más importante. Para el Cinturón de San Jacinto tuvieron lugar durante el Paleoceno al Eoceno medio y durante el Eoceno superior al Oligoceno; en el Cinturón del Sinú, durante el Mioceno medio y del Mioceno superior al Plioceno (INVEMAR, 2003). En la isla de Tierra Bomba, las lomas y colinas constituyen la unidad de mayor extensión y se presenta en forma alargada en sentido Norte-Sur, con alturas que no sobrepasan los 80 m, donde sobresalen los cerros de Guanguí, Picón y la Vigía. (CIOH & CARDIQUE, 1998).

Al SW de la bahía de Cartagena, se presenta un relieve ondulado e irregular formado por la loma Coquito, loma Mohan y cuchilla el Barranco que se extiende desde el oeste del canal del Dique hasta el sur de la ciénaga de Portonaito. Se presenta como paleoacantilados al norte de la ciénaga de los Vásquez y Portonaito. (CIOH & CARDIQUE, 1998).

En la isla de Tierra Bomba las plataformas labradas en caliza (plataformas de abrasión elevadas) conforman un cuerpo alargado en dirección NW - SE, extendiéndose en una longitud de 2900 m y amplitud media de 400 m. Hacia el norte está en contacto con la terraza coralina, al sur con unas zonas de manglar y al este las colinas.

Al Sur de Punta Varadero esta geoforma se extiende en dirección NW, alcanzando alturas de 6 m en promedio, con desarrollo de cavernas y notches o hendiduras que evidencian antiguos niveles del mar. Al sur de la ciénaga de los Vásquez se ubica otra plataforma que se prolonga en sentido E W exhibiendo su máxima amplitud en inmediaciones a la ciénaga, con escarpes de 1 a 5 m, y formación de cavernas. (CIOH & CARDIQUE, 1998).

En el sector central de la isla de Barú, entre las ciénagas de Portonaito y el Mohan, está la plataforma de abrasión que cubre mayor área; se extiende en una longitud de 4 km en sentido NE y una amplitud prome-

dia de 2 km. Hacia el oeste está labrada sobre calizas conformando la loma Estancia Vieja, donde se presenta formando paloacantilados en los sectores de ciénaga de Portonaito y Playa Blanca, que están en contacto con terrazas, zonas de manglar y playas, respectivamente (CIOH & CARDIQUE, 1998).

Las playas se presentan en forma continua en los sectores de Tierra Bomba, Bocachica, a todo lo largo de la espiga de Punta Arenas y a manera de parches en el sector oeste de la isla de Tierra Bomba. Sus amplitudes varían entre 2 y 20m, siendo las más angostas las ubicadas cerca del poblado de Tierra Bomba y las de mayor amplitud en la espiga de Punta Arenas, al ser controladas por espolones. Están constituidas por arenas calcáreas de grano fino a muy grueso, de color crema a amarilla. (CIOH & CARDIQUE, 1998; CARDIQUE, 2005).

En el extremo NW de la isla Barú, sobre la bahía de Cartagena, se observa una zona incipiente de playas, que limita con manglar y terrazas marinas. Estas playas están adyacentes a los predios de Cementos del Caribe donde se construyó un espolón de 20 m de longitud desde la terraza marina, que fue rellenado hacia el oeste con material de playa (CARDIQUE, 2005). En el sector oeste de la isla, en las zonas del Varadero y Punta Gigante, se presentan playas incipientes en contacto con las terrazas marinas. Igualmente, entre la ciénaga de Portonaito y Playa Blanca se encuentran las playas más desarrolladas y amplias de la isla, presentan longitud de 3,5 km, amplitud promedio de 20 m y una pendiente del frente de playa de 9° (CARDIQUE, 2005).

La llanura costera aparece en el centro y sur del sector de Mamonal como dos cuerpos aislados que se extienden entre 1,5 y 2,6 km en dirección E-W. Están en contacto con las colinas y limitan hacia el mar por las zonas anegadizas. (CIOH & CARDIQUE, 1998).

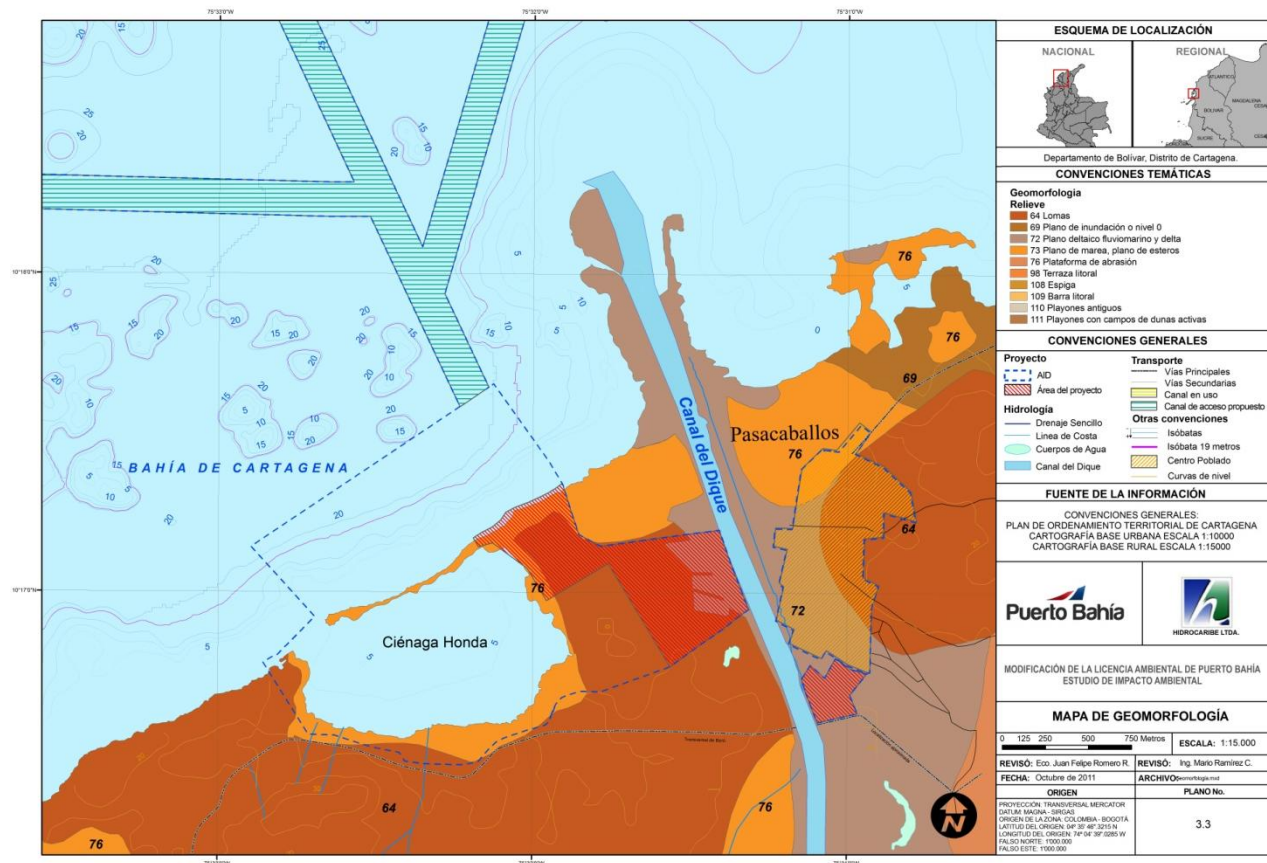
La geoforma de terraza marina en el ámbito de la bahía de Cartagena aparece hacia el este, como un cuerpo aislado de forma triangular conformando la isla Manzanillo, con alturas variables entre 0,5 y 2,0 m, constituida por fragmentos coralinos (Porites porites) de color blanco cementados en una matriz arenosa. (INVE-MAR, 2003).

En el extremo NW de Tierra Bomba la población está asentada sobre 2 niveles de terrazas, la más alta alcanza alturas de 20 - 25 m y la más baja entre 1 y 4 m. Siguiendo por el costado oeste de la isla en dirección sur se observan 2 cuerpos de terrazas muy erosionadas, con presencia clara de árboles y bloques caídos, en uno de los cuales está ubicado el poblado de Bacachica. Esta unidad está conformada por bloques coralinos hasta de 3 m de diámetro y por fragmentos coralinos (Porites porites). Porta y Sollé de Porta (1960) consideran que esta unidad se formó a partir de las calizas arrecifales que constituyen los cerros del interior de la isla. Las de menor altura están constituidas principalmente por fragmentos y bloques coralinos de unos 0,5 m de diámetro, embebidos en una matriz arenosa, frecuentemente esta unidad llega al mar en forma acantilada (INVE-MAR, 2003).

### 3.2.2.1 Unidades geomorfológicas

Teniendo en cuenta la información encontrada en el POT de Cartagen del año 2001, la geomorfología está representada por colinas, lomas y depósitos de vertiente ubicados en los terrenos que hoy son “continentales”, y por la variedad de geoformas recientes de origen marino y fluvial en el litoral actual. Estas grandes unidades geomorfológicas, que evolucionan permanentemente bajo la influencia de numerosos factores, han sido diferenciadas en dos grandes grupos (INGEOMINAS, 1994). (Ver Figura 3.2.2 y Anexo Cartográfico).

Figura 3.2.2 Mapa geomorfológico



Fuente: Hidrocaribe 2011, sobre cartografía del POT de Cartagena (2001)

### Unidades geomorfológicas bajas

Ubicadas en la franja más baja de la costa, de topografía plana. Originadas por procesos costeros, asociadas en general a sedimentos de origen marino y fluvial. A lo largo del litoral del Distrito se encuentra la franja de playas marítimas asociadas, y haciendo parte de ellas, las formaciones producidas por la dinámica de las fuerzas hidrológicas (corrientes y oleaje), geológicas y meteorológicas que condicionan los procesos de transporte litoral de sedimentos, tales como las playas; playones antiguos, presentándose como material consolidado.

Otras geoformas bajas, que se presentan son: Llanura costera, conformadas por depósitos aluviales sobre antiguos ambientes marinos consolidandolos; Llanuras intermareales y manglares; Planos aluviales, formados a partir de la depositación de los drenajes y arroyos; Ciénagas y lagunas Costeras de baja profundidad.

### Unidades geomorfológicas prominentes (relieve estructural)

Corresponden a expresiones topográficas elevadas con respecto al nivel del mar actual, entre las cuales se destacan: las colinas y lomas, que son ondulaciones a con alturas variables entre 10 y 150 m, en Barú se presentan la Loma de Coquito, Loma Mohan y la Cuchilla El Barranco y en Tierrabomba los cerros de Guan-gui, Picón y la loma La Vigía.

Se encuentran también plataformas de abrasión elevadas, formadas por la acción abrasiva del mar en el pasado, como los sectores de los Barrios Lemaitre y Alto Bosque; además las características que terminan en acantilados hacia el oeste de Punta canoas y las de Tierra Bomba y Barú al noroeste de la Ciénaga de Mohan y al sur de la Punta del Varadero. Se presentan además las terrazas marinas, diferenciadas de las anteriores por estar inclinadas hacia el mar y haberse formado por deposición marina terminando en escarpes sobre la playa, presentes al noroeste y oeste de Tierra Bomba como en Bocachica, al oeste de Barú como alrededor de la Ciénaga de los Vásquez y Punta Gigante.

En general las diferentes geoformas se distribuyen a lo largo del territorio del Distrito, vale la pena señalar que entre la Ciudad urbanizada y el límite norte distrital, en la zona terrestre predomina la forma de colinas y lomas. En esta zona la franja de playas, por estar bajo la influencia de los efectos de transporte de sedimentos desde la desembocadura del Río Magdalena, presenta espigas en el sentido sur-suroeste como consecuencia de la deriva litoral alrededor de las salientes de la costa, que al consolidarse originan la acreción de la franja de playas.

Hacia el sur de Cartagena, en la península de Barú, son características las plataformas de abrasión y terrazas marinas de origen calcáreo, altas y bajas con intercalación de lomas y colinas, terminando hacia la franja de playas en acantilados y escarpes. En la franja de playas marítimas, aunque no ocurren los grandes movimientos del norte, se presentan, en forma localizada, los efectos de erosión en los escarpes de las terrazas debido al embate de las olas.

### **3.2.2.2 Unidades de relieve**

Las Unidades de suelos para la zona están clasificadas en tres grandes unidades de relieve, como zonas planas, zonas quebradas y Tierras Misceláneas (CIOH-CARDIQUE, 1998).

#### **Zonas planas**

Localizadas en la planicie de la Cordialidad al norte del canal del Dique, planicie adyacente al canal y planicie costera. Se incluyen dentro de este grupo, los suelos de zona litoral con influencia marina reciente, fluvio-marina reciente y subreciente y los de la planicie de Inundación Ocasional con Influencia fluvio-marina antigua.

#### **Zonas quebradas**

Comprende zonas onduladas y quebradas propiamente dicha. Se incluyen dentro de este grupo los suelos de colinas de vertientes generalmente rectas, cortas onduladas y con relieve irregular.

#### **Tierras Misceláneas**

Se incluyen dentro de este grupo los suelos con presencia de cárcavas, las áreas rocosas y los pantanos. Los suelos de la zona "litoral" propiamente dicha, presentan problemas con la presencia de sales y sodio, la mayor parte de los suelos de las zonas quebradas o las colinas, se caracterizan por ser superficiales; presentan texturas moderadamente gruesas y estructura boscosa, son muy susceptibles a la erosión, tal que en algunos sitios sus efectos son tales que ha desaparecido el horizonte A (CIOH & CARDIQUE, 1998).



### 3.2.2.3 Morfología de las costas de la bahía de Cartagena

Los boletines emitidos por el CIOH han mostrado los cambios morfológicos en las costas de la Bahía de Cartagena a través del tiempo, la información que se describe a continuación fue tomada del boletín No. 0102. La morfología actual, además de algunas costas primarias, corresponde principalmente a unas costas de tipo secundarios según F. Shepard (1973) ósea, debidas a factores preponderantes marinos:

- **Costas primarias**

**Delta:** Un ejemplo de Delta es la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía, de una parte la marea en esta costa es de muy poca amplitud (inferior a 0.5 m) y de otra parte la mayoría de sedimentos transportados por el Canal, se depositan cuando llegan a la Bahía. Los datos de batimetría indican claramente el cono de deyección en la desembocadura.

**Plataforma rocosa:** Se encuentra en la parte norte y sur de Tierra Bomba una plataforma con varios bajos de roca calcárea de tipo “beach rocks” que se une a la costa por acumulación de sedimentos gruesos procedentes sobre todo de la erosión del cerro circundante. Este tipo de costa corresponde también a la parte exterior de Tierra Bomba.

**Acantilados:** Existen varias áreas de fuerte pendientes (casi vertical) de más de dos metros de altura formadas por sedimentos desde poco consolidado (lodo calcáreo o arcillas) hasta roca compacta (arrecifes fósiles) y al pie de las cuales se presentan grandes bloques característicos de los acantilados erosionados por las olas.

- **Costas secundarias**

Las playas: En la bahía de Cartagena se presentan dos tipos de costas:

- a) Las playas de residuos biotriticos y recifales de color claro, que se encuentran ubicadas generalmente en las partes internas con respecto a los bajos que corresponden a las edificaciones coralinas.

La granulometría del sedimento es en este caso muy diferente en la parte mediolitoral (diámetro medio 125 y 250  $\mu$ ) y la parte supralitoral (diámetro medio superior a 10 mm).

- b) Las playas de arena gris que constituyen la mayoría de las que dan hacia mar abierto. El sedimento es de tamaño de arena fina (diámetro medio entre 125 y 250  $\mu$ ) y está constituido por parte biotritica (residuos de conchas y corales) y detritica (cuarzo, mica minerales pesados). El porcentaje detritico aumenta hacia mar abierto.

Estas playas son debidas más bien a la acumulación por deriva litoral de sedimentos arenosos procedentes del mar.

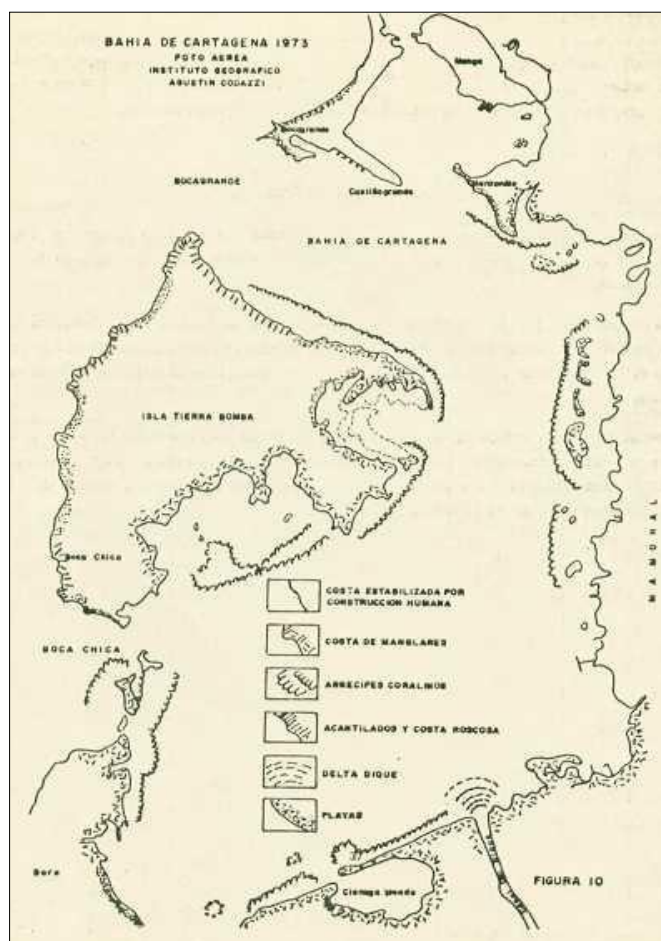
**Los manglares:** Los manglares que ocupan las orillas de la Bahía pertenecen esencialmente a los tipos Rhizophora mangle y Avicennia nitida. El sustrato en donde crecen pueden ser de amplias variedades desde arena detriticas hasta puros restos de corales. En este sustrato el aumento de materia orgánica es notable puesto que en estas áreas, las aguas muy tranquilas ayudan la deposición de sedimentos finos con fuerte porcentaje de materia orgánica.

**Edificaciones coralinas:** Los arrecifes que rodean la formación de las costas en la bahía de Cartagena son los frangeantes. Esos corales que ya son fósiles estaban muy desarrollados en un pasado reciente y pertenecen esencialmente a las especies Acropora cervicornis, Acropora palmata y Porites porites. Uno de los factores

que ha contribuido con la desaparición de los corales ha sido la creación del Canal del Dique vertiendo aguas poco saladas y turbias en la Bahía. Ahora esos corales forman parte de algunos bajos de la bahía de Cartagena como es el sector del Varadero. La erosión de esos arrecifes dan numerosos depósitos de gran tamaño (superior a 10 cm) en las partes supralitorales de las costas adyacentes.

Edificaciones humanas: hay que tener en cuenta ahora la parte no depreciable de las costas estabilizadas artificialmente ya sea con objetivo económico en la ciudad de Cartagena (Bahía interna) y en la zona industrial o con objetivo turístico para la estabilización de las playas en el área de Bocagrande, Castillo Grande y El Laguito.

Figura 3.2.3 Bahía de Cartagena año 1973



Fuente: CIOH Boletín 0102

#### 3.2.2.4 Morfología de fondos

En el documento “Manejo de los sedimentos en la desembocadura del canal del Dique en la bahía de Cartagena” (Universidad de Cartagena, 2003) se realizó una comparación de información hidrotopográfica para conocer la evolución del lecho de la bahía. Los años contrastados fueron 1935/1973, 1973/1988 y

1935/1988; este análisis fue complementado en la zona de las lengüetas con información de 1996 a 1999, Del cual se extraen las siguientes conclusiones:

“Existe un realce acentuado del lecho en la zona de las lengüetas debido al aporte de sedimentos del canal del Dique. En efecto, la isobata de 10 m se alejó de la orilla pasando de los 80 m a los 1600 m en el año 1999; la de 20 m pasó de 300 a 1900 m, en el mismo período. Hay predominio en la dirección norte en el avance superficial de los depósitos de sedimento. En la profundidad se alejan en dirección noroeste”.

En el presente análisis se consideraron las siguientes batimetrías: la de octubre de 1999 realizada por la Universidad del Norte, la de diciembre del 2000 por la firma Ingenieros Consultores Ltda. y la de abril de 2002 realizada por la Universidad de Cartagena.

Retomando el análisis del avance de las curvas batimétricas hacia el centro de la bahía en el presente estudio se digitalizaron y superpusieron digitalmente en Autocad las 3 batimetrías antes mencionadas con los siguientes resultados resumidos en las Tabla 3.2.6 y Tabla 3.2.7.

Tabla 3.2.6. Evolución de la isóbata 20 frente a la desembocadura canal del Dique

| Período   | Variación multianual<br>m | Variación anual<br>m |
|-----------|---------------------------|----------------------|
| 1935-1999 | 1600                      | 25                   |
| 1999-2000 | 88,5                      | 75,8                 |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

Tabla 3.2.7. Evolución de la isóbata 10 frente a la desembocadura canal del Dique

| Período   | Variación multianual<br>m | Variación anual<br>m |
|-----------|---------------------------|----------------------|
| 1935-1999 | 1520                      | 23,75                |
| 1999-2000 | 45,65                     | 39,13                |
| 2000-2002 | 17,98                     | 13,48                |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

Siguiendo el eje de la desembocadura del canal del Dique, la isóbata de 20 m tuvo un avance sustancial entre el año 1999 y el 2000, superándose la variación anual promedio del periodo 1935-1999. Hecho semejante ocurre con la isóbata de 10 m aunque en el siguiente período de análisis 2000-2002 el ritmo de avance anual disminuye. La isóbata de 5 metros tuvo un importante avance en los períodos evaluados siendo mayor la variación anual en el período 1999-2000 que en el 2000-2002 (Ver

Tabla 3.2.8).

Tabla 3.2.8. Evolución de la isóbata 5 frente a la desembocadura canal del Dique

| Período   | Variación multi-<br>anual<br>m | Variación anual<br>m |
|-----------|--------------------------------|----------------------|
| 1999-2000 | 54,37                          | 46,60                |
| 2000-2002 | 30,12                          | 22,59                |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

El avance de las isóbatas es especialmente manifiesto en la zona de desembocadura siendo menos acentuado al este y oeste de las lengüetas. La dirección predominante del avance de las isobatas es hacia el norte siguiendo la dirección del vertido del Canal del Dique, la cual cambió por las obras de dragado de mantenimiento de la boca siendo más manifiesto esto después de la consolidación de la isla en la desembocadura. Este análisis concluye con la evaluación de las tasas de sedimentación para la zona en estudio, se realizaron 2 evaluaciones; en ambos se superpusieron en Autocad 2 batimetrías y se calculó el volumen de agua ocupado para una determinada fecha, la resta de los dos volúmenes asociados al área evaluada permite estimar el volumen de agua desplazado por los sólidos sedimentados:

En el primero caso se evaluaron las batimetrías de octubre de 1999 y diciembre de 2000, se trazaron perfiles desde la línea de costa con un ángulo de 18° respecto al norte verdadero en sentido contrario a las manecillas del reloj, abarcando 14 perfiles a izquierda y derecha del a partir de un perfil central sobre el eje del canal, para un total de 29 perfiles, cubriendo 1693 m hacia la derecha del eje del canal y 1580 m a la izquierda, el borde exterior del área de análisis fue la intersección de las dos batimetrías en profundidades entre los 18 m y los 25 m, el área total sobre el cual se realizó el análisis fue de 381 ha (3,8 km<sup>2</sup>) y un perímetro de 12,5 Km.

El volumen acumulado dentro de esta área fue de 3'671.858 m<sup>3</sup>, para una tasa de cambio de 3'147.307 m<sup>3</sup>/año. Con base en la información de los estudios de CORMAGDALENA en el 2000, se puede hacer un estimado de unos 44,0 millones de metros cúbicos que han sido desplazados en la bahía de Cartagena por el aporte de sedimentos entre 1935 y el año 2000.

Este valor supera con mucho a los calculados en estudios anteriores; por ejemplo en "Manejo de los sedimentos en la desembocadura del Canal del Dique en la bahía de Cartagena" de CORMAGDALENA del 2000 se habla de 10,2 millones de metros cúbicos y una tasa anual de 927.723 m<sup>3</sup>/año para el período 1988-1999 en un área un poco superior a la evaluada actualmente y limitada por la isóbata 25. Las tasas de aporte de sedimentos a la bahía de Cartagena se presentan en la Tabla 3.2.9.

Tabla 3.2.9. Tasa de aportes de sedimentos en la bahía de Cartagena en el período 1935 - 2000.

| Período     | Desplazamientos del volumen de agua ocupados por los sedimentos en el período (Millones de m3) | Tasa de avance de sedimentación (m3/año) |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1935-1973   | 19,7                                                                                           | 518.421                                  |
| 1973-1988   | 10,3                                                                                           | 686.666                                  |
| 1.988-1.999 | 10,2                                                                                           | 927.723                                  |
| 10/99-12/00 | 3'671.857                                                                                      | 3'147.307                                |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

Esta variación entre los volúmenes acumulados en m<sup>3</sup>/año se puede explicar por el hecho de un incremento extremo en los caudales sólidos y líquidos del canal para ese período; tan extremo es el evento que fue reportado así por el documento "Campañas hidrosedimentológicas y de calidad del agua en el canal del Dique y el complejo cenagoso" de Ingenieros Consultores Ltda. 2000 (1° informe):

"La primera campaña del estudio se realizó entre el 22 de noviembre y el 9 de diciembre de 1999, durante el período de niveles más altos registrados en la estación Calamar del río Magdalena, desde 1967. Lógicamente, estos fueron también los mayores niveles jamás registrados en el propio canal del Dique".

Esto puede constatarse al examinar los datos de caudales sólidos y líquidos medidos entre 1996 y el 2002 durante las campañas realizadas por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Bogotá, Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de las Flores y Ministerio del Medio Ambiente - Ingenieros Consultores Ltda. En ellos se aprecia como entre 1999 y el 2000 se presentaron valores pico de caudales y aporte de sedimentos hacia la bahía de Cartagena, tal como muestran en la Tabla 3.2.10.

En el segundo análisis de cambio de volúmenes, se superpusieron en Autocad las batimetrías de octubre de 1999 realizado por la Universidad del Norte, la de diciembre del 2000 realizada por Ingenieros Consultores Ltda. y la de abril de 2002 realizada por la Universidad de Cartagena. La zona evaluada fue la desembocadura teniendo como centro el eje del canal abarcando el semicírculo barrido por la batimetría del 2002 llegando hasta profundidades entre 17 y 20 m. El área cubierta fue de 86,09 ha, con un perímetro de 5,5 Km. Se trazaron 7 perfiles a lado y lado a partir del centro del canal para un total de 15 perfiles abarcando 712 m a la izquierda y 703 a la derecha (Tabla 3.2.10).

Tabla 3.2.10. Medición de caudales y sedimentos en el bajo canal del Dique en el período 1996 – 2002.

| Sección      | Fecha    | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Transporte Total En Suspensión (ton/día) |
|--------------|----------|----------------------------|------------------------------------------|
| Gambote      | 22/11/96 | 666                        | 21796                                    |
|              | 17/03/97 | 138                        | 2796                                     |
|              | 04/09/97 | 223                        | -                                        |
|              | 04/12/97 | 410                        | 15621                                    |
|              | 19/12/99 | 835                        | 11949                                    |
|              | 14/05/00 | 431                        | 31825                                    |
|              | 03/02    | 74                         | -                                        |
| Pasacaballos | 09/09/97 | 113                        | 1256                                     |
|              | 08/12/97 | 171                        | 8159                                     |
|              | 17/12/98 | 215                        | -                                        |
|              | 19/05/00 | 194                        | 17963                                    |
|              | 03/02    | 49                         | 373                                      |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

Tabla 3.2.11. Tasa de aporte de sedimentos en la bahía de Cartagena en el período 1999 - 2002

| Período   | Cambio de volumen (m <sup>3</sup> ) | Tasa de avance de Sedimentación (m <sup>3</sup> /año) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1999-2000 | 2'056,538                           | 1'762.747                                             |
| 2000-2002 | 1'118,623                           | 838.967                                               |

Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

En estos resultados se observa que los volúmenes del primer período doblegan a los del segundo, este hecho de que la tasa de avance de sedimentación en los dos períodos consecutivos sea tan disímil obedece a la gran diferencia entre los aportes de caudales sólidos y líquidos de los dos periodos evaluados como se observa en la Tabla 3.2.11.

### 3.2.2.5 Morfología de la línea de costa

De acuerdo con los “Estudios y Diseños Conceptuales de Ingeniería para la Restauración Ambiental de los Ecosistemas Degradados del Bajo Canal del Dique”, realizados por la Universidad de Cartagena en Junio de 2003, referidos a la evaluación morfológica de la desembocadura del canal del Dique en la Bahía de Cartagena, a continuación se presenta los resultados de la caracterización hidráulica de la bahía de Cartagena en la zona de las lengüetas de Pasacaballo y las variaciones cronológicas de la línea de costa.

Para estos estudios la Universidad de Cartagena utilizó información primaria y secundaria obtenida de las campañas del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Bogotá, Ministerio de Transporte (1984 - 1993), Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de las Flores - Cormagdalena (1996 - 1999), Ministerio del Medio Ambiente (1999 - 2000), mediciones hidrotopográficas realizadas por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores - CORMAGDALENA (1998 - 1999) y por la Universidad de Cartagena (2002). A continuación se realiza una breve síntesis de la línea de costa, tomada del estudio anteriormente mencionado.

#### **Bahía de Cartagena en la desembocadura del Canal del Dique**

En el sector de la bahía de Cartagena en la desembocadura del canal del Dique, la sedimentación generada por los aportes del canal en la bahía, a mediano plazo es probable que disminuya de manera importante debido a las obras propuestas que se piensan realizar en la zona del bajo canal, reduciendo el caudal que aporta el río Magdalena al sistema de bahía de Cartagena y Barbacoas, y por ende la carga de sedimentos que llega a estos cuerpos de agua.

Estudios detallados a nivel hidrodinámico y geomorfológico de la evolución del fenómeno de las lengüetas de Pasacaballos son escasos. Con la aplicación del modelo SHORELINE MODELING SYSTEM (SMS) con su rutina de trabajo GENESIS se pueden dar a conocer las tendencias de cambio futuro en la línea de costa de la bahía de Cartagena en este sector, con el fin de evaluar el transporte de sedimentos longitudinal y sus relaciones con el cambio en la línea costera, bajo la acción del oleaje y el viento.

Un análisis de variación morfológica a futuro en la bahía de Cartagena debe involucrar el análisis de la hidrodinámica involucrando la influencia del viento, la marea y oleaje interno de la bahía, análisis de las características sedimentológicas de la zona (estableciéndose a diferentes niveles en la costa y en el lecho submarino las características físicas de los sedimentos), análisis del transporte de sedimentos (finos y gruesos) e incidencia de dicho transporte en la evolución del fondo submarino y la línea de costa.

#### **Desembocadura del canal del Dique**

Para este análisis se tuvo en cuenta la información del documento: “Manejo de los sedimentos de la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena” (Documento E-063-022), CORMAGDALENA 2000. La evolución de las lengüetas dentro de la bahía de Cartagena, está asociada al avance del delta del Canal del Dique, y la tasa de avance de éstas están a su vez asociadas a épocas significativas de esa evolución, como la incorporación de la bahía de Cartagena al sistema del canal del Dique, a partir del corte de Paricuica de 1934, y luego con los incrementos en los caudales aportados por el canal del Dique, debido a las sucesivas obras de conexión y de rectificación del Canal.

En 1934 realizado el corte de Paricuica, el Canal del Dique comenzó a verter sedimentos en la bahía de Cartagena; a partir de entonces se comenzaron a dar importantes cambios morfológicos en la zona de influencia de la desembocadura. El más importante fenómeno desde entonces hasta nuestros días fue la formación de unas lengüetas que se desarrollan en ambas orillas del tramo final del Canal del dique.



La Figura 3.2.4, muestra como hacia 1955 Pasacaballos estaba en contacto directo con aguas de la bahía de Cartagena. Previamente la Standard Dredging había realizado una rectificación en el canal del Dique entre 1951 y 1952. Una imagen de 1985 (Figura 3.2.5) muestra la situación de la desembocadura después de la última rectificación a la que fue sometido el canal del Dique entre 1981 y 1984. Puede apreciarse el perfil emergente de las dos lengüetas y la relativa lejanía entre Pasacaballos y las aguas de la Bahía.

Hacia 1992 el Ministerio de Transporte define unos diques de confinamiento en la zona de la desembocadura, para deposición del material de dragado periódico en la boca, del canal, desarrollándose más las lengüetas como una prolongación del último tramo del Canal (CORMAGDALENA-Uninorte.2000).

Figura 3.2.4. Desembocadura del Canal del Dique en 1955



Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

La imagen satelital del año 2000 (Figura 3.2.6), muestra un panorama muy semejante al actual en que la lengüeta izquierda tiene un área de 17,5 ha y la derecha 12,79 ha. Cerca del límite de la lengüeta izquierda estaba en surgencia desde 1998 una isla que en 2002 tiene un área de 6,06 ha y un perímetro de 1,19 km. Los anteriores datos fueron calculados con base en un geoposicionamiento de orillas realizado por Universidad de Cartagena. IHSA fechado en 15 de abril de 2002.

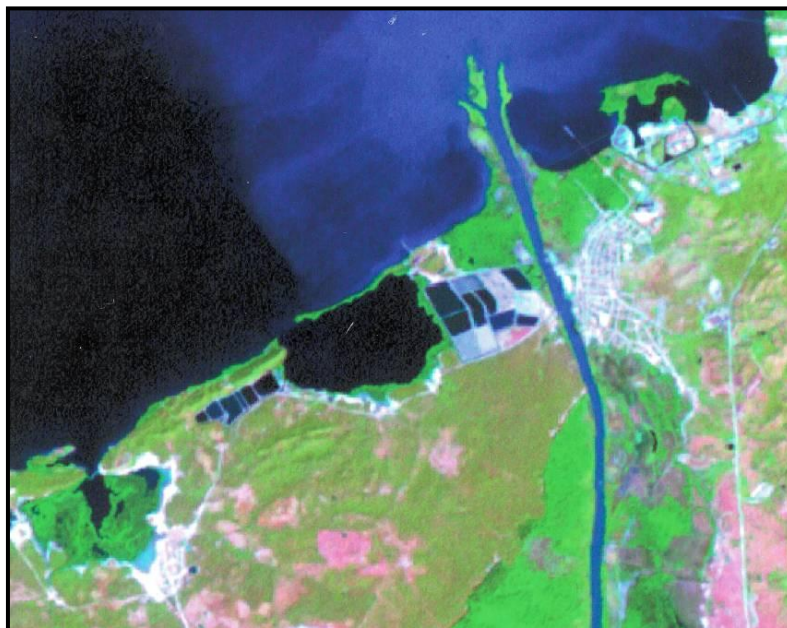
En el documento “Manejo de los sedimentos en la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena” de CORMAGDALENA 2000, se hace un análisis comparativo entre líneas de costa de 1935, 1954, 1961, 1974, 1992 y 1998. El resultado de este análisis se puede sintetizar en la Tabla 3.2.12.

Figura 3.2.5. Desembocadura del canal del Dique en la bahía de Cartagena en 1985



Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

Figura 3.2.6. Desembocadura del canal del Dique. Imagen satelital año 2000



Fuente: Universidad de Cartagena. Informe del análisis geomorfológico de bahías de Cartagena y Barbacoas, 2003.

La Tabla 3.2.12 muestra que “la tasa de avance anual de las lengüetas se incremento significativamente después de la gran rectificación 81-84 que aumentó ampliamente los aportes del canal del Dique a la bahía de Cartagena, a pesar de que, como al principio del crecimiento de las lengüetas, ellas lo hacían en zonas más someras, se esperaba un mayor avance longitudinal en los periodos iniciales. Los crecimientos de las zonas laterales lucen erráticos-a veces crecen, otras retroceden – debido a que los sedimentos se reacom-

dan en toda la costa. A partir de 1992, cuando finalizó la construcción de las estructuras de direccionamiento de las lengüetas, los crecimientos se organizaron en esa zona”.

Tabla 3.2.12. Tasas de avance de las orillas en las lengüetas de Pasacaballos y a los lados entre 1935 y 1998

| Periodo   | Orilla izquierda del Canal del Dique (m/año) |                    | Orilla derecha del Canal del Dique (m/año) |                             |
|-----------|----------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
|           | A la izquierda de la lengüeta                | Eje de la lengüeta | Eje de la lengüeta                         | A la derecha de la lengüeta |
| 1935-1954 | 0                                            | -1.57              | 3.42                                       | -1.05                       |
| 1954-1961 | 0                                            | -6.43              | 2.86                                       | -6.43                       |
| 1961-1974 | -2.69                                        | 15.77              | 36.15                                      | -1.54                       |
| 1974-1982 | -2.50                                        | 12.78              | 11.11                                      | 0.55                        |
| 1992-1998 | -1.66                                        | 110.0              | 78.33                                      | 1.66                        |

Fuente: CORMAGDALENA-Uninorte 2000.

En la Tabla 3.2.13 se muestran los cálculos de avance longitudinal de las lengüetas sobre los ejes considerados en el estudio anterior.

Tabla 3.2.13. Tasas de avance de las orillas en las lengüetas de Pasacaballos y a los lados entre 1998 y 2002

| Periodo   | Orilla izquierda del Canal del Dique (m/año) |                 | Orilla derecha del Canal del Dique (m/año) |                 |
|-----------|----------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|
|           | Variación Total                              | Variación anual | Variación Total                            | Variación anual |
| 1998-2002 | 73,09                                        | 18,27           | 395,92                                     | 98,98           |

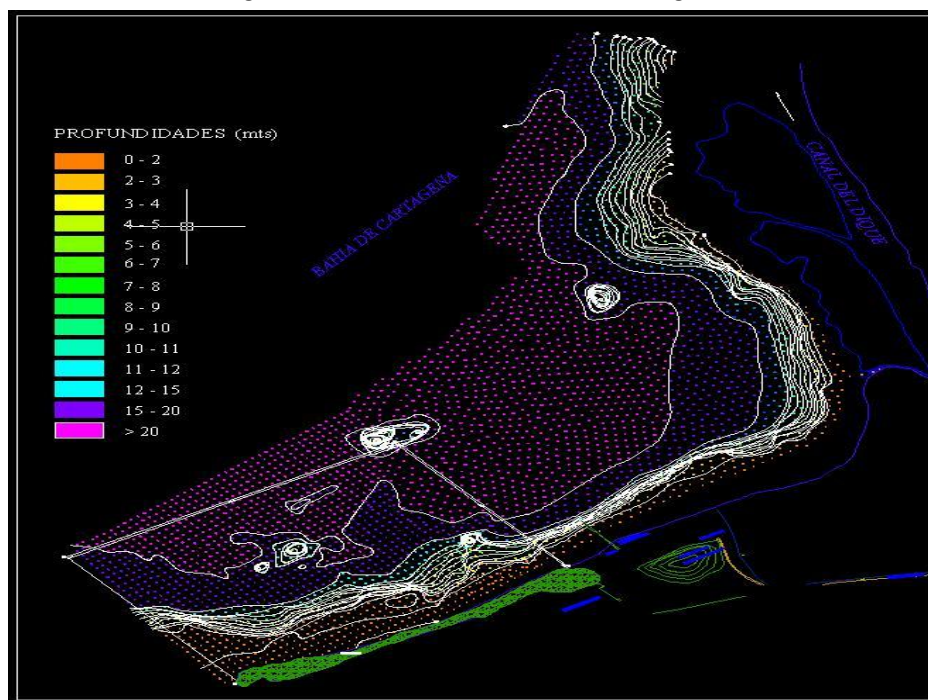
Fuente: Universidad de Cartagena

Comparando las tasas de avance anual para cada lengüeta en la Tabla 3.2.12 y Tabla 3.2.13, se puede apreciar una fuerte reducción en el avance de la lengüeta izquierda (de 110 m/año entre 1992 y 1998 a 18,27 m/año en el período 1998-2002). En cuanto a la lengüeta derecha hay aproximaciones en los valores de variación anual de la línea de costa de 78,33 m/año entre 1992 y 1998 y de 99,98 m/año entre los años 1998 y 2002

### 3.2.2.6 Batimetría

Las profundidades analizadas fueron tomadas de los levantamientos realizados por la firma HYSER Ltda en Julio de 2008. En la Figura 3.2.7 y Figura 3.2.8 se presentan las batimetrías de las zonas de la bahía de Cartagena y el canal del Dique relacionadas con el proyecto. En donde la profundidad máxima encontrada asciende a -24,0 metros en la bahía de Cartagena y -3,8 metros en el canal del Dique.

Figura 3.2.7. Batimetría zona Bahía de Cartagena



Fuente: HYSER Ltda, 2008

Figura 3.2.8. Batimetría zona del canal del Dique



Fuente: HYSER Ltda, 2008



### 3.2.2.7 Capacidad de transporte litoral

La caracterización que se presenta a continuación de la bahía de Cartagena fue tomada del boletín científico del CIOH No.0401<sup>2</sup>, primer estudio que se generó de forma completa, que presenta las características climáticas, marinas y continentales que inciden en los procesos marinos que tienen lugar en la Bahía de Cartagena y del Boletín No.22<sup>3</sup>, estudio en que analizan los cambios de la profundidad ocurridos recientemente (un siglo) en los fondos de la bahía de Cartagena mediante la comparación de los levantamientos batimétricos de los años 1935, 1987 y 2004 y la distribución de los sedimentos de la bahía en su parte externa e interna.

#### 3.2.2.7.1 Erosiones Locales

La dinámica de las aguas en la Bahía de Cartagena produce una erosión en las terrazas arrecifales que constituyen una gran parte de las orillas. Erosión que se presenta muy activa sobre los bajos coralinos de muy poca profundidad (inferior a 2m). El transporte mínimo de las partículas una vez sueltas, explica el rango importante en el tamaño de estos sedimentos calcáreos y su poco grado de erosión. El movimiento local de las partículas se realiza tanto por saltación como por rodamiento. Esta erosión es la que produce la sedimentación calcárea de la Bahía y se mantiene esencialmente en la franja del litoral.

#### 3.2.2.7.2 Naturaleza de la sedimentación

Mediante 270 muestras el CIOH caracterizó la distribución de los sedimentos, cuyos resultados mostraron que la zona externa de la bahía está ocupada por una población de limos y la parte interna por arcillas. Además se encontró arena gruesa en la entrada de Bocachica y en el lado externo de la península de barú, donde la fracción arenosa está compuesta de granos que se deben a la destrucción de los corales junto a muestras de lodos arcillosos finos frente a la isla Abanico en la parte exterior, lo que sugiere que se trata de una característica real del fondo. En el Norte, los granos de arena son más gruesos afuera que más cerca de la playa y hay una invasión de lodos finos frente al norte de Tierrabomba.

Generalmente los bordes de la plataforma sumergida entre la bahía tienen una pendiente muy abrupta donde el sustrato es calcáreo, la invasión de sedimentos más finos se detecta donde las pendientes son más suaves como la entrada de arenas en el sector del Laguito y avance del prisma deltaico del Dique.

Los mayores efectos en la dinámica de la sedimentación de la bahía se deben a la presencia de dos estructuras antrópicas: la Escollera de Bocagrande y el canal del Dique. A lo largo de la Escollera se encuentra depositado el material relativamente grueso proveniente de la deriva litoral de Bocagrande y además se comporta como una barrera que afecta la dinámica del agua y los sedimentos en toda la bahía. Los sedimentos finos (lodos) que vienen del canal del Dique se encuentran en la mayoría de los fondos en las partes profundas de la bahía, ocupando las partes que hasta hace veinte años el predominio era de arenas en la parte interna de Bocachica. El delta del Dique ha avanzado 3,5 km dentro de la bahía. Su influencia interactúa con el sur de los bajos de Santa Cruz y ya empezó a comprometer la profundidad del canal de navegación. Se estimó un volumen de 26,8 millones de m<sup>3</sup> de sedimentos finos transportados por el Canal del Dique entre 1977 y 2004.

<sup>2</sup> CIOH. 1979. *Síntesis del proyecto Bahía de Cartagena*. Boletín No .0401. COLOMBIA.

<sup>3</sup> CIOH. 2008. *Aspectos morfolodinámicos de la bahía de Cartagena de Indias*. Boletín No. 22. COLOMBIA.

### 3.2.3 Suelos

Los suelos del Distrito de Cartagena y en especial la zona costera, que están influenciados por el mar, presentan una conformación sedimentológica con elevados contenidos de arena de color gris y concentraciones de arcilla orgánicas en las depresiones por donde cursan los caños. En las zonas pantanosas los sedimentos son blandos, formados por arcilla orgánica muy fina y con restos de manglar. El sedimento es de color ocre, casi rojizo por la oxidación, se encuentran cuarzos y roca sedimentaria en las partes inundables, mientras que en las partes emergidas el sedimento contiene un porcentaje alto de micas (Niño<sup>4</sup> 2001 en CARDIQUE, 2005).

Para la descripción de los suelos de la zona de estudio se tuvo en cuenta el informe realizado por el CIOH (1998), que es el resultado de la recopilación y selección de información proveniente del estudio de suelos realizado por el IGAC para los municipios de Cartagena y Santa Catalina y para la Isla de Barú, en 1975. En este, los suelos de la zona costera, se clasifican de acuerdo al sistema taxonómico americano ("Soil Taxonomic" 1973). De acuerdo con las unidades de relieve anteriormente descritas en el presente estudio, los suelos son aptos para los siguientes usos:

**Zonas planas:** Localizadas en la planicie de la Cordialidad al norte del canal del Dique, planicie adyacente al canal y planicie costera. Sus tierras se prestan para uso de maquinaria agrícola; sus condiciones son óptimas para la tecnificación y desarrollo. En la Tabla 3.2.14 se muestra la clasificación de los suelos de estas zonas.

Tabla 3.2.14. Clasificación de los suelos zona plana

|                                        | CLASE DE SUELO                                     | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CON INFLUENCIA MARINA RECIENTE         | Consociación Barras (BA) (Psmmaquent típico):      | Se pueden considerar como formaciones arenosas de grano medio, calcárea de color amarillo claro. Estos suelos se observan en la franja litoral, en la zona de la Boquilla hasta la Boca de la Ciénaga de la Virgen y el área conocida como la Boquillita. También se observa una franja estrecha hacia la parte Sur de la ciénaga de la Virgen.                                                                  |
|                                        | Consociación Tierra Baja (PS) (Tropaquent hállico) | Suelos derivados de sedimentos de arena fina que dan la sensación de material limoso en los substratos. Fuertemente afectados por materiales salino sódicos, cuya influencia aumenta con la profundidad. Los playones salinos ocupan un lugar transicional entre los manglares y la zona continental. Su ocurrencia es en terrenos planos, con pendientes de 0-1%. Drenaje moderado a imperfecto.                |
|                                        | Consociación "La Uva" (LU):                        | Suelos completamente arenosos, desarrollados por la acumulación eólica de arenas no calcáreas. El paisaje donde se presentan es típico de dunas. Con drenaje natural excesivo, sin retención de humedad y baja fertilidad natural.                                                                                                                                                                               |
|                                        | Consociación Peladeros (PE) (Tropaquent Hállico)   | Generalmente se encuentra detrás de las zonas de manglares hacia el continente; ocupa superficies planas o ligeramente planas, con pendientes que oscilan entre 0-3%. Están caracterizados por ser sedimentos arcillosos, con sales visibles en la superficie; pH medianamente alcalino hasta los 50 cm y de esta profundidad en adelante son fuertemente ácidos, por estar posiblemente afectados por sulfatos. |
| CON INFLUENCIA FLUVIO- MARINA RECIENTE | Consociación Mohán (MO) (Tropohemist Hídrico):     | Pueden considerarse como una transición de no suelos a suelos propiamente dichos; permanecen inundados en la mayor parte del tiempo ya que se desarrollan en las ciénagas marinas y fluvio marinas. Tienen alto contenido de materia orgánica semi-descompuesta, en contraste con el bajo contenido de material mineral.                                                                                         |

4 Niño, 2001. Caracterización biofísica. Lineamientos para el Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de indias. IDEAE. PUJ



|                                                 | CLASE DE SUELO                                                                                                     | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | Consociación Piñuelas (PI)<br>(Haplaquept Aerico).                                                                 | Son suelos desarrollados en la denominada unidad de "manglar alto". Poseen mayor desarrollo pedogenético que los de manglar bajo. Generalmente sus texturas son finas, con evidencias de efectos de los procesos de óxido reducción; mal drenados. Son suelos muy superficiales y fuertemente afectados por sales sódicas desde la superficie. Se haya localizado en pequeñas unidades, hacia la parte Sur y Sur-occidental de la Ciénaga de Tesca                                                                                                                                        |
| CON INFLUENCIA<br>FLUVIO- MARINA<br>SUBRECIENTE | Consociación Pasacaballos (PA)<br>(Fluvaquent tropical hálico)                                                     | Suelos derivados de aluviones fluvio marinos recientes, localizados en la zona Sur de Pasacaballos. La depositación se ha realizado por los efectos continuos de las mareas altas y las frecuentes avenidas de las aguas fluviales del Magdalena, por lo cual se clasifican como Entisoles.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                 | Consociación Coquera (CQ)<br>(Fluvaquent tropical)                                                                 | Son suelos derivados de aluviones fluvio marinos recientes. Una de sus características principales es la del alto contenido de sales sódicas<br>Las propiedades físicas varían ampliamente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                 | Consociación "El Recreo"<br>(RE) (Ustropept típico)                                                                | Son el resultado de la fricción ejercida por el mar sobre las estribaciones de las colinas más bajas. Están ubicados en las márgenes del canal del Dique, hacia el extremo Sur de la zona. Superficiales o moderadamente profundos, con limitante de profundidad una capa de arcilla y plintita y algo de sales sódicas; moderadamente bien drenados; relieve plano, con pendiente 0-1%.                                                                                                                                                                                                  |
|                                                 | Asociación Barú (BI) (Ustorthent lítico) -Islas del Rosario (Ustorthent lítico) - San Ignacio (Ustorthent Típico). | Los suelos de esta unidad se encuentran en niveles de terrazas marinas bajas y de topografía plana (1-3%); bien drenados y sin erosión aparente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                 | Consociación Punta Canoas (PC)<br>(Chromustert Entico)                                                             | Ocupa la posición de terraza baja marina, con suelos formados de sedimentos finos (arcillosos) que descansan sobre una capa de conchas marinas cementadas con matriz arcillosa. La profundidad efectiva de los suelos varía entre muy superficial a moderada y está limitada por la presencia de sodio y sales, así como por la capa de conchas marinas. El porcentaje de arcillas supera el 60%.                                                                                                                                                                                         |
|                                                 | Consociación Punta Mama (PM)<br>(Haplustoll típico)                                                                | Entre el aeropuerto de Cartagena y La Boquilla; está rodeada por playones salinos y manglares de la ciénaga de la Virgen. Suelos derivados de aluviones marinos; superficiales debido a la presencia de material de conchas marinas con matriz franco arenosa. Químicamente son suelos con alto contenido de P2O5 en los dos primeros horizontes, principalmente. Se presentan en terrenos planos, con pendientes 0-1%; drenaje natural moderado a bien drenado. Localizado en pequeñas unidades en la parte occidental de la Ciénaga de la Virgen, al Norte del aeropuerto Rafael Núñez. |
|                                                 | Consociación "Zaragoza"<br>(ZA).                                                                                   | Suelos derivados de sedimentos moderadamente finos con influencia marina. Se encuentran al Noroeste de la zona estudiada y corresponden a la terraza marina baja. Pueden considerarse de profundidad muy superficial teniendo en cuenta que son afectados por sales salino-sódicas desde los 20m. Son de textura franco arcillosas.                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                 | Consociación Aeropuerto<br>(AP) (Ustorthent lítico)                                                                | Está en un nivel de terraza media con pendiente 0-3%, bien drenada y sin erosión aparente. Esta unidad es casi 100% pura; se caracteriza por estar sobre bancos coralinos y ser suelos muy superficiales; la vegetación natural es muy herbácea y arbustiva.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                 | Consociación "Tierra Bomba"<br>(TB)                                                                                | Suelos desarrollados sobre banco coralino, de texturas finas y moderadamente finas; con drenaje moderado a bien drenado; ligeramente plano, con pendiente 0-3%. Químicamente son suelos normales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                 | Consociación "Alquería"<br>(AQ) (Ustropept típico)                                                                 | Suelos desarrollados de sedimentos finos (arcillosos) sobre materiales de texturas medianas, con alguna influencia coluvial, con relieve ligeramente plano y pendiente 1-3%. Bien drenados.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                 | Consociación "La Frontera"<br>(FR) (Haplustoll éntico)                                                             | Suelos de terrazas media marina, desarrollados de sedimentos gruesos que descansan sobre medianos. En sectores se encuentra material gravilloso. Se localizan en la parte Norte. Químicamente son suelos normales con alto contenido de p <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                 | Consociación "Arroyo de Piedras"<br>(AY) (Ustropept vértico)                                                       | Ocupa los alrededores del corregimiento Arroyo de Piedra, sobre una terraza media marina, con alto contenido de sedimentos arcillosos descansando en material heterogéneo. Tienen problemas graves por la presencia de sales sódicas, las cuales limitan la profundidad efectiva llevándola a muy superficial y superficial.                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                 | Consociación Boca de Guayepo (BG)<br>(Pellustert típico)                                                           | Están en los valles estrechos de origen fluvial (Ay. Guayepo, Canalete, Tabacal, etc.) que desembocan en el mar y que en ocasiones se expanden para coincidir con pequeños deltas. Los suelos reciben fuerte influencia marina; son de drenaje imperfecto a pobre; relieve plano cóncavo con pendientes de 0-3%. Son suelos muy superficiales a superfi-                                                                                                                                                                                                                                  |

|                               | CLASE DE SUELO                                                                       | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                      | ciales, nivel freático alto y alto contenido de arcilla.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                               | Consociación Ziruma (ZI)<br>(Ustropept típico)                                       | Ocupa la posición el piedemonte del cerro Púa, con declive hacia el mar y pendientes de 3-7 y 12%, en la Vereda Púa entre el corregimiento de Arroyo de Piedra y el Caserío Canoas. Suelos superficiales en su mayoría aunque existen suelos moderadamente profundos debido a la presencia de material gravilloso y fragmentos rocosos a través del perfil y aflorando en la superficie.                                                                                                                           |
|                               | Consociación Hatillo (EH)<br>Haplustoll árido                                        | Corresponde a una transición de la terraza baja y los bancos coralinos en donde esta el complejo la Cueva-Cocón: se presenta en zonas de relieve plano. Los suelos son bien drenados y con erosión ligera.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                               | Asociación Estancia Vieja (EP)<br>Ustropept vértico<br>Polonia Pellustert típico.    | Están en los niveles planos definidos, con topografía ligeramente plana 1-3%, el material parental lo constituyen arcillas no calcáreas; moderadamente bien drenados y con erosión ligera de tipo laminar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| CON INFLUENCIA MARINA ANTIGUA | Asociación Cerezos Santa Isabel (CR) (Chromustert éntico)                            | Esta unidad ocupa la posición de nivel medio de terraza fluvio marina dentro de la planicie de inundación ocasional. Derivan de sedimentos muy finos de arcilla expandibles o montmorilloníticas, por lo cual se ha clasificado como Vertisoles. La unidad se localiza a los alrededores de Pontezuela hasta cerca de 1,0 km al este del caserío de Punta Canoas, extendiéndose hasta los límites de fincas Cerezos y Siberia.                                                                                     |
|                               | Consociación Siberia (SI)<br>(pellustert típico)                                     | Se encuentra en la planicie de inundación ocasional; con influencia fluvio marina, dentro de la terraza media. Suelos derivados de sedimentos finos (arcillosos) y moderadamente finos Químicamente son los suelos normales, con alto porcentaje de materia orgánica de acuerdo al contenido de carbón orgánico. El P2O5 es normal en todo el perfil.                                                                                                                                                              |
|                               | Consociación Pontezuela (PO)<br>(Ustropept vértigo)                                  | Está en la planicie de inundación ocasional, dentro de la posición de terraza media fluvio marina y se localiza dentro del caserío de Pontezuela, corregimiento de Bayunca. Suelos derivados de sedimentos o aluviones finos (arcillosos) que reciben la influencia coluvial de las colinas de material coralino y las de areniscas y lutitas. Se desarrollan en terrenos planos, ligeramente planos y moderadamente inclinados con pendientes de 0-1-3-7-12%, moderadamente bien drenados.                        |
|                               | Consociación Villa Mary (VM)<br>(Haplustoll típico)                                  | Los suelos se derivan de sedimentos de texturas medias y moderadamente finas, generalmente que descansan sobre un estrato de material grueso (arenoso y arenoso gravilloso). Se desarrollan en terreno plano, con pendientes de 0-1% el drenaje natural puede variar desde bien drenado a imperfecto.                                                                                                                                                                                                              |
|                               | Consociación Corozales (CZ)<br>(Haplaquoll fluvéntico)                               | Son suelos derivados de sedimentos de aluviones finos (arcillosos) que descansan sobre moderadamente finos, en terreno plano cóncavos con pendiente 0-1%, y drenaje natural moderado, imperfecto y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                               | Consociación Rosales (RS)<br>(Pelludert éntico)                                      | Se desarrollan en las zonas encharcables y en las márgenes de los cauces de los arroyos entre Santa Rosa y Villanueva. Son suelos de drenaje natural imperfecto a muy pobre y encharcable, desarrollados en terrenos de relieve plano cóncavo con pendientes de 0-1%. superficial por la presencia de capa arcillosa, propios para cultivos de arroz                                                                                                                                                               |
|                               | Consociación Palma Sola (PL)<br>(Haplustalf údico)                                   | Corresponden a la terraza media de pie de monte, de la planicie de inundación ocasional; sus materiales edáficos reciben gran influencia coluvial, al sur de la zona entre Pasacaballos, margen derecha del canal del Dique y en el pie de monte de las colinas orientales. Los suelos derivan de sedimentos moderadamente gruesos. Se desarrollan en terrenos con pendiente de 0-3%. Drenaje natural moderado a bueno. Son suelos normales, su contenido de P2 O5 se incrementa positivamente con la profundidad. |
|                               | Asociación, Los Olmos Paricuica (LO)<br>(Haplustoll fluvéntico y Ustropept vértico). | Son suelos de terraza media de pie de monte de la planicie de inundación ocasional. Localizados al sur de la zona entre el caserío El Recreo, margen derecha del canal del Dique y la finca Palma Sola. La textura que predomina es la franco arcillosa y arcillosa, pero existen sitios con textura franco arenosa y arcillo arenosa                                                                                                                                                                              |
|                               | Consociación Bayunca (BY)<br>(Haplustoll Acuico).                                    | Corresponde a la terraza media del pie de monte, en la planicie de inundación ocasional fluvio marina. Está constituido de sedimentos moderadamente finos, con influencia coluvial. Se ubica en los alrededores de Bayunca, Suelos normales desarrollados en terrenos ligeramente planos y moderadamente inclinados, con pendientes de 1-3-7-12%. Susceptibles a la erosión en algunos sitios. Profundos a moderadamente profundos.                                                                                |

|  | CLASE DE SUELO                                        | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Consociación Perlita (PR)<br>(Ustropept típico)       | Corresponde a la terraza media de piedemonte de la planicie de inundación ocasional. Reciben alta influencia de los materiales coluviales de las colinas vecinas. Se ubica en las estribaciones de las vertientes junto a la población de Bayunca, con pendientes de 3-7-12%. Son suelos profundos y moderadamente profundos, limitados por concreciones duras de hierro. La presencia de P2O5 decrece en estos suelos, con la profundidad a partir del tercer horizonte. Bien drenado. |
|  | Consociación Altamira (AL)<br>(Argiustoll vértico)    | Se desarrollan a partir de sedimentos finos (arcillas expandibles), en terrenos planos y ligeramente planos, con pendientes de 1-3-7%. En algunos sitios se observan los efectos de detritos de la erosión laminar y cárcavas. El drenaje natural varía de moderado a imperfecto. Los suelos presentan problemas con el sodio y las sales sódicas.                                                                                                                                      |
|  | Consociación Ceibal (CB)<br>(Ustropept vértico)       | Se desarrollan en la terraza confinada entre las colinas de Clemencia y Santa Catalina. Se derivan de sedimentos finos y moderadamente finos, terrenos planos y ligeramente planos, con pendientes 0-3% cuyo drenaje natural puede variar de moderado a imperfecto y pobre. El nivel freático limita la profundidad efectiva a moderadamente profunda y superficial; el contenido de arcilla que puede llegar a formar una capa impermeable.                                            |
|  | Consociación Manzanillo (MZ)<br>(Chromustert éntico)  | Suelos derivados de sedimentos finos (arcillosos), en terrenos ondulados, con pendientes de 3-7-12%, drenaje natural moderado a bien drenado. Químicamente son normales hasta el tercer horizonte, al profundizar presentan problemas con sales y sodio.                                                                                                                                                                                                                                |
|  | Consociación Hierbabuena (HB)<br>(Chromustert éntico) | En relieve bastante disectado con pendientes de 0-3-7-12%. Mal drenado. Presenta fenómenos especiales de pequeños surtidores de agua salada que emerge de los estratos profundos, que originan problemas graves con sales sódicas que limitan la profundidad efectiva y el uso adecuado de dichos terrenos. Se ubica en Bayunca.                                                                                                                                                        |

Fuente: CARDIQUE, 2005

En la zona plana. Planicie fluvio marina. Tierras aptas para la agricultura tecnificada, si se tienen en cuenta las características físicas y químicas de los suelos; pero el factor de la escasez de lluvias apropiadas es un limitante potencial para el desarrollo agropecuario.

**Zonas quebradas:** Por su topografía tiene uso restringido para labores agropecuarias y en algunas zonas la tala de bosque ha ocasionado la erosión. El uso que debe darse a estos suelos por la susceptibilidad a la erosión, es la reforestación principalmente. En la Tabla 3.2.15 se muestra la clasificación de los suelos de estas zonas.

**Tierras Misceláneas:** No son aptos para ningún uso específico, debido a sus características físico-químicas.

Tabla 3.2.15. Clasificación de los suelos zona quebradas

|              | CLASE DE SUELO                                                      | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ZONA COLINAS | Complejo La Cueva-Cocón (CC) (Ustorthent lítico, Haplustoll lítico) | Corresponde a las zonas quebradas, concretamente a las colinas con pendientes generalmente rectas de la formación la Popa, constituida de material coralino. Esta formación se extiende desde la Isla de Barú pasando por Tierra Bomba hasta el caserío de Canoas, al Noroeste de Arroyo de Piedras; también se encuentra al Noroeste de Pasacaballos, de donde se prolonga hacia Turbaco y a la zona urbana de Cartagena.                      |
|              | Consociación Totumo Ustorthent lítico (TO)                          | Está en los valles entre colinas de bancos coralinos (complejo la Cueva - Cocón) y localizados al NW del corregimiento de Barú y NW de la ciénaga de los Vázquez; suelos bien drenados y sin erosión aparente. Es casi 100 % pura y al igual que el complejo la Cueva Cocón, está sobre bancos coralinos y sus suelos son superficiales, textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios y finos y pH ligeramente alcalino. |
|              | Consociación San Luis (SN) (Ustropept típico)                       | Su pendiente es de 3-7-12 y 25% en las colinas bajas y generalmente onduladas. Se desarrollan de materiales calcáreos o coralinos muy alterados, interestratificados con lutitas. Son muy susceptibles a la erosión. Químicamente presentan problemas de sales y sodio desde el segundo                                                                                                                                                         |

|  | CLASE DE SUELO                                                                                             | CARACTERISTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                                            | horizonte.<br>Se ubica en los alrededores de Bayunca y Clemencia principalmente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  | Consociación Sabana Larga (SL) (Chromustert éntico)                                                        | Con pendientes de 7-12-25, 50% y más, erosionados. Se desarrollan a partir de materiales de areniscas y lutitas estratificados de la formación SABANALARGA. Van desde Bayunca hacia el N y NE la zona de estudio. Suelos moderadamente profundos debido al alto contenido de arcilla que origina una condición de compactación en los mismos. Drenaje natural moderado. Químicamente presentan problemas con sales y sodio                                                                                                |
|  | Asociación La Virgen Grano de Oro las Palmas (LV) (Ustropept típico, Ustropept vértico, Ustropept típico). | Corresponde a las áreas con pendientes 7-12-25-50% y más. Susceptibles a la erosión o erosionadas. La unidad se encuentra localizada hacia el Norte-Noroeste de la zona de estudio, entre Bayunca, Arroyo de Piedra y Galerazamba. La mayor parte del área está en bosque primario o secundario.                                                                                                                                                                                                                          |
|  | Consociación Las Palmas (LP) (Ustropept típico)                                                            | Los suelos son derivados de material arcilloso que descansan sobre lutitas compactadas de la formación SABANA LARGA, Se localizan al Noreste, sobre todo en el sistema de colinas al este de Santa Catalina. Generalmente son suelos superficiales debido a la presencia de una capa compacta de arcillolitas; erosionadas y muy susceptibles a la erosión.                                                                                                                                                               |
|  | Consociación El Faro (EF) (Ustropept típico)                                                               | Susceptibles a la erosión ya que su material parental generalmente consiste en areniscas calcáreas, que descansan sobre material gravilloso y cascajoso, lo cual hace que los suelos presenten profundidad efectiva superficial. Drenaje natural excesivo.                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  | Consociación Katanga (KA) (Ustropept plíntico)                                                             | Suelos derivados de areniscas no calcáreas de grano fino, estratificadas con lutitas. Se ubican al Este de Pasacaballos en zonas limítrofes con los municipios de Turbaná y Turbaco y al NW de Bayunca. Son suelos superficiales generalmente por la presencia de plintita y sales sódicas que se incrementan con la profundidad. La textura pesada (arcilla) también es una limitante de la profundidad efectiva. Muy susceptibles a la erosión.                                                                         |
|  | Asociación Tigre Viejo Perfigia (TP) (Ustropept típico, Ustropept lítico)                                  | La irregularidad de las colinas se manifiesta por el alto grado de disección de las mismas. Los suelos están distribuidos hacia el NE de la zona y sirven de límite con los municipios de Santa Rosa y Villanueva. Se desarrollan a partir de materiales de lutitas y areniscas. Son suelos de profundidad efectiva muy superficial a moderadamente profunda, debido a la presencia de material parental en proceso de descomposición. Bien drenados y susceptibles a la erosión. De textura mediana y fina (arcillosos). |
|  | Consociación Caracolí (CA) (Ustropept fluvéntico)                                                          | Corresponde a los suelos desarrollados en los vallecitos entre colinas. El material parental consiste de aluviones recientes depositados en los valles, constituidos de arenas gravillosas de origen coluvial. La unidad se presenta principalmente al Sureste del corregimiento de Arroyo Grande.                                                                                                                                                                                                                        |
|  | Consociación María Espere (ME) (Ustropept típico)                                                          | Corresponde a los vallecitos entre colinas en que se desarrollan suelos de texturas medianas y moderadamente finas de los sedimentos coluvio aluviales. Químicamente son suelos normales y sin problemas de sales ni elementos tóxicos. El PO2O5 decrece gradualmente con la profundidad. Se localiza en cercanías de Bayunca, zona noroccidental dentro de las colinas de material calcáreo muy meteorizado, son estratificaciones de lutitas.                                                                           |
|  | Consociación Caimatal Malban (CM) (Ustropept típico, Ustropept fluvéntico)                                 | Corresponde a los vallecitos angostos entre colinas, continuación de la planicie de inundación ocasional. Son suelos arcillosos hasta una profundidad mayor de 100cm desarrollados en zonas con régimen údico o alta humedad, dada por la exuberancia de la vegetación. Son moderadamente profundas debido a las fluctuaciones del nivel freático y el alto porcentaje de texturas finas y muy finas. Bien drenados                                                                                                       |
|  | Asociación Ararca (Chromustert típico), Callao (Ustropept vértico), Santa Ana (Ustropept típico) (AC)      | Se presenta en áreas donde el material parental está formado por arcillas no calcáreas de la formación miopliocénica, que forman un paisaje de colinas, con pendiente de 1 a 50 %; erosión moderada a severa, los suelos son bien a moderadamente bien drenados.                                                                                                                                                                                                                                                          |

Fuente: CARDIQUE, 2005

### 3.2.3.1 Usos del suelo del AID Físico-Biótica

Se identificaron como principales usos el forestal, cuerpos de agua, que abarcan los ecosistemas acuáticos de la bahía de Cartagena, ciénaga Honda y el canal del Dique. El terreno del predio ya fue adecuado con relleno y nivelado. Otros usos identificados, en menor proporción, son el agropecuario que incluye zonas de pastizales y el de arenales. (Ver Figura 3.2.9).

### 3.2.3.2 Usos de la zona costera

De acuerdo con el POT de Cartagena (2001) la bahía de Cartagena por su condición de puerto natural y su ubicación estratégica, define el uso portuario como el más relevante. Esta actividad propicia el desarrollo turístico, industrial y comercial de la ciudad y favorece las actividades recreativas de la población. Por sus características, la bahía de Cartagena es escenario de actividades de transporte marítimo internacional, nacional, cabotaje mayor y menor, turismo, pesca y deportes náuticos (CARDIQUE, 2005).

El suelo del territorio del ámbito de la Bahía ha sido dedicado a los usos propios de una ciudad que ha crecido alrededor de las actividades portuaria, turística e industrial, complementadas con actividades sociales e institucionales. El suelo está totalmente urbanizado, con la excepción de pequeñas porciones del territorio ubicadas al SE del centro poblado de Pasacaballos y en Membrillal, y las islas de Tierra Bomba y Barú. Hoy los procesos territoriales y las tendencias en curso se caracterizan por la expansión de la actividad industrial y portuaria, la densificación residencial y el desarrollo turístico (CARDIQUE, 2005).

Las actividades portuarias e industriales se han ubicado a lo largo de la margen al este de la bahía, entre la isla de Manga cruzando el sector del Bosque hasta el extremo sur de Mamonal. En la bahía interna hay dos terminales de carga general, el muelle turístico y un terminal especializado en productos químicos (Algranel). Siguiendo desde el Bosque hasta Pasacaballos hay 56 terminales con diversos tipos de actividades portuarias comerciales e industriales. Las actividades industriales están al este de la bahía: la industria liviana, desde el Bosque hasta el sector de Bella Vista, junto al barrio de Albornoz. A partir de este sector se ubica la industria mediana bordeando hacia el sur las lomas de Albornoz y la industria pesada, desde el extremo sur de estas lomas hasta el límite sur del perímetro urbano (POT Cartagena, 2001).

En general la industria pesada ocupa un espacio del territorio que la separa de los otros usos urbanos, conformando una zona industrial con características homogéneas. En la zona de industria mediana hay núcleos urbanos asentados algunos hace más de 20 años. Por otro lado, los suelos de la isla de Barú, según criterios del Acuerdo 14/94, se incorporan como suburbanos para desarrollos turísticos y recreacionales de tipo ecológico, predominando la conservación de las características naturales, ambientales y paisajísticas, acogiéndose en lo pertinente a la Ley 99/93 y sus decretos reglamentarios y normas reglamentarias nuevas o que las sustituyan. Igualmente los proyectos deberán en su fase inicial ser autosuficientes en la provisión de los servicios públicos, hasta cuando el sistema del Distrito de cobertura en la zona y se puedan integrar.

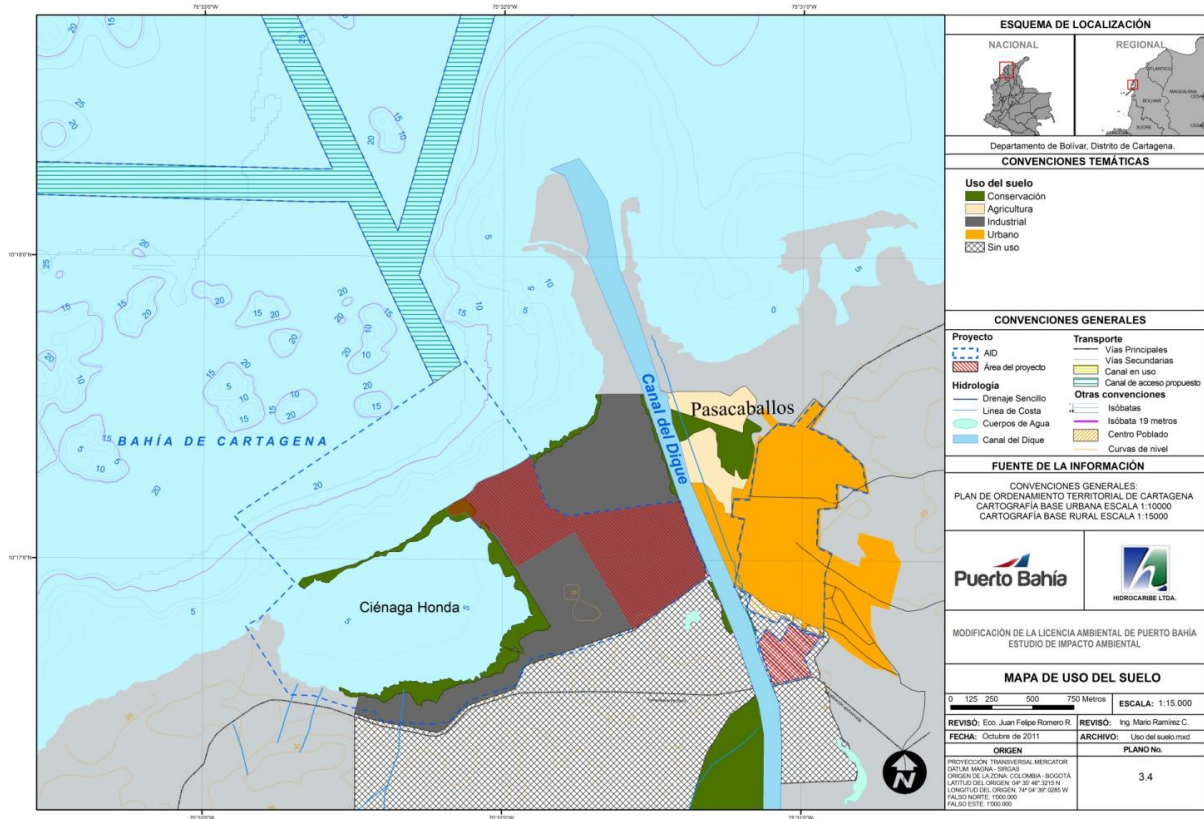
En la Tabla 3.2.16 se pueden observar el tamaño de unidades de usos del suelo en el área de influencia indirecta del proyecto.

### 3.2.3.3 Tendencias de ocupación

Según el POT (2001) en la zona de estudio se observan las siguientes tendencias de ocupación del suelo de acuerdo con las actividades económicas predominantes.



Figura 3.2.9. Uso actual del suelo en el área de influencia



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011

Tabla 3.2.16. Tamaño de unidades de usos del suelo en la Franja Costera de la Bahía de Cartagena.

| USOS                               | Bahía de Cartagena |
|------------------------------------|--------------------|
| Agricultura                        | 09,30              |
| Camaroneras                        | 65,47              |
| Ganadería                          | 125,73             |
| Ind. Camaroneras                   | 0,00               |
| Pesca Artesanal                    | 8,36               |
| Sin uso                            | 398,66             |
| Turismo                            | 0,00               |
| Vegetación Abierta Sin Uso Directo | 1.784,22           |
| Zona Urbana Uso Mixto              | 5.266,10           |
| <b>Totales</b>                     | <b>7.957,84</b>    |

Fuente: POT de Cartagena 2001

**Industria.** Las fuerzas de concentración espacial de la industria son mucho más intensas que en otras ciudades del país. Según Cuervo González, la industria latinoamericana nace con una característica explicativa de su mayor grado de concentración espacial: la amplia brecha entre talla óptima y real de la producción. La amplitud de esta diferencia implica que desde una sola ciudad, una sola empresa o un número muy reducido de ellas, se puede aprovisionar el mercado nacional completo. Por ejemplo la

actividad petroquímica ubicada en la Zona Industrial de Mamonal. Se conforma así una estructura industrial altamente mono u oligopolizada, con una orientación espacial fuertemente concentrativa.

**Puerto.** Esta actividad destaca, por encima de todo, su carácter como núcleo dinamizador de la economía regional. Sin duda, el privilegio de disponer de estas infraestructuras en el litoral cartagenero, posibilita que se generen una serie de valiosas relaciones económicas sustentadas en los flujos marítimos que tienen lugar en ellas, que contribuyen positivamente al progreso del tejido productivo local y al desarrollo económico de su hinterland, ejerciendo a su vez, un potente “efecto impulso” sobre otras actividades.

**Turismo.** La actividad turística ha especializado a la ciudad, principalmente por el empleo que genera: 28% del empleo total y participa con el 20% del PIB departamental. En la zona de estudio se consolidan áreas de servicio al turismo como el Muelle Turístico Internacional y los fuertes de Bocachica. La consolidación de esta tendencia sobre la bahía de Cartagena exige la construcción e implementación efectiva de políticas de uso sostenible sobre las variables ambientales del ecosistema.

De acuerdo con el POT (2001), en Barú y en la isla de Tierra Bomba además de los usos residenciales de los centros poblados y de los usos rurales de producción, en las áreas suburbanas a urbanizar se permitirán los siguientes usos: En Barú a donde pertenecen los poblados de Ararca y Santana, los usos para proyectos turísticos, vivienda campestre, marinas y para Tierra Bomba, a la que pertenecen Bocachica, Caño del Oro, Tierra Bomba y Punta Arena, estarán permitidos los Proyectos turísticos, vivienda campestre, parques arqueológicos y marinas.

### 3.2.3.4 Conflictos de uso

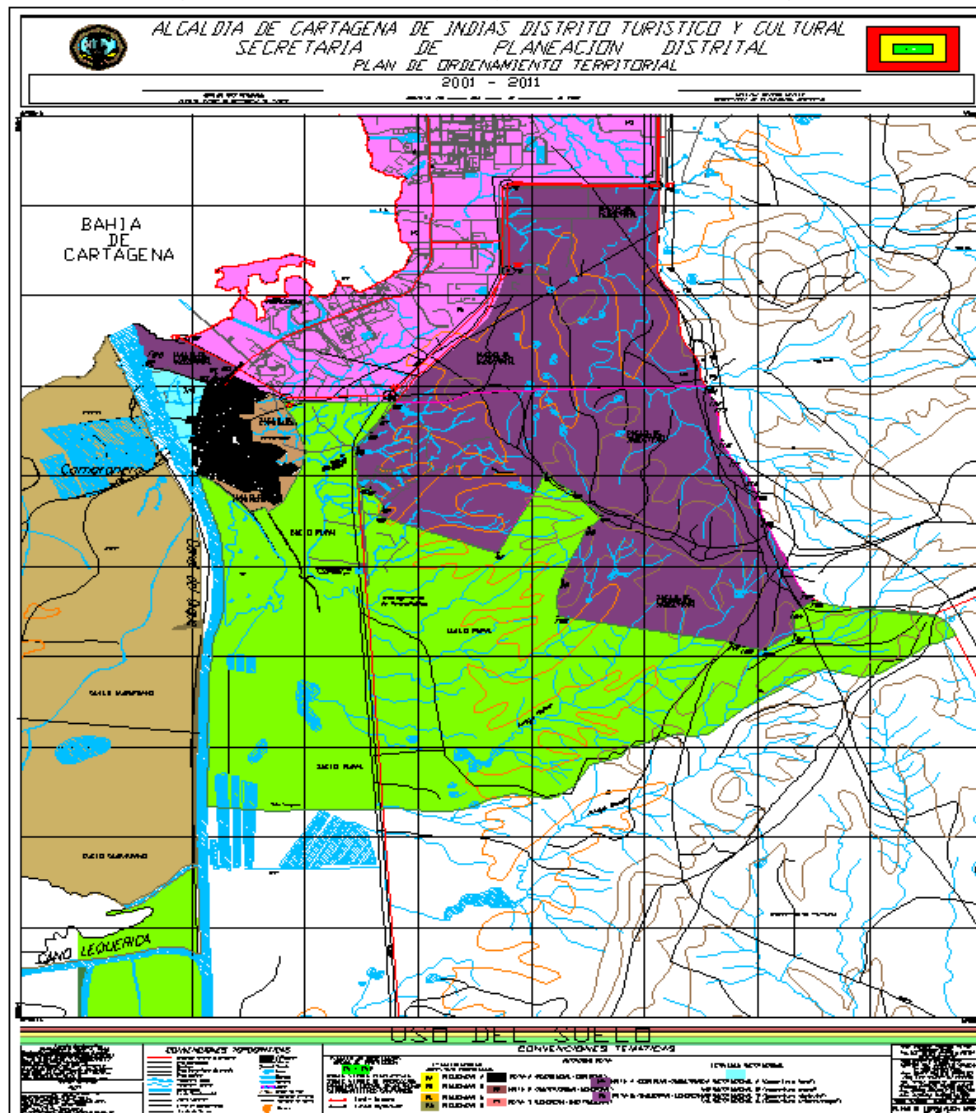
Conforme al acuerdo No. 033 de Octubre 3/2007, el cual modifica excepcionalmente el Decreto Distrital No. 0977 de 2001 que reglamentó el Plan de Ordenamiento Territorial de Cartagena, el área de estudio hace parte de la Centralidad Portuaria Multimodal y establece como usos: Actividades Portuarias 2 y 3 e Industrial 3, los cuales permitirán articular los suelos de expansión industrial con el comercio internacional (ver Figura 3.2.10, la cual corresponde al plano generado en la Modificación del POT de Cartagena). Teniendo en cuenta el uso del suelo establecido en el acuerdo No 033 de Octubre 3 de 2007, el área de influencia directa del proyecto de la Sociedad Portuaria Puerto bahía no presenta ningún conflicto de uso del suelo.

## 3.2.4 Hidrología

El recurso hídrico de la zona de estudio está formado por las aguas marítimas de la bahía de Cartagena, y afluentes de microcuencas de la parte continental (Figura 3.2.11 y anexo Cartográfico). En este último sector, se establece un sistema de características no permanentes debido a que muchos de estos afluentes sólo se restablecen durante la época de invierno (CARDIQUE & A.G.D, 2006). Las aguas marítimas de la bahía de Cartagena han sido analizadas en el Capítulo de Calidad del Agua.

Las aguas continentales están conformadas por los afluentes de las microcuencas localizadas en la vertiente que da a la bahía de Cartagena y por el canal del Dique. Se hace énfasis en la descripción de sus regímenes de niveles y caudales líquidos y en los caudales sólidos que son transportados hasta la bahía de Cartagena. La caracterización físico, química y bacteriológica de los cuerpos de agua de la zona, se realiza para la bahía de Cartagena y el canal del Dique, ya que son los únicos cuerpos de agua presentes en la zona del Proyecto y se describen a continuación en el ítem de Calidad del Agua.

Figura 3.2.10. Modificación Mapa uso del suelo POT Cartagena



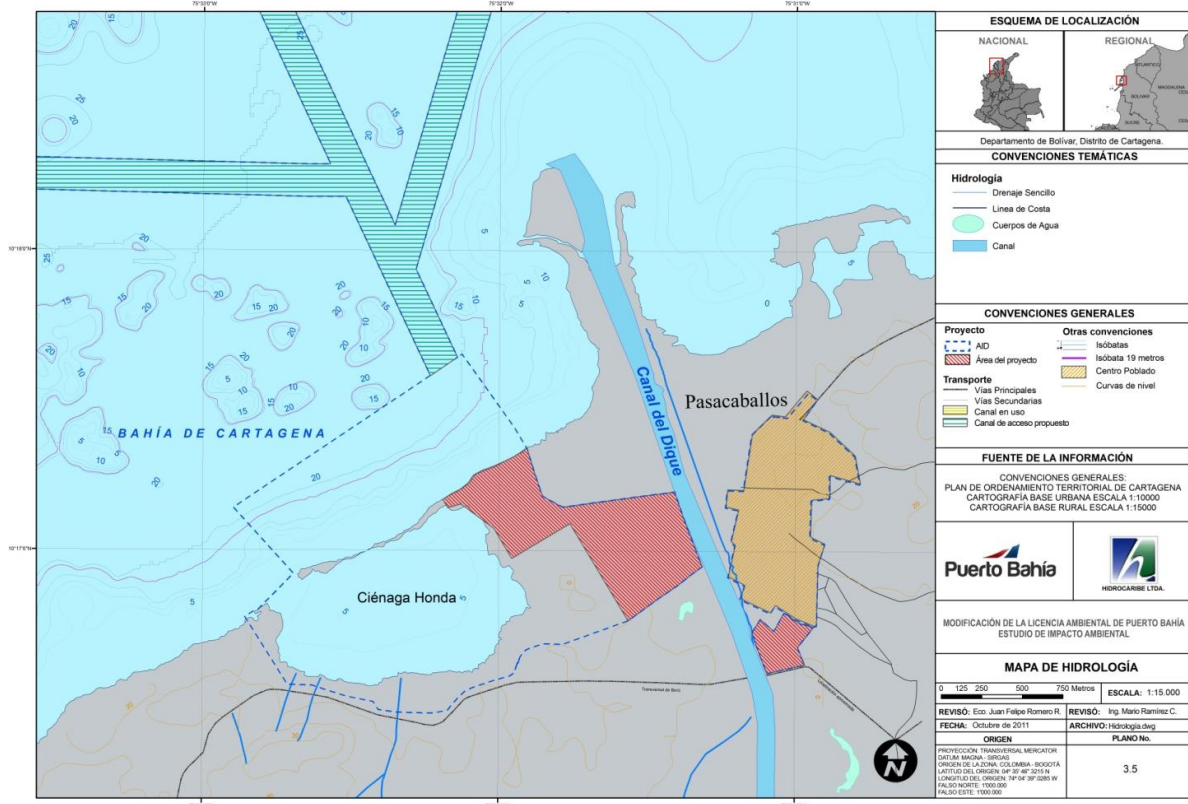
Fuente: Acuerdo No. 033 de Octubre 3/2007-Modificación POT Cartagena.

### 3.2.4.1 Vertiente de la bahía de Cartagena

Esta vertiente comienza en el sector de El Laguito, con una zona muy baja en donde existen problemas para drenar el agua lluvia; las obras que se han construido no cuentan con pendientes adecuadas y las estructuras se colmatan con arena de la playa. En el barrio de Castillogrande los terrenos son muy planos y la divisoria no es muy clara pero se puede decir que está constituida por la Avenida Piñango o calle 5A y están canales que drenan la zona a ambos lados de la península. Parte del sector de Bocagrande y la Base Naval también drenan a la bahía (Ramírez. M, 2004)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> RAMIREZ. M. *Desarrollo de gestión y lineamientos para el diseño del plan maestro de drenajes pluviales de Cartagena de Indias*. EDURBE. 2004

Figura 3.2.11 Hidrografía en el área de la Bahía



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011

En el sistema insular están los sectores de Getsemaní, Manga y su zona portuaria. Después del Puente de Bazurto sigue hacia el sur todo el sector de El Bosque y las zonas residencial e industrial y portuaria hasta el canal de Ceballos y continúa bordeando la zona industrial de Mamonal hasta Pasacaballos, junto al canal del Dique. Hasta el canal Ceballos existen pocos canales definidos y la mayor parte de la escorrentía fluye por las calles que dan hacia la bahía; algunas estructuras se han construido para drenar la escorrentía de los barrios El Campestre, El Milagro, Almirante Colón, La Campiña y el Nuevo Bosque y para manejar las descargas en el cruce con el corredor de carga (Ramírez. M, 2004).

En la zona industrial de Mamonal las empresas instaladas han construido sus propios canales de drenaje para manejar los arroyos (conocidos como *arroyos de invierno*) que provienen en su mayoría de la serranía de Turbaco. Entre estos arroyos se cuentan el Cospique, Casimiro y Ay. Grande, que han sido canalizados a su paso por la zona industrial y de los cuales sólo se tiene referencia del caudal máximo debido a que este parámetro es el de mayor interés para el control de las inundaciones en el sector. El caudal máximo para un período de retorno de 100 años es de 87,2 m<sup>3</sup>/s para el Ay. Cospique o Arroz Barato<sup>6</sup>, de 118 m<sup>3</sup>/s para el Ay. Casimiro<sup>7</sup> y 127 m<sup>3</sup>/s para el Ay. Grande, el cual atraviesa los predios de ECOPETROL en Cartagena<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> HIDROCARIBE LTDA. *Evaluación de riesgos naturales en el área de los barrios Policarpa, Arroz Barato y Puerta de Hierro*. Secretaría de Planeación Distrital de Cartagena. 2008.

<sup>7</sup> RAMÍREZ. M. *Estudio de drenajes pluviales para el proyecto Zona Franca La Candelaria*. CARINSA. 1997.

<sup>8</sup> CARINSA. *Diseño hidráulico del arroyo Grande en predios de ECOPETROL*. ECOPETROL.1994



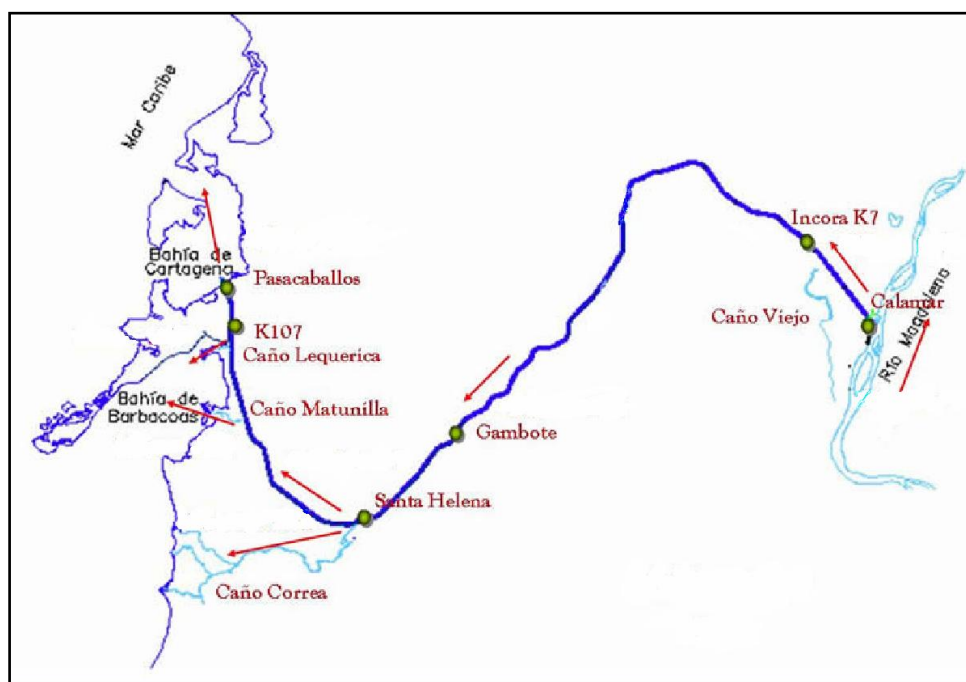
### 3.2.4.2 Hidrología del Canal del Dique

Para la Hidrología del canal, se empleó la información diaria de niveles y caudales medios, disponible en ocho estaciones limnimétricas y limnigráficas, las cuales se reportan en el Capítulo 1- Generalidades.

- **Localización del canal**

El canal del Dique se deriva del río Magdalena en la población de Calamar, a unos 110 Km aguas arriba de la desembocadura del río en Bocas de Ceniza (Universidad del Norte, 2003). En su primer tramo sirve de límite entre los Departamentos de Bolívar y Atlántico, luego cruza el Departamento de Bolívar y, finalmente, desemboca a través de los siguientes brazos en el mar Caribe. (Figura 3.2.12)

Figura 3.2.12 Trazado del Canal del Dique



Fuente: Adaptado de Universidad Nacional (2002)

- **Brazo principal del canal:** tiene unos 117 km de recorrido y desemboca en el costado sureste de la bahía de Cartagena, junto a la población de Pasacaballos.
- **Caño Correa:** se deriva del brazo principal del canal en el K 82+500; tiene una longitud de 31 km desemboca en mar abierto por varias bocas, entre ellas, la boca de Luisa.
- **Caño Matunilla:** tiene una longitud de unos 6 Km; se deriva por la margen izquierda del canal en el K100 y desemboca en la bahía de Barbacoas.
- **Caño Lequerica:** se deriva también por la margen izquierda en el K108, desembocando en la bahía de Barbacoas luego de unos 4 Km de recorrido.

A lo largo del canal del Dique existen una serie de ciénagas que integran un sistema asociado que se conecta con el canal mediante caños, conformado, por la margen izquierda, por las ciénagas de Los Negros, Hobo, Capote, Tupe, Zarzal, Matuya, María La Baja y Palotal y, por la margen derecha, por las ciénagas de Luisa, Aguas Claras y Juan Gómez; de esta última se abastece el acueducto de Cartagena, la cual es llenada desde el canal con equipo de bombeo (Conservación Internacional, 2007).

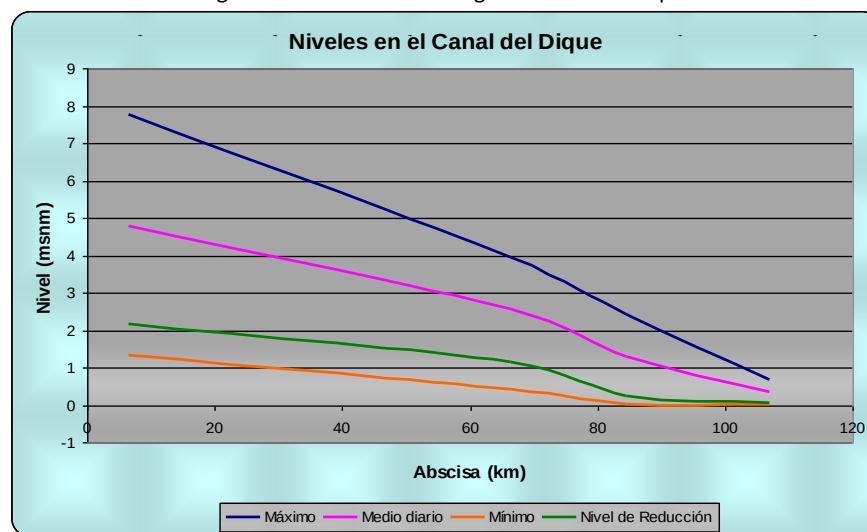
#### • Régimen de niveles en el canal

Por ser una derivación del río Magdalena, el régimen de niveles del canal del Dique está controlado por el régimen de niveles presente en el río en la población de Calamar. Las variaciones de este régimen se van haciendo menores a medida que se acerca a sus desembocaduras (mar abierto y bahías de Cartagena y Barbacoas), en donde la variación de niveles está controlada por el nivel del mar.

#### Niveles

Para el control de los niveles se han instalado una serie de estaciones limnimétricas a lo largo del canal; las más permanentes las opera IDEAM (INCORA K7, Gambote, Santa Helena 2 y K 107). En Calamar, los niveles varían entre 1,5 y 8,5 msnm. En la zona de las desembocaduras la variación de niveles depende de la amplitud de las mareas marinas, cuyo valor máximo es del orden de 0,60 m (Uninorte, 2003). Los niveles van descendiendo a lo largo del canal, según los registros de las estaciones antes mencionadas (Figura 3.2.13 ); de acuerdo con Uninorte (2003)<sup>9</sup>, en INCORA K7 los niveles en el canal han alcanzado la cota máxima de 7,78 msnm y la cota mínima de 1,32 msnm; el nivel de reducción tiene una cota de 2,16 msnm. Se observa para el tramo inferior del canal, en las épocas de aguas bajas, que los niveles mínimos están altamente influenciados por el rango de mareas en los estuarios.

Figura 3.2.13 Niveles a lo largo del canal del Dique



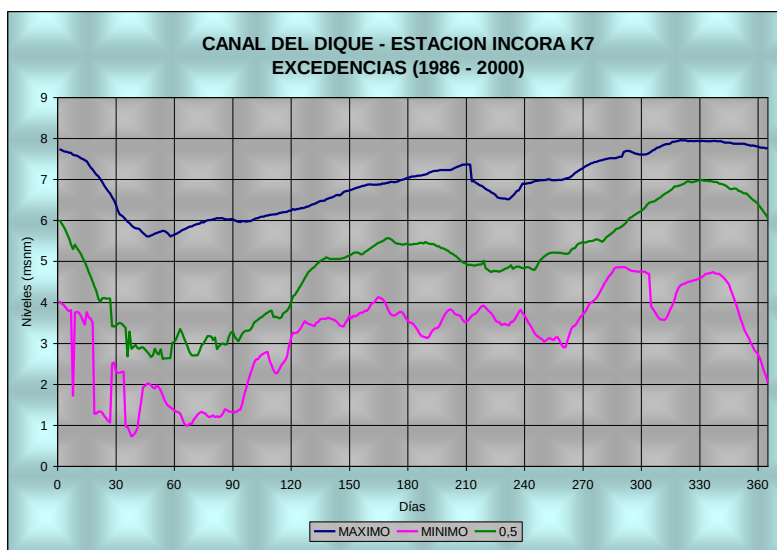
Fuente: Datos tomados de Universidad del Norte, 2003

<sup>9</sup> Universidad del Norte. Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores. *Río Magdalena y Canal del Dique. Caracterización hidrosedimentológica y geométrica*. CORMAGDALENA. 2003



El comportamiento típico de los niveles dentro del año presenta un período de aguas bajas que va desde mediados de enero hasta finales de abril; entre junio y julio se presenta un período de aguas medias, con algún descenso a finales de junio conocido como el *veranillo de San Juan*; finalmente, se presenta un período de aguas altas que va de septiembre a diciembre, alcanzando los niveles máximos generalmente en noviembre. En la Figura 3.2.14 se muestran los niveles de duración de los niveles máximos, mínimos y del 50% para la estación INCORA K7. Este comportamiento de los niveles dentro del año se va atenuando a lo largo del canal hasta que se vuelve casi plano, con ondulaciones no mayores de 1,0 metro de altura, en su desembocadura principal en Pasacaballos. De acuerdo con Universidad Nacional (2007) la pendiente de la superficie del agua varía entre 0,000073 y 0,000017.

Figura 3.2.14 Niveles de excedencias en INCORA K7



Fuente: Universidad del Norte, 2003

La estación representativa del bajo canal del Dique es K107. De acuerdo con Universidad Nacional (2007)<sup>10</sup>, registra muy poca variación de los niveles durante el año, pero se pueden apreciar diferencias según la época; en el período seco los niveles mínimos llegan en promedio hasta -0,1 msnm y los máximos hasta 0,45 msnm. En el período húmedo los niveles promedios mínimos son de 0,2 msnm y de 0,7 msnm para los máximos. Su curva de duración de niveles diarios (Figura 3.2.15) indica que la mayor parte del tiempo (95% del tiempo) los niveles superan 0,0 msnm y solamente superan los 0,6 msnm durante menos del 5% del tiempo. El nivel medio corresponde a 0,29 msnm (Universidad Nacional, 2007).

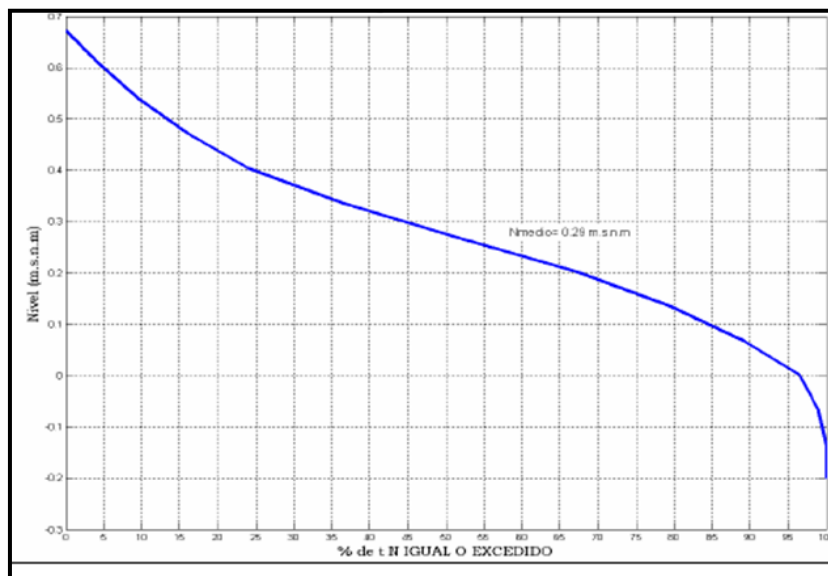
<sup>10</sup> Universidad Nacional. Laboratorio de Ensayos Hidráulicos. *Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique. Informe Principal*. CORMAGDALENA. 2007.

## Mareas en Pasacaballos

Las mareas del mar Caribe que hacen sentir su influencia en las desembocaduras del canal del Dique son del tipo semidiurnas, no regulares, en las que se presenta una onda de pleamar seguida de una de bajamar y después otro ciclo igual pero de menor magnitud; en ocasiones este pequeño ciclo secundario no ocurre. De acuerdo con Uninorte (2003) la amplitud media multianual de la carrera de mareas, es del orden de los 0,30 m. (oscilación del nivel a partir del nivel medio).

Universidad de Cartagena (2002) preparó una modelación del oleaje en la bahía de Cartagena<sup>11</sup> con base en el Módulo Hidrodinámico (HD) del MIKE 21, considerando su influencia con el Módulo Nearshore Spectral Wave (NSW) para observar el comportamiento de la corriente por la interacción de viento - oleaje. Además de la simulación de las corrientes de marea entrante y saliente, los resultados incluyeron una modelación de los niveles de marea teóricos que se pudieran presentar en varios puntos de la bahía de Cartagena, los cuales fueron comparados con valores de mareas medidos en esos mismos puntos con el objeto de calibrar el modelo. El punto de interés para el presente informe es Pasacaballos, en donde la modelación y la medición de niveles de marea se realizaron para los días 6 al 13 de marzo/2002 (Figura 3.2.16 ) y se observa que las diferencias entre los niveles medidos y calculados no superan los 12 cm.

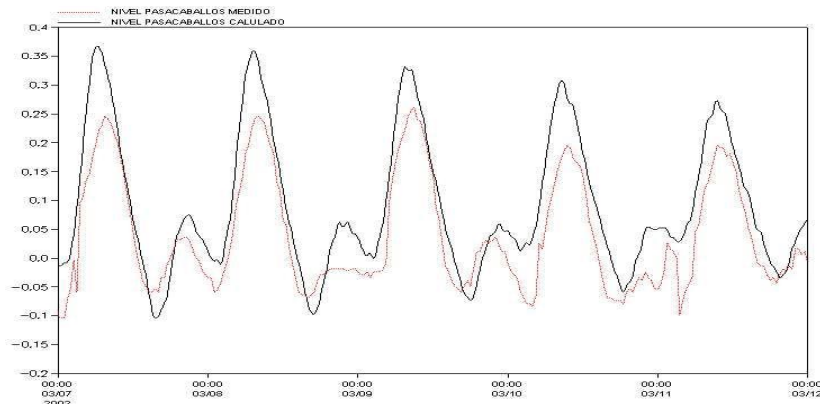
Figura 3.2.15 Curva de duración de niveles diarios en la estación K107



Fuente: Universidad Nacional, 2007

<sup>11</sup> Universidad de Cartagena. *Estudios, diseños conceptuales de ingeniería y pliegos de licitación para el plan de restauración ambiental de los ecosistemas degradados del área de influencia del bajo canal del Dique*. Convenio Interadministrativo No. 13-10984. CORMAGDALENA. 2002.

Figura 3.2.16 Niveles medidos y calculados en Pasacaballos



Fuente: Universidad de Cartagena, 2002

- **Régimen de caudales**

Antes de evaluar el régimen de caudales, vale la pena destacar que las últimas grandes obras de rectificación y dragado del canal se realizaron entre 1982 y 1984. Con estas obras se amplió la sección de flujo, pasando el ancho de fondo del canal de 45 a 65 metros y se aumentó la profundidad, de 2,4 a 2,5 metros por debajo del nivel de reducción (NR), con dragado a la cota -3,0 por debajo del NR para seguridad de las embarcaciones y para acomodar futuras depositaciones de sedimentos en el fondo. Esta nueva sección dio lugar a un aumento en los caudales líquidos que transitan por el canal a los mismos niveles que antes se registraban y, por lo tanto, un aumento en los caudales sólidos, esto es, sedimento de fondo y en suspensión, que descarga el canal en las desembocaduras, entre ellas, la bahía de Cartagena (Conservación Internacional, 2007)<sup>12</sup>.

El análisis de los caudales considera solamente los registros y estudios sobre la situación hidrológica luego de las obras culminadas en 1984. Los caudales del canal del Dique van disminuyendo a medida que se llega al mar, debido a la interacción con los sistemas cenagosos asociados, en donde el canal aporta agua a las ciénagas durante las épocas de aguas medias y altas. Las estimaciones de Universidad de Cartagena, 2002, (Tabla 3.2.17) indican que las pérdidas de caudal del canal entre INCORA K7 y Pasacaballos son importantes, pasando de 491 m<sup>3</sup>/s de caudal medio en la entrada del canal de Calamar, a 138 m<sup>3</sup>/s en la salida a la bahía de Cartagena por Pasacaballos.

Tabla 3.2.17. Variación de caudales. Sector Calamar – Pasacaballos

| Estación       | Promedio anual (m <sup>3</sup> /s) |       |       | Máximos y mínimos absolutos (m <sup>3</sup> /s) |       |
|----------------|------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------|-------|
|                | Q medio                            | Q max | Q min | Q max                                           | Q min |
| Incorta K7     | 491                                | 781   | 294   | 1205                                            | 89    |
| Gambote        | 459                                | 705   | 296   | 1091                                            | 75    |
| Santa Helena 2 | 346                                | 519   | 217   | 584                                             | 181   |
| K107           | 138                                | 220   | 45    | 220                                             | 45    |

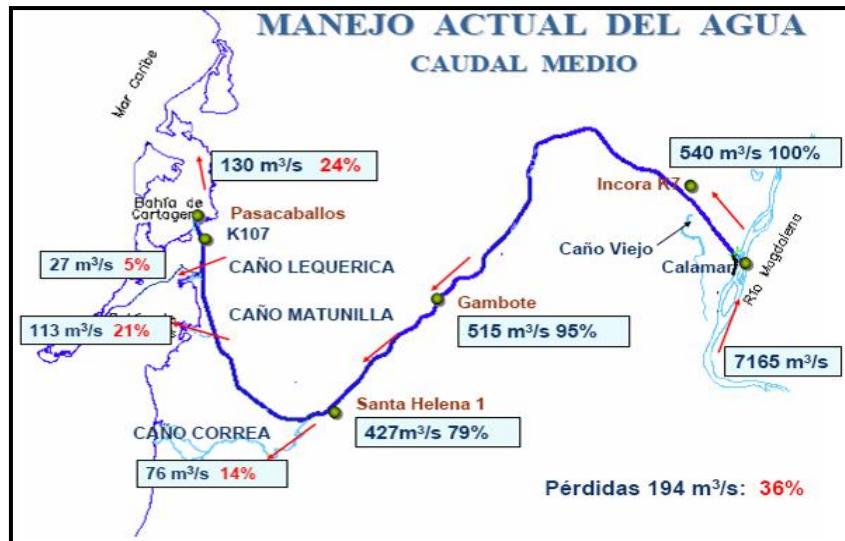
Fuente: Universidad de Cartagena, 2002

<sup>12</sup> Conservación Internacional. *Plan de Ordenación de la cuenca hidrográfica del canal del Dique*. CARDIQUE. 2007.

Por su parte, Universidad Nacional (2007), plantea un esquema de distribución de caudales a lo largo del canal del Dique, mediante el cual por Calamar se derivan en promedio  $540 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 3.2.17), con pérdidas en el sistema cenagoso del orden del 36% (un 24% entre Calamar y la derivación del caño Correa y un 12% entre Correa y la derivación del caño Matunilla), el 14% se deriva por el caño Correa, el 26% se deriva por los caños Matunilla y Lequerica hacia la bahía de Barbacoas y el 24% restante llega a la bahía de Cartagena por Pasacaballos.

Para el bajo canal del Dique, Universidad Nacional (2007) extendió las series de caudales que generó con su modelo matemático para los años 1988-1991 al período 1984-2000; a partir de las curvas de duración de caudales diarios de las estaciones Santa Helena 1 y Santa Helena 2; con este procedimiento determinó caudales medios diarios para porcentajes de tiempo representativos en los caños Correa, Matunilla y Lequerica y en Pasacaballos (Tabla 3.2.18). Se destacan en Pasacaballos los caudales máximos, que son superados el 5% del tiempo, son del orden de los  $273 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que los mínimos, que son superados el 100% del tiempo, son del orden de los  $31 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los caudales del 50% del tiempo corresponden a  $158 \text{ m}^3/\text{s}$  y los caudales medios son de  $164 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Figura 3.2.17. Distribución de caudales en el canal Dique



Fuente: Universidad Nacional, 2007

Tabla 3.2.18. Caudales medios diarios en el bajo canal del Dique. Período 1984-2000

| %     | Caudales ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |              |              |              |
|-------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|       | C. Correa                          | C. Matunilla | C. Lequerica | Pasacaballos |
| 5     | 99                                 | 228          | 50           | 273          |
| 25    | 92                                 | 169          | 37           | 210          |
| 50    | 81                                 | 121          | 26           | 158          |
| 75    | 68                                 | 77           | 16           | 107          |
| 95    | 43                                 | 35           | 7            | 57           |
| 100   | 22                                 | 17           | 3            | 31           |
| Medio | 80                                 | 125          | 31           | 164          |

Fuente: Universidad Nacional, 2007

- **Sedimentos**

El tamaño de las partículas que transporta el canal del Dique tienen, en general, una gradación que permite clasificarlas en una fracción fina, constituida por arcillas y limos, y una fracción gruesa constituida por las arenas (muy fina y fina). La granulometría de estas fracciones es la siguiente:

Fracción fina

Arcillas: 0.002 – 0.0040 mm  
Limo medio: 0.016 – 0.0320 mm  
Limo grueso: 0.032 – 0.0625 mm

Fracción gruesa

Arena muy fina: 0.0625 – 0.125 mm  
Arena fina: 0.1250 – 0.250 mm

La fracción fina es la *Carga de lavado*, compuesta por materiales erosionados en la cuenca, de granulometría muy fina y velocidad de asentamiento (caída libre del grano) inferior a la magnitud de las fluctuaciones turbulentas de la velocidad de la corriente por lo que siempre están en suspensión. La fracción gruesa es denominada *Carga del lecho* y está compuesta por materiales originados en el propio lecho (limos y arenas), de los cuales, parte se mueven por arrastre en el fondo y parte se mueve en suspensión, de disponibilidad limitada y en función del caudal del flujo (Unicartagena, 2002).

La Universidad Nacional (2007) distingue la carga de arenas del lecho (Qb arenas), la carga de arenas en suspensión (Qs arenas) y la carga de finos en suspensión (Qs finos). Con estos tres valores determina el caudal sólido total (Qs total) y el volumen depositable de materiales. Para Pasacaballos, el caudal sólido total que llega a la bahía de Cartagena es del orden de los 2 millones de toneladas al año (Tabla 3.2.19) y el volumen depositable alcanza los 1,3 millones de toneladas/año.

Tabla 3.2.19. Volúmenes de sedimento susceptibles de ser depositados en el canal del Dique

| Estación                 | Qs total<br>(Ton/año) | Qb arenas<br>(ton/año) | Qs arenas<br>(Ton/año) | Qs finos<br>(Ton/año) | Volumen<br>Depositabile<br>(m³/año) | Volumen<br>que pasa<br>(m³/año) |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Río Magdalena<br>Calamar | 151,265,526           | 16,292,220             | 34,205,683             | 100,767,623           | N.A.                                | N.A.                            |
| Incora k7                | 11,058,786            | 2,443,833              | 3,210,266              | 5,404,686             | 7,225,623                           | 2,702,343                       |
| Gambote                  | 10,203,258            | 1,450,000              | 2,014,771              | 6,738,487             | 6,141,060                           | 3,369,244                       |
| Santa Helena 1           | 7,468,394             | 1,450,000              | 1,196,850              | 4,821,544             | 4,528,252                           | 2,410,772                       |
| - Caño Correa            | 1,403,817             | 503,700                | 136,623                | 763,494               | 894,006                             | 381,747                         |
| Santa Helena 2           | 4,973,493             | 480,000                | 1,014,766              | 3,478,727             | 2,935,176                           | 1,739,364                       |
| - Caño Matunilla         | 1,707,777             | 535,500                | 427,079                | 745,198               | 1,142,663                           | 372,599                         |
| - Caño Lequerica         | 1,019,816             | 359,500                | 107,368                | 552,948               | 649,968                             | 276,474                         |
| Pasacaballos             | 2,014,394             | 420,000                | 679,932                | 914,461               | 1,337,176                           | 457,231                         |

Fuente: Universidad Nacional, 2007

Según Uninorte (2003) la concentración promedia de los sedimentos en suspensión en la estación Gambote es del orden de los 370 mg/l, de 460 mg/l en derivación del caño Correa, de 260 mg/l en la bifurcación del caño Matunilla y de 435 mg/l en Pasacaballos. El caudal sólido total que se ha registrado EN Pasacaballos varía entre las 370 y las 18.000 toneladas/día.

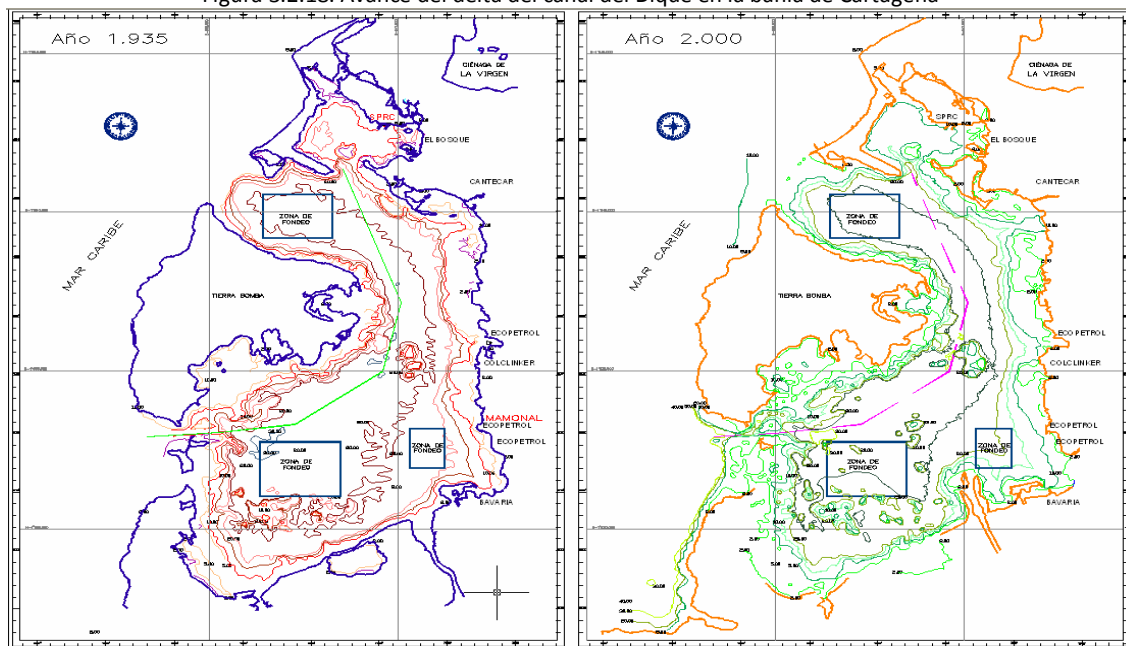


Como una consecuencia notable del incremento de caudales líquidos y sólidos a raíz de la ampliación de la sección del canal con las obras de 1981 – 1984, se observa un aumento en el transporte de sedimentos que llegan a la bahía de Cartagena y que se manifiesta en la prolongación del delta dentro de la bahía (Figura 3.2.18) en algo más de 2 km en los últimos 20 años, lo que ha llevado al Ministerio de Transporte a desarrollar un proyecto de ingeniería para controlar el transporte de sedimentos por el canal con la intención de frenar este avance del delta.

### 3.2.4.3 Cuña salina

Según las mediciones disponibles en Universidad Nacional (2007) para la condición actual, con caudales altos no se detecta influencia salina en ningún canal en el sistema; así se ha establecido para caudales de 270m<sup>3</sup>/s en Pasacaballos, 210 m<sup>3</sup>/s en Matunilla, 80 m<sup>3</sup>/s en Lequerica, 100 m<sup>3</sup>/s en Labarcé, 4 m<sup>3</sup>/s en Boca Cerrá, y 2 m<sup>3</sup>/s en Benítez. Con caudales más bajos, la cuña avanza hacia tierra firme; se ha detectado, por ejemplo, a una distancia de 475 m en Boca Cerrá y a unos 250 m en Benítez. La Boca de Labarcé, con 66 m<sup>3</sup>/s no registró cuña en superficie. En Matunilla con caudales de 182 m<sup>3</sup>/s avanzó 475 m en media profundidad, y en Lequerica 175 m, también a media profundidad para 60 m<sup>3</sup>/s. Generalmente, para caudales medios avanza entre 200 m y 300 m, en los caños, y hasta 500 m en el canal del Dique (Universidad Nacional de Colombia, 2007).

Figura 3.2.18. Avance del delta del canal del Dique en la bahía de Cartagena



Fuente: Universidad de Cartagena, 2002

Para caudales extremadamente bajos en el canal del Dique, del orden de 20 m<sup>3</sup>/s en Pasacaballos, el modelo de la Universidad Nacional indica una intrusión salina hasta el K55, un poco más arriba de Gambote, por lo que es muy importante garantizar obras de control en el canal que permitan siempre caudales superiores a los 35 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.5 Calidad del agua

Para el análisis de la calidad del agua se consideraron los estudios realizados por INVEMAR (2003), Universidad Javeriana (2007) y los realizados por INCOPLAN S.A (2008). Adicionalmente, y dado que se amplía el área del desarrollo portuario, Hidrocaribe en 2011 realizó muestreos en puntos estratégicos para complementar este numeral, tal como se describe en el Capítulo 1- Generalidades, dentro de la metodología y se muestran los diferentes puntos de muestreo.

La bahía de Cartagena y el área de influencia del canal del Dique son zonas que presentan elevados niveles de contaminantes a causa de los vertimientos domésticos e industriales que reciben. Adicionalmente, le llegan aportes de basuras y lixiviados, así como residuos de la actividad marítima y portuaria junto con los de agroquímicos que llegan por el canal del Dique o en los vertimientos directos a los cuerpos de agua (INVEMAR, 2003). Los efectos del vertimiento de las aguas servidas urbanas conjuntamente con el impacto hidráulico y los aportes sedimentológicos y orgánicos del canal del Dique, son actualmente los dos principales factores perturbadores de las condiciones de este cuerpo de agua, que originalmente era de características marinas (CARDIQUE, 2005).

#### 3.2.5.1 Campaña de INVEMAR (2003)

De acuerdo con los muestreos realizados por INVEMAR (2003) en la bahía de Cartagena se evidencian entradas significativas de nutrientes desde el canal de Dique, en estaciones cercanas a instalaciones industriales (Petroquímica Mamonal). Para el resto de la bahía los registros históricos de los parámetros fisicoquímicos están en rangos considerados *normales*. Sin embargo las fuentes de agua continental que ingresan a la bahía constantemente, pueden causar acumulación excesiva de nutrientes y otras sustancias que pueden ser nocivas al sistema acuático, como las anoxias reportadas para el fondo de la columna de agua (Garay & Giraldo, 1997).

En la estación de muestreo ubicada en el canal del Dique, a la altura de Barú, los valores de nitrógeno inorgánico estuvieron en el orden de 433µg/l y para el fósforo el valor más alto (105µg/l). El patrón de circulación de las aguas en la bahía, es lento pero cambia con las temporadas climáticas de la región. Históricamente, la bahía ha recibido influencia de los vertimientos industriales de la ciudad, sin embargo se han podido lograr avances en este sentido por la separación de los alcantarillados industriales y domésticos de la ciudad que ahora son liberados, en parte, por la ciénaga de la Virgen.

De igual forma las operaciones portuarias también tienen contribución en los vertimientos de la zona. Por último la entrada de aguas continentales provenientes del río Magdalena a través del canal del Dique (Tabla 3.2.20), hacen que las aguas de la bahía presenten las condiciones de un estuario del tipo de la Ciénaga Grande de Santa Marta, pero con profundidades superiores a los 15 m (INVEMAR, 2003).

Tabla 3.2.20 Cargas que aporta el canal del Dique a la bahía de Cartagena

| CAUDAL            | DBO   | SST     | NT    | PO4   | HDD    | OCT   | CFS              | CTT              | CD     | CR     | PB     |
|-------------------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|------------------|------------------|--------|--------|--------|
| m <sup>3</sup> /s | t/día | t/día   | t/día | t/día | Kg/día | g/día | NMP*1<br>011/día | NMP*1<br>011/día | Kg/día | Kg/día | Kg/día |
| 455,3             | 374,6 | 10743,6 | 17,7  | 0,7   | 171,12 | 1,18  | 3245             | 6097             | 140    | 41,1   | 2685,5 |

Fuente: INVEMAR, 2003

Los residuos de hidrocarburos son los contaminantes con mayor presencia en el agua, por el arribo de buques a la bahía, siendo responsables del 80% de las cargas contaminantes de petróleo. En la bahía los niveles en la época seca varían en el rango entre 1 y 5 ug/l; en la época de transición se presentan valores medios y altos debido al movimiento de buques, al canal del Dique y al vertimiento de los residuos industriales del sector de Mamonal y domésticos de la ciudad. Igual comportamiento se presenta en la época húmeda.

La contaminación microbiológica de la zona de la bahía ha reflejado que en Septiembre y Octubre se presenta una mayor contaminación por las aguas provenientes del canal del Dique, mientras en Noviembre el mayor efecto proviene de lluvias locales y aumento de descargas domésticas que provocan un descenso fuerte en la salinidad llegando a valores entre 7 y 16‰.

Así mismo ha habido un incremento paulatino de los episodios de eutrofización debido al exceso de nutrientes de origen antrópico, presencia de tóxicos (metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas), tanto en aguas como en los sedimentos y en muchos casos, en organismos de importancia comercial (INVEMAR 2003). De acuerdo con CARDIQUE, CRA & MAVDT (2002) en las aguas del canal del Dique y en la Taruya (*Eichhornia crassipes*), se ha reportado la presencia de metales pesados como lo son el mercurio, el cadmio y cobre.

Tomando como marco de referencia los valores de concentración normal de metales pesados en sedimentos y suelos, reportados por Salomons en 1984 (Tabla 3.2.21), se observa que todos los metales muestreados en el canal del Dique, están presentes en los sedimentos de las diferentes zonas evaluadas.

Tabla 3.2.21. Concentraciones de algunos metales pesados en sedimento

| ELEMENTO | REPORTE CONTENIDO NORMAL EN SEDIMENTOS | REPORTE MÁXIMO EN EL SISTEMA (%) |
|----------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Cobre    | 45                                     | 0,004                            |
| Cadmio   | 0,40                                   | 0,001                            |
| Mercurio | 0,35                                   | 0,00008                          |

Fuente: Salomons, 1984

El mercurio en Colombia no está regulado en sedimento, peces, ni plantas aunque sí para el consumo agua potable (Lozano 1996), siendo las máximas concentraciones de 0,001 mg/l. Según CARDIQUE, CRA & MAVDT (2002), en el agua analizada no se detectó trazas de mercurio, por lo que se considera que no ocasionaría problemas para las poblaciones humanas asentadas.

Para los sedimentos y tejidos vegetales se tomaron en cuenta algunos parámetros internacionales y otros estudios como Consultores (1999), Aula (1994) e INVEMAR (1997), donde se evidencia que los niveles son relativamente bajos. Igualmente, frente a otros criterios de calidad de países como Estados Unidos, Alemania y Japón, y según lo sugerido por Salomons (1984), se concluye que el nivel de Mercurio no fue alto, implicando que el ecosistema no presenta Hg en forma peligrosa. Los valores son inferiores a los reportados para zonas contaminadas como el río Magdalena y el San Jorge.

Al igual que el mercurio, el cobre fue detectado en todas las plantas muestreadas, así como en las muestras de sedimento y agua. Al comparar los resultados con otros realizados en el canal del Dique (HIMAT-INGEOMINAS 1991) los valores obtenidos son muy bajos (máximo 1,11µg/l). El estudio de HIMAT, analizó datos de la parte alta del canal y concluyó que los valores presentaron niveles por encima de los límites

permisibles para la vida silvestre acuática, con valores máximos de 35,7µg/l. En cuanto a las concentraciones de Cadmio en los tejidos de la Taruya (*Eichhornia crassipes*), son considerados como bajos (Moore & Ramamorthy, 1984, Quian *et al.*, 1999, Gallo, 1994), por lo que no representan peligro.

### 3.2.5.2 Campaña Pontificia Universidad Javeriana, 2007

En la Tabla 3.2.22 se exponen los resultados de los registros fisicoquímicos en el agua de los puntos muestreados en el mes de Julio de 2007, los cuales fueron determinados de forma simultánea a los de bentos y sedimentos.

Tabla 3.2.22. Determinaciones fisicoquímicas en el área de estudio

|                                        | E-1    | E-2    | E-3    | E-4    | E-5    | E-6    | E-7    | E-8    | E-9    | E-10   |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos (mg/l)             | 12,9   | 10,3   | 149,1  | 14     | 9,7    | 14,1   | 16,6   | 13,8   | 9,3    | 2,3    |
| Nitritos (ug/l)                        | 12,8   | 21,4   | 9,5    | 6,1    | 3      | 3,4    | 2,3    | 4,6    | 1,6    | 2      |
| Nitratos (ug/l)                        | 206,3  | 626,6  | 36     | 10     | 10,5   | 8,5    | 14,4   | 10,9   | 2,2    | 2      |
| Amonio (ug/l)                          | 112    | 141,6  | 5,3    | 9,6    | 1,8    | 0      | 0,2    | 2,4    | 17,1   | 1,9    |
| P-inorgánico (ug/l)                    | 46,4   | 51,2   | 43,1   | 17     | 28,2   | 56,4   | 17,3   | 160,9  | 60,9   | 0,9    |
| N-inorgánico (ug/l)                    | 137,6  | 258,2  | 15,2   | 11,6   | 4,7    | 3      | 4,1    | 5,8    | 14,3   | 5,9    |
| Transparencia (m)                      | 1      | 0,9    | 0,05   | 1      | 0,76   | 0,9    | 1,7    | 1      | 6      | 1      |
| Temperatura (oC)                       | 30,2   | 30,8   | 31,1   | 32,1   | 31,6   | 31,8   | 31,7   | 31,6   | 31,1   | 32,1   |
| Conductividad (uS/cm)                  | 25,27  | 18,14  | 0,14   | 25,95  | 21,34  | 21,36  | 34,89  | 24,65  | 39,6   | 15,8   |
| Salinidad (‰)                          | 18     | 12,4   | 0      | 18,4   | 15     | 15     | 25,5   | 17,4   | 29,4   | 10,7   |
| pH (ud)                                | 8,6    | 8,55   | 6,97   | 8,4    | 8,38   | 8,35   | 8,36   | 8,62   | 8,3    | 8,45   |
| Oxígeno disuelto (mg/l)                | 7,55   | 7,63   | 4,07   | 7,3    | 7,4    | 7,69   | 7,34   | 8,9    | 7,14   | 8,29   |
| Saturación de oxígeno (%)              | 101,5  | 105,4  | 54,7   | 100,2  | 101,3  | 103,4  | 99,8   | 123,4  | 97     | 113    |
| Cobre (ug/l)                           | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 | <0,161 |
| Hierro (ug/l)                          | 50,7   | 123,65 | 996    | 119,55 | 72,2   | 80,9   | 60,1   | 81,55  | 6,085  | 234,5  |
| Mercurio (ug/l)                        | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Zinc (ug/l)                            | 7,895  | 6,31   | 15,445 | 10,095 | 4,665  | 4,73   | 5,825  | 4,935  | 2,75   | 3,96   |
| Cromo (ug/l)                           | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 | <0,465 |
| Cadmio (ug/l)                          | 1,01   | 1,125  | 1,285  | 0,99   | 1,06   | 1,095  | 1,11   | 1,085  | 1,19   | 1,25   |
| Plomo (ug/l)                           | 23,46  | 25,35  | 27,5   | 25,35  | 25,15  | 25,5   | 26     | 27,6   | 27,15  | 27,5   |
| Coliformes totales (NMP/100ml)         | 2.200  | 2.200  | 54.000 | 110    | 920    | 350    | 540    | 49     | 350    | 1.100  |
| Coliformes termotolerantes (NMP/100ml) | 79     | 130    | 54.000 | 6,1    | 11     | 4,5    | <1,8   | <1,8   | 2      | 2      |
| DBO5 (mg/l)                            | 1,19   | 2,03   | 2,05   | 2,8    | 2,36   | 3,03   | 0,37   | 3,33   | 1,44   | 2,68   |

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

#### 3.2.5.2.1 Análisis de componentes principales (PCA)

El 71% de la información (Tabla 3.2.23) se expresa en los dos primeros componentes principales y el 83% en los tres primeros. Ello denota la existencia de un conjunto importante de correlaciones entre las variables estudiadas, tal como se ilustra en la

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Tabla 3.2.24 y en la Figura 3.2.19. De allí se reconoce en primer lugar, que existen tres grupos de variables significativamente correlacionadas de forma directa entre sí:

Tabla 3.2.23. Valores propios para el análisis de componentes principales

| COMPONENTE | VALOR EIGEN | VARIANZA | VARIANZA ACUMULADA |
|------------|-------------|----------|--------------------|
| 1          | 8,34        | 0,46     | 0,46               |
| 2          | 4,43        | 0,25     | 0,71               |
| 3          | 2,11        | 0,12     | 0,83               |
| 4          | 1,53        | 0,09     | 0,91               |
| 5          | 0,98        | 0,05     | 0,97               |
| 6          | 0,32        | 0,02     | 0,98               |
| 7          | 0,20        | 0,01     | 0,99               |
| 8          | 0,09        | 0,00     | 1,00               |
| 9          | 0,01        | 0,00     | 1                  |
| 10         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 11         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 12         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 13         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 14         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 15         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 16         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 17         | 0,00        | 0,00     | 1                  |
| 18         | 0,00        | 0,00     | 1                  |

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Tabla 3.2.24. Matriz de correlaciones entre las variables fisicoquímicas en el agua

|                 | S. Sus | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | P. ino | N. ino | Trans | Cond  | Salin | pH    | %Ox.  | Fe   | Zn   | Cd | Pb | CTot | C.Ter | DBO <sub>5</sub> |
|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|----|------|-------|------------------|
| S. Sus.         | 1      |                 |                 |                 |        |        |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| NO <sub>2</sub> | 0,16   | 1               |                 |                 |        |        |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| NO <sub>3</sub> | -0,10  | 0,93            | 1               |                 |        |        |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| NH <sub>4</sub> | -0,16  | 0,90            | 0,92            | 1               |        |        |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| P.inor          | -0,01  | 0,06            | 0,02            | 0,01            | 1      |        |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| N.inor          | -0,13  | 0,94            | 0,98            | 0,98            | 0,01   | 1      |       |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| Transp          | -0,30  | -0,33           | -0,16           | -0,08           | 0,08   | -0,13  | 1     |       |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| Condu.          | -0,71  | -0,36           | -0,15           | -0,03           | 0,09   | -0,11  | 0,72  | 1     |       |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| Salini          | -0,68  | -0,37           | -0,17           | -0,05           | 0,09   | -0,12  | 0,74  | 1,00  | 1     |       |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| pH              | -0,97  | -0,01           | 0,21            | 0,29            | 0,16   | 0,25   | 0,18  | 0,65  | 0,62  | 1     |       |      |      |    |    |      |       |                  |
| %Oxig.          | -0,90  | -0,15           | 0,08            | 0,09            | 0,32   | 0,08   | 0,10  | 0,53  | 0,49  | 0,94  | 1     |      |      |    |    |      |       |                  |
| Fe              | 0,96   | 0,17            | -0,08           | -0,17           | -0,11  | -0,12  | -0,39 | -0,83 | -0,80 | -0,94 | -0,84 | 1    |      |    |    |      |       |                  |
| Zn              | 0,85   | 0,37            | 0,05            | 0,05            | -0,15  | 0,05   | -0,50 | -0,66 | -0,64 | -0,77 | -0,79 | 0,82 | 1    |    |    |      |       |                  |
| Cd              | 0,55   | -0,11           | -0,09           | -0,24           | -0,12  | -0,16  | 0,14  | -0,46 | -0,43 | -0,63 | -0,46 | 0,65 | 0,15 | 1  |    |      |       |                  |



|                        | S. Sus | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | P. ino | N. ino | Trans | Cond  | Salin | pH    | %Ox.  | Fe   | Zn    | Cd    | Pb   | CTot  | C.Ter | DBO <sub>5</sub> |
|------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------------------|
| <b>Pb</b>              | 0,34   | -0,41           | -0,38           | -0,57           | 0,28   | -0,48  | 0,22  | -0,19 | -0,18 | -0,40 | -0,11 | 0,42 | -0,01 | 0,76  | 1    |       |       |                  |
| <b>Col.Tot</b>         | 0,99   | 0,19            | -0,06           | -0,12           | -0,05  | -0,09  | -0,30 | -0,75 | -0,72 | -0,97 | -0,90 | 0,98 | 0,83  | 0,60  | 0,35 | 1     |       |                  |
| <b>Col.Ter</b>         | 1,00   | 0,16            | -0,10           | -0,16           | -0,04  | -0,12  | -0,29 | -0,74 | -0,71 | -0,97 | -0,90 | 0,98 | 0,83  | 0,60  | 0,37 | 1,00  | 1     |                  |
| <b>DBO<sub>5</sub></b> | -0,05  | -0,11           | -0,16           | -0,28           | 0,38   | -0,22  | -0,35 | -0,39 | -0,41 | 0,07  | 0,29  | 0,06 | -0,04 | -0,04 | 0,29 | -0,05 | -0,03 | 1                |

En fondo azul se presentan las relaciones positivas significativas, y en verde las negativas.

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

**Grupo A:** Con los mayores niveles de coliformes totales, coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos y los metales hierro, zinc, cadmio y plomo.

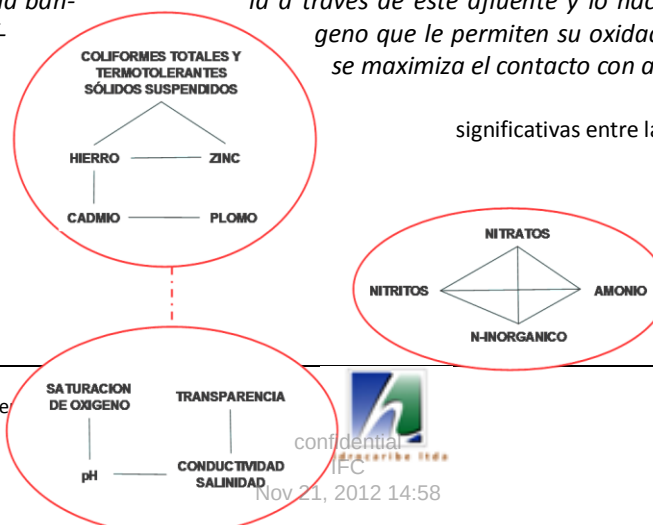
**Grupo B:** Con los mayores registros de conductividad, salinidad, transparencia, pH y oxígeno (%). Vale destacar que este grupo se relaciona de forma inversa con el anterior.

**Grupo C:** Con las mayores concentraciones en las especies de nitrógeno: nitritos, nitratos, nitrógeno inorgánico y amonio.

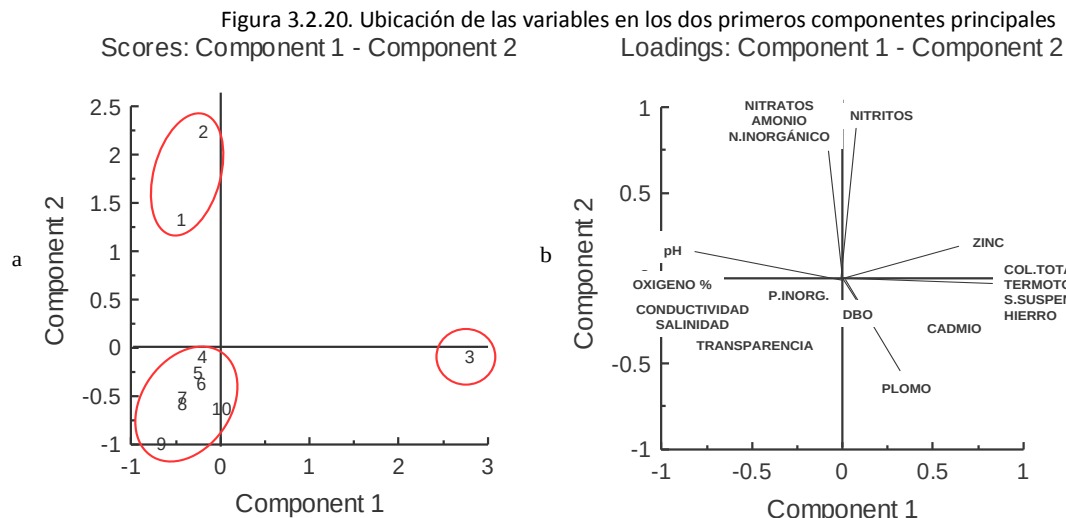
La Figura 3.2.20 exhibe la ubicación de las variables (a) y las estaciones (b) en los dos primeros componentes principales. Esta lectura simultánea indica que el grupo A se corresponde con la estación 3 (canal del Dique), y es este cuerpo de agua el que le incorpora tales contaminantes (metales y coliformes) a la bahía. De otro lado, las estaciones 1 y 2 sobre el costado SE de la bahía, se asocian al grupo C, es decir, muestran los mayores niveles de nitrógeno. Por último, las estaciones 4 a 10 sobre el costado SW muestran condiciones de menor contaminación, así como condiciones marinas reflejadas en las mayores: salinidad, transparencia, oxígeno y pH. La Tabla 3.2.25 presenta parámetros de referencia para aguas marinas en distintos países del mundo. Con base en ello se aprecia para el área de estudio lo siguiente:

- Los sólidos suspendidos superan los parámetros definidos para aguas marinas (Hawaii), situación que denota las condiciones de estuario del área de estudio.
- Los metales Cobre, Mercurio y Cromo se encuentran para todas las estaciones, por debajo de los niveles de detección en el laboratorio, lo que denota que no hay contaminación por estos metales en el área de estudio.
- El Zinc y el cadmio se encuentran por debajo de los parámetros de referencia en todas las estaciones, mostrando el primero los mayores niveles en el canal del Dique y en ciénaga Honda (área del proyecto).
- Los coliformes totales superan los valores de referencia en todas las estaciones con excepción de la 4 y la 8. Niveles alarmantemente altos se presentan en el canal del Dique donde se alcanzan 54000 NMP/100 ml.
- Los niveles de amonio son elevados en el SE de la bahía, aunque no alcanzan las concentraciones referidas por la EPA como causantes de toxicidad aguda en organismos. Por su parte los nitritos sobrepasan en poco más de veinte veces los niveles de agua para consumo humano y el principal nivel lo alcanza el canal del Dique. Ello indica que el nitrógeno se incorpora a la bahía a través de este afluente y lo hace en sus formas reducidas, pero encuentra niveles de oxígeno que le permiten su oxidación al interior de la Bahía y más se maximiza el contacto con aguas marinas.

Figura 3.2.19. Relaciones



La línea punteada denota relación inversa  
Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Tabla 3.2.25. Parámetros de referencia para CONTAMINANTES en agua

| PARAMETRO       | EPA*<br>13 | ANDALUCÍA <sup>14</sup> | ISRAEL <sup>15</sup> | HAWAII<br>16 | REINO<br>UNIDO <sup>17</sup> | COLOMBIA AGUA<br>DULCE CONSUMO |
|-----------------|------------|-------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| COBRE (µg/l)    | 3,1        | < 40                    |                      |              |                              |                                |
| CROMO (µg/l)    | 50         | < 75                    |                      |              |                              |                                |
| MERCURIO (µg/l) | 0,94       | < 0,2                   | < 0,16               |              |                              |                                |

<sup>13</sup> <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/wqcriteria.html>

<sup>14</sup> [http://www.ieo.es/publicaciones/boletin/pdfs/bol15/15\\_523-530.PDF](http://www.ieo.es/publicaciones/boletin/pdfs/bol15/15_523-530.PDF)

<sup>15</sup> <http://isramar.ocean.org.il/Report2.pdf>

<sup>16</sup> [http://www.nelha.org/about/seawater\\_data.html](http://www.nelha.org/about/seawater_data.html)

<sup>17</sup> [www.eastbourne.gov.uk](http://www.eastbourne.gov.uk)

| PARAMETRO                       | EPA*<br>13 | ANDALUCÍA <sup>14</sup> | ISRAEL <sup>15</sup> | HAWAII <sup>16</sup> | REINO UNIDO <sup>17</sup> | COLOMBIA AGUA DULCE CONSUMO |
|---------------------------------|------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| PLOMO (µg/l)                    | 8,1        | < 25                    | < 5                  |                      |                           |                             |
| ZINC (µg/l)                     | 81         | < 25                    | < 40                 |                      |                           |                             |
| CADMIO (µg/l)                   | 8,8        | < 2,5                   | < 0,5                |                      |                           |                             |
| pH                              |            |                         |                      | 8,3                  |                           |                             |
| OXÍGENO (mg/l)                  |            |                         |                      | 6,87                 |                           |                             |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)      |            |                         |                      | 0,88                 |                           |                             |
| COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ml) | 200        |                         |                      |                      | < 10.000                  |                             |
| AMONIO                          | 1.100      |                         |                      |                      |                           |                             |
| FÓSFORO                         | 0,1        |                         |                      |                      |                           |                             |
| AMONIO (toxicidad)              | > a<br>200 |                         |                      |                      |                           |                             |
| NITRATOS                        |            |                         |                      |                      |                           | 10                          |
| NITRITOS (D.1594/84)            |            |                         |                      |                      |                           | 1                           |

\*Como toxicidad crónica.  
Fuente: Diversas normas

### 3.2.5.3 Campaña de INCOPLAN, 2008

Los resultados obtenidos en los muestreos realizados en diciembre de 2008, complementan la línea base ambiental y brindan una herramienta para llevar a cabo los seguimientos que se realizarán posteriormente y evaluar los posibles cambios ocasionados por el proyecto.

En la Tabla 3.2.26 se presentan los resultados obtenidos del muestreo realizado en los tres cuerpos de agua evaluados (ciénaga Honda, bahía de Cartagena y canal del Dique).

Tabla 3.2.26. Resultados de calidad de agua, muestreo de diciembre 17 de 2008

| MATRIZ         | PARAMETROS     |                  | UNIDADES | LIMITE DETECCION | ESTACIONES    |       |                    |       |             |
|----------------|----------------|------------------|----------|------------------|---------------|-------|--------------------|-------|-------------|
|                |                |                  |          |                  | Ciénaga Honda |       | Bahía de Cartagena |       | Canal Dique |
|                |                |                  |          |                  | E1            | E4    | E2                 | E3    | E5          |
|                |                |                  |          |                  | 67659         | 67662 | 67660              | 67661 | 67663       |
| AGUA ESTUARINA | De Campo       | Hora             | Hora     | -                | 12:15         | 11:45 | 11:45              | 14:05 | 16:45       |
|                |                | Temperatura      | °C       | -                | 29,4          | 29,3  | 29,6               | 29,5  | 29,5        |
|                |                | pH               | Unidades | -                | 8,04          | 8,05  | 8,15               | 8,17  | 7,5         |
|                |                | Conductividad    | mS/cm    | -                | 27,4          | 27,3  | 29,2               | 29,4  | 0,145       |
|                |                | Salinidad        | ‰        | -                | 17,2          | 17,0  | 18,5               | 18,6  | 0,0         |
|                |                | Oxígeno Disuelto | mg/l     | -                | 8,0           | 7,1   | 7,8                | 7,7   | 4,2         |
|                | Físicoquímicos | Color            | U-PtCo   | -                | 10            | 10    | 10                 | 7     | 30          |
|                |                | SDT              | mg/l     | -                | 17044         | 18590 | 19498,0            | 19378 | 136         |
|                |                | ST               | mg/l     | -                | 19748         | 25720 | 27922              | 25192 | 250         |
|                |                | Materia Orgánica | mg/l     | -                | 48,7          | 49,7  | 41,8               | 51,2  | 12,7        |
|                |                | DBO5             | mg/l     | <2,0             | 2,7           | <2,0  | <2,0               | <2,0  | <2,0        |
|                |                | Fosfatos         | mg/l     | <0,06            | N.D.          | N.D.  | N.D.               | N.D.  | 0,07        |
|                |                | Nitratos         | mg/l     | -                | 2,05          | 1,89  | 1,81               | 1,90  | 1,98        |

| MATRIZ | PARAMETROS        |                    | UNIDADES   | LIMITE DETECCION | ESTACIONES         |                    |                    |                    |                    |
|--------|-------------------|--------------------|------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        |                   |                    |            |                  | Ciénaga Honda      |                    | Bahía de Cartagena |                    | Canal Dique        |
|        |                   |                    |            |                  | E1                 | E4                 | E2                 | E3                 | E5                 |
|        |                   |                    |            |                  | 67659              | 67662              | 67660              | 67661              | 67663              |
|        |                   | Sulfuros           | mg/l       | -                | 3,11               | 0,17               | 0,85               | 0,97               | 0,92               |
|        |                   | Aceites y Grasas   | mg/l       | -                | 16,0               | 6,60               | 14,6               | 8,0                | 15,2               |
|        | Interes Sanitario | Cadmio             | mg/l       | <0,00003         | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | Cromo Hexavalente  | mg/l       | <0072            | N.D.               | N.D.               | 17,0               | 10,7               | 41,2               |
|        |                   | Cromo Trivalente   | mg/l       | <0,050           | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | Cromo Total        | mg/l       | <0,050           | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | Cobre              | mg/l       | -                | 0,00894            | 0,00051            | 0,00512            | 0,00092            | 0,0141             |
|        |                   | Mercurio           | mg/l       | <0,00088         | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | Plomo              | mg/l       | <0,00008         | 0,00009            | 0,00008            | 0,00058            | N,D,               | 0,00012            |
|        |                   | Zinc               | mg/l       | -                | 0,0670             | 0,2650             | 0,0510             | 0,0290             | 0,12500            |
|        | Microbiológicos   | Coliformes Fecales | m.o./100ml | <30              | <30                | 30                 | <30                | 40                 | <30                |
|        |                   | Coliformes Totales | m.o./100ml | <30              | 28x10 <sup>1</sup> | 24x10 <sup>4</sup> | 11x10 <sup>1</sup> | 11x10 <sup>1</sup> | 24x10 <sup>4</sup> |

N.D. = Por debajo del límite de detección del método usado

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2.27. Aplicación de estadísticos a resultados de ciénaga Honda y bahía de Cartagena y comparación con la norma para agua de mar

|                   |                  |            |                     | ESTACIONES    |         |        |               |                    |          |        |               | NORMA     |         |                                    |            |        |
|-------------------|------------------|------------|---------------------|---------------|---------|--------|---------------|--------------------|----------|--------|---------------|-----------|---------|------------------------------------|------------|--------|
|                   |                  |            |                     | Ciénaga Honda |         |        |               | Bahía de Cartagena |          |        |               | D 1594-84 |         |                                    | NOAA (EPA) |        |
| PARAMETROS        |                  | Unidades   | Limite<br>Detección | E1            | E4      | Media  | Desv.<br>Est. | E2                 | E3       | Media  | Desv.<br>Est. | ART.42    | ART.43  | ART.45                             | CCC        | CMC    |
| De Campo          | Temperatura      | °c         | -                   | 29,4          | 29,3    | 29,35  | 0,07          | 29,6               | 29,5     | 29,55  | 0,07          | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | pH               | Unidades   | -                   | 8,04          | 8,05    | 8,045  | 0,01          | 8,15               | 8,17     | 8,16   | 0,01          | 5,0-9,0   | 5,0-9,0 | 4,5-9,0                            | -          | -      |
|                   | Conductividad    | mS/cm      | -                   | 27,4          | 27,3    | 27,35  | 0,07          | 29,2               | 29,4     | 29,3   | 0,14          | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Salinidad        | ‰          | -                   | 17,2          | 17,0    | 17,1   | 0,14          | 18,5               | 18,6     | 18,55  | 0,07          | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | O. D.            | mg/l       | -                   | 8,0           | 7,1     | 7,55   | 0,64          | 7,8                | 7,7      | 7,75   | 0,07          | ≥70%      | ≥70%    | 4,0                                | -          | -      |
| Físicoquímicos    | Color            | U-PtCo     | -                   | 10            | 10      | 10     | 0,0           | 10                 | 7        | 8,5    | 2,1           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | SDT              | mg/l       | -                   | 17.044        | 18.590  | 17.817 | 1.093,2       | 19.498,0           | 19.378,0 | 19.438 | 84,9          | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | ST               | UNT        | -                   | 19.748        | 25.720  | 22.734 | 4.222,8       | 27.922             | 25.192   | 26.557 | 1.930,4       | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Materia Orgánica | mg/l       | -                   | 48,7          | 49,7    | 49,2   | 0,7           | 41,8               | 51,2     | 46,5   | 6,6           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | DBO5             | mg/l       | <2,0                | 2,7           | 1,0     | 1,85   | 1,2           | 1,0                | 1,0      | 1,0    | 0,7           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Fosfatos         | mg/l       | <0,06               | 0,03          | 0,03    | 0,03   | 0,0           | 0,03               | 0,03     | 0,03   | 0,0           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Nitratos         | mg/l       | -                   | 2,05          | 1,89    | 1,97   | 0,1           | 1,81               | 1,90     | 1,855  | 0,1           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Sulfuros         | mg/l       | -                   | 3,11          | 0,17    | 1,64   | 2,1           | 0,85               | 0,97     | 0,91   | 0,1           | -         | -       | -                                  | -          | -      |
| Aceites y Grasas  | mg/l             | -          | 16,0                | 6,60          | 11,3    | 6,6    | 14,6          | 8,0                | 11,3     | 4,7    | -             | -         | -       | -                                  | -          |        |
| Interés Sanitario | Cadmio           | µg/l       | <0,03               | 0,01500       | 0,0150  | 0,015  | 0,00          | 0,01500            | 0,0150   | 0,015  | 0,00          | -         | -       | 0,01CL <sup>96</sup> <sub>50</sub> | 8,8        | 40     |
|                   | Cromo VI         | µg/l       | <7,2                | 3,6           | 3,6     | 3,6    | 0,00          | 17,0               | 10,7     | 13,85  | 4,45          | -         | -       | 0,01CL <sup>96</sup> <sub>50</sub> | 50         | 1.100  |
|                   | Cromo III        | µg/l       | <50                 | 25            | 25      | 25     | 0,00          | 25                 | 25       | 25     | 0,00          | -         | -       | -                                  | -          | 10.300 |
|                   | Cromo Total      | µg/l       | <50                 | 25            | 25      | 25     | 0,00          | 25                 | 25       | 25     | 0,00          | -         | -       | -                                  | -          | -      |
|                   | Cobre            | µg/l       | -                   | 8,94          | 0,51    | 4,72   | 5,96          | 5,12               | 0,92     | 3,02   | 2,970         | -         | -       | 0,1CL <sup>96</sup> <sub>50</sub>  | 3,1        | 4,8    |
|                   | Mercurio         | µg/l       | <0,88               | 0,44          | 0,44    | 0,44   | 0,00          | 0,44               | 0,44     | 0,44   | 0,00          | -         | -       | 0,01CL <sup>96</sup> <sub>50</sub> | 0,94       | 1,8    |
|                   | Plomo            | µg/l       | <0,08               | 0,09          | 0,08    | 0,085  | 0,01          | 0,58               | 0,04     | 0,31   | 0,38          | -         | -       | 0,01CL <sup>96</sup> <sub>50</sub> | 8,1        | 210    |
|                   | Zinc             | µg/l       | -                   | 67,0          | 265,0   | 166    | 140,01        | 51,0               | 29,0     | 40     | 15,56         | -         | -       | 0,01CL <sup>96</sup> <sub>50</sub> | 81         | 90,00  |
| Micro-biológicos  | C. Fecales       | m.o./100ml | 15                  | 15            | 30      | 23     | 11            | 15                 | 40       | 28     | 18            | 200       | 1.000   | -                                  | -          | -      |
|                   | C. Totales       | m.o./100ml | 15                  | 280           | 240.000 | 120140 | 169.508       | 110                | 110      | 110    | 0             | -         | 5.000   | -                                  | -          | -      |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

En la Tabla 3.2.27 se presenta la aplicación de estadísticos para los resultados en los cuerpos de agua marinos evaluados y los valores de norma; en la Tabla 3.2.28 se presentan para el canal del Dique.

Tabla 3.2.28. Comparación de resultados canal del Dique con la norma para agua dulce

| PARAMETROS        |                  | Unidades   | Limite Detección | Canal del Dique | NORMA     |         |                                    |            |         |
|-------------------|------------------|------------|------------------|-----------------|-----------|---------|------------------------------------|------------|---------|
|                   |                  |            |                  |                 | D 1594-84 |         |                                    | NOAA (EPA) |         |
|                   |                  |            |                  |                 | E5        | ART.42  | ART.43                             | ART.45     | CCC CMC |
| De Campo          | Temperatura      | °C         | -                | 29,5            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | pH               | Unidades   | -                | 7,5             | 5,0-9,0   | 5,0-9,0 | 4,5-9,0                            | -          | -       |
|                   | Conductividad    | mS/cm      | -                | 0,145           | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Salinidad        | ‰          | -                | 0,0             | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Oxígeno Disuelto | mg/l       | -                | 4,2             | ≥70%      | ≥70%    | 4,0                                | -          | -       |
| Fisicoquímicos    | Color            | U-PtCo     | -                | 30              | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | SDT              | mg/l       | -                | 136,0           | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | ST               | UNT        | -                | 250             | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Materia Orgánica | mg/l       | -                | 12,7            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | DBO5             | mg/l       | <2,0             | <2,0            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Fosfatos         | mg/l       | <0,06            | 0,07            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Nitratos         | mg/l       | -                | 1,98            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Sulfuros         | mg/l       | -                | 0,92            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Aceites y Grasas | mg/l       | -                | 15,2            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
| Interes Sanitario | Cadmio           | µg/l       | <0,00003         | N,D,            | -         | -       | 0,01CL <sub>96</sub> <sub>50</sub> | 0,25       | 2,0     |
|                   | Cromo VI         | µg/l       | <0072            | 41,2            | -         | -       | 0,01CL <sub>96</sub> <sub>50</sub> | 11         | 16      |
|                   | Cromo III        | µg/l       | <0,050           | N,D,            | -         | -       | -                                  | 74         | 570     |
|                   | Cromo Total      | µg/l       | <0,050           | N,D,            | -         | -       | -                                  | -          | -       |
|                   | Cobre            | µg/l       | -                | 14,1            | -         | -       | 0,1CL <sub>96</sub> <sub>50</sub>  | 9          | 13      |
|                   | Mercurio         | µg/l       | <0,00088         | N,D,            | -         | -       | 0,01CL <sub>96</sub> <sub>50</sub> | 0,77       | 1,4     |
|                   | Plomo            | µg/l       | <0,00008         | 0,12            | -         | -       | 0,01CL <sub>96</sub> <sub>50</sub> | 2,5        | 65      |
|                   | Zinc             | µg/l       | -                | 125,0           | -         | -       | 0,01CL <sub>96</sub> <sub>50</sub> | 120        | 120     |
| Microbiológicos   | C. Fecales       | m.o./100ml | <30              | <30             | 200       | 1000    | -                                  | -          | -       |
|                   | C. Totales       | m.o./100ml | <30              | 240000          | -         | 5000    | -                                  | -          | -       |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

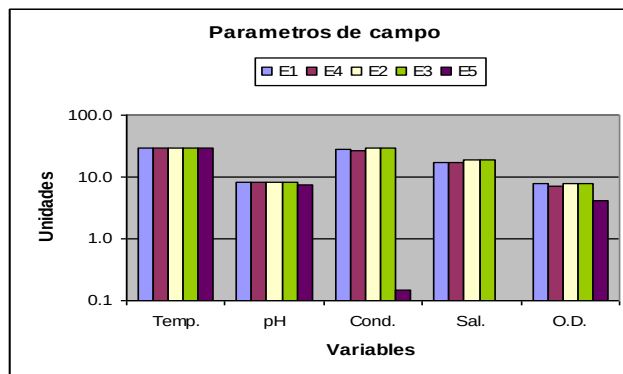
Para el estudio de los parámetros fisicoquímicos, se han generado cuatro grupos: De campo, fisicoquímicos, interés sanitario y microbiológicos. Para hallar la media aritmética en la ciénaga y la bahía de aquellos valores que estuvieron por debajo del límite de detección se tomó la mitad de éste valor



### Parámetros de Campo

En la Figura 3.2.21 se comparan los valores obtenidos en los tres cuerpos de agua monitoreados, presentando éstos, características acordes al tipo de aguas estudiado. Los valores de pH, conductividad y salinidad de la bahía y la ciénaga honda son típicos de aguas estuarinas, mientras los bajos valores en el canal del Dique son características dulceacuícolas.

Figura 3.2.21. Comportamiento de los parámetros de campo



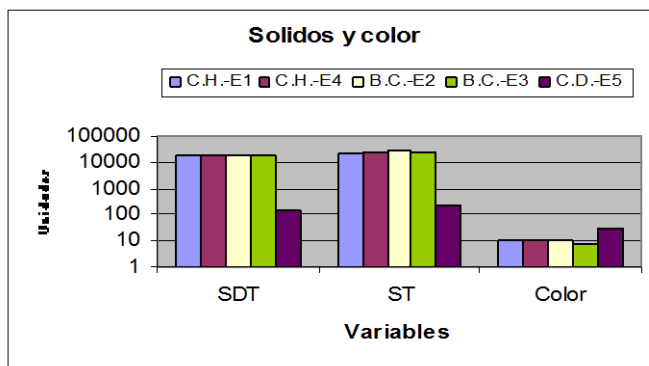
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

El oxígeno disuelto presenta los valores más bajos en el canal del Dique influenciado por la alta carga de sólidos en suspensión, presentando la bahía de Cartagena y la ciénaga valores mucho más altos, debido tal vez al proceso de reoxigenación producido por la influencia del viento sobre la masa de agua. Todos los valores de pH y oxígeno disuelto, se encuentran dentro de los estipulados en el Decreto 1594-84, para protección de flora y fauna. (Tabla 3.2.27 y Tabla 3.2.28).

### Fisicoquímicos

En la Figura 3.2.22 se comparan los valores de los sólidos y el color. Igualmente se observa la gran diferencia entre los sólidos disueltos y totales entre la ciénaga y la bahía y los obtenidos en el canal del Dique, debido a la gran cantidad de sales presentes en los dos primeros cuerpos de agua. Por el contrario el color en el canal del Dique es mucho más alto debido a los sólidos suspendidos y a las sustancias húmicas presentes.

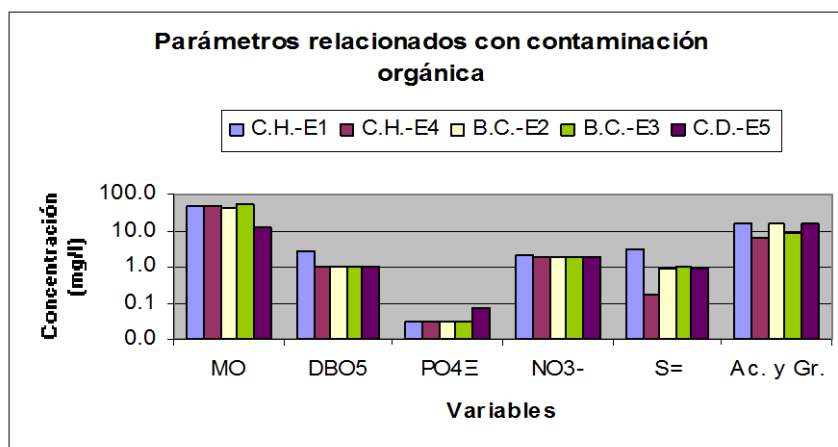
Figura 3.2.22. Comportamiento de los sólidos y color



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

En la Figura 3.2.23 se comparan las sustancias relacionadas con contaminación y biodegradación de la materia orgánica. La DBO5 presenta las mayores concentraciones en la ciénaga Honda, alcanzando concentraciones en la E1 de 2,7 mg/l y un promedio de  $1,85 \pm 1,2$  mg/l. En la bahía y el canal las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección (L.D.).

Figura 3.2.23. Comportamiento parámetros relacionados con contaminación orgánica



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

La materia orgánica presentó el mayor valor por estación en la E3 (51,2 mg/l) ubicada en la bahía, pero el mayor valor promedio en la ciénaga Honda ( $49,2 \pm 0,7$  mg/l) y la menor en el canal del Dique, E5 (12,7 mg/l).

Las concentraciones de nutrientes estuvieron similares en todas las estaciones muestreadas, estando las de fósforo por debajo del L.D. en la Ciénaga y la Bahía detectándose solo en el canal del Dique (0,07 mg/l); el nitrógeno por el contrario presentó concentraciones alrededor de 2,0 mg/l en todas las estaciones.

Las mayores concentraciones de sulfuros se presentaron también en la ciénaga Honda, alcanzando concentraciones en la E1 de 3,11 mg/l y un promedio de  $1,64 \pm 2,1$  mg/l; en la bahía y el canal las concentraciones fueron similares, alrededor de 0,9 mg/l.

Los sulfuros se producen en procesos de biodegradación de la materia orgánica en medio anaeróbico, por lo que se asume que estos se están generando en el sedimento de estos ecosistemas y son liberados de allí a la columna de agua.

Los aceites y grasas presentaron las mayores concentraciones en la E1 (16,0 mg/l) en ciénaga Honda, obteniéndose valores promedios de  $11,3 \pm 6,6$  mg/l tanto en ésta como en la Bahía. También se encontraron valores similares a los obtenidos en la E1 en el canal del Dique (15,4 mg/l) y para la Bahía en la E2 (14,6 mg/l).

En forma general la E1 ubicada en el extremo nor-oriental de la ciénaga Honda, presentó los mayores valores de contaminación por materia orgánica de las cinco (5) estaciones monitoreadas.

### *Sustancias de Interés Sanitario*

Son todas aquellas incluidas dentro de un grupo de compuestos relacionados en el Art. 20 del decreto 1594-84 y que son nocivos para la biota y/o la salud humana. Las sustancias estudiadas fueron seis metales pesados: Cadmio, Cromo (trivalente y hexavalente), cobre, mercurio, plomo y zinc.

Debido a la poca normatividad en el país para estas sustancias, se compararán los valores de resultados obtenidos con los estipulados en las *Screening Quick Reference Tables (SQRT)* de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), basados en los criterios de la Environmental Protection Agency (EPA).

Con el fin de regular la descarga de sustancias contaminantes a las aguas superficiales y para vigilar el uso de tales aguas por parte de la biota acuática y de los seres humanos, la Ley de Aguas Limpias de U.S.A. exige que la Environmental Protection Agency (EPA) y los diversos estados norteamericanos creen sus propios criterios de calidad de aguas. Estos criterios deben basarse en la medición de los efectos tóxicos de exposición de la biota acuática y de los seres humanos frente a las sustancias químicas de las aguas superficiales.

Respecto a los ecosistemas acuáticos estos criterios especifican una tasa de concentración de contaminantes que, en caso de no ser sobrepasada, debería proteger a la mayor parte de la vida acuática, aunque no a la totalidad. Para establecer estos criterios de calidad de agua, la EPA precisa datos sobre cuatro aspectos globales: *la toxicidad aguda y crónica en animales, la toxicidad en plantas y los residuos en tejidos*. Los datos concretos sobre cada uno de estos cuatro aspectos, así como los métodos para la deducción y el análisis de dichos datos, son proporcionados por las pautas de la EPA para el establecimiento de una normativa de calidad de aguas.

Es importante indicar que en el caso de varias sustancias tóxicas debe tenerse en cuenta la influencia de factores reductores de los efectos tóxicos antes de establecer cualquier conclusión. Los criterios agudos y crónicos de calidad de aguas frente a determinados vestigios metálicos dependen por ejemplo, de la dureza de las aguas. Los criterios agudos (CMC) y crónicos (CCC) relativos de cada metal indican que los organismos acuáticos de agua dulce o salada no deberían verse negativamente afectados cuando la media de concentración del metal (en µg/l) cada hora no sobrepasa la cantidad indicada por la ecuación 1, más de una vez cada tres años como media.

$$\text{Criterio Agudo (CMC)} = \exp\{mA [\ln(\text{dureza})] + bA\} \quad 1.$$

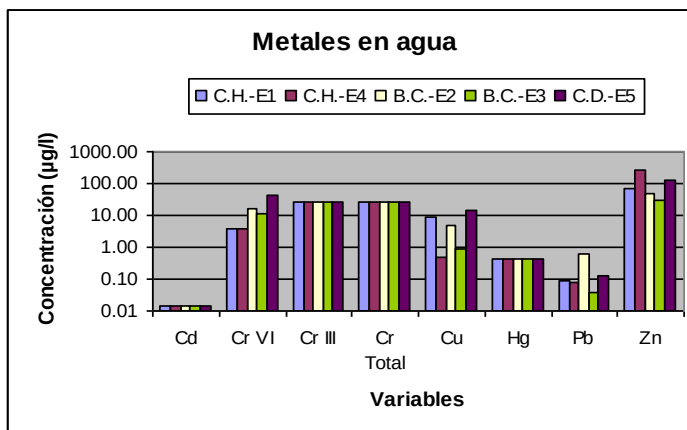
Y cuando la media de concentración cada cuatro días no sobrepasa la cantidad indicada por la ecuación 2, más de una vez cada tres años como media.

$$\text{Criterio Crónico (CCC)} = \exp\{mC [\ln(\text{dureza})] + bC\} \quad 2.$$

Donde mA, bA, mC y bC son valores calculados experimentalmente para cada sustancia. SQRT, 2006.

Estos valores de CMC y CCC son los estipulados por la EPA y tomados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), reportados en las *Screening Quick Reference Tables (SQRT)* y que se utilizará para comparar con las concentraciones de metales y compuestos orgánicos obtenidos en el seguimiento realizado al proyecto. Las concentraciones en agua (Figura 3.2.24) de cadmio, mercurio y cromo trivalente (III) estuvieron por debajo del L.D., encontrándose concentraciones detectables de cromo hexavalente en la bahía, con promedio de  $13,85 \pm 4,45 \mu\text{g/l}$  y en el canal del Dique,  $41,2 \mu\text{g/l}$ .

Figura 3.2.24. Comportamiento de metales en agua



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

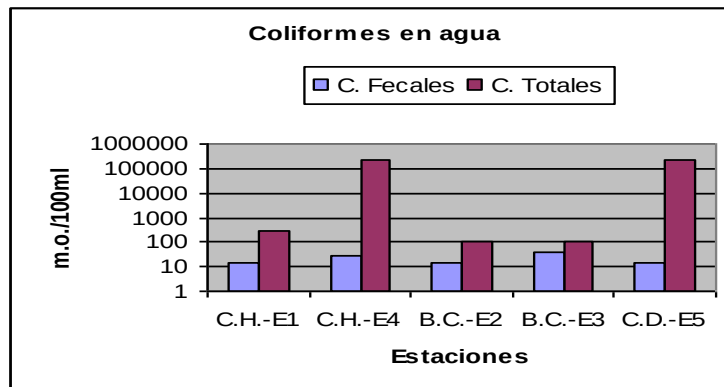
Estos valores se encuentran por debajo de los valores criterios crónicos (CCC) y agudos (CMC) de la NOAA (Tabla 3.2.27 y Tabla 3.2.28). El cobre presentó las mayores concentraciones en la E5 (14,1 µg/l) ubicada en el canal del Dique, y promedios de  $4,72 \pm 5,96$  µg/l y  $3,02 \pm 2,97$  µg/l en la ciénaga y bahía, respectivamente. De estas, las encontradas en las E5, E2 y E1 se encuentran por encima de los valores criterios CCC y CMC de la NOAA. El plomo presentó concentraciones trazas menores a 1 µg/l en todas las estaciones, las cuales son muy inferiores a los valores criterios de la NOAA.

El Zinc presentó las mayores concentraciones en la E4 (265 µg/l) ubicada en la ciénaga, con promedio de  $166 \pm 140$  µg/l en ésta y  $40 \pm 15,5$  µg/l en la bahía; en el canal se reportaron valores de 125 µg/l. De todas las E4 y E5 superan las concentraciones criterios CCC y CMC para zinc de la NOAA.

### Microbiológicos

Los microbiológicos estudiados fueron los coliformes fecales y totales. Los coliformes fecales presentaron concentraciones bastante bajas, encontrándose por debajo del L.D. las E1, E2 y E5. (Figura 3.2.25)

Figura 3.2.25. Microbiológicos en agua



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Los coliformes totales por el contrario presentaron en las E4 (Ciénaga) y E5 (canal) concentraciones apreciablemente altas (240.000 mg/l), encontrándose éstas bastante por encima de la norma para contacto primario (Art.42) y secundario (Art. 43) del Decreto 1594-84. Ver Tabla 3.2.27 y Tabla 3.2.28.

En conclusión, la E1 ubicada en el extremo nor-oriental de la ciénaga Honda, presentó los mayores valores de contaminación por materia orgánica de las cinco (5) estaciones monitoreadas.

De los nutrientes evaluados, los fosfatos presentaron concentraciones bajas o no detectables en la mayoría de las estaciones y los nitratos estuvieron presentes en el 100% de las estaciones. Esto muestra al fósforo como limitante de la productividad primaria en estos ecosistemas.

El cobre y zinc presentaron concentraciones que superan los valores criterios de la NOAA en algunas estaciones, haciendo estas aguas riesgosas para la salud de la biota presente según estos criterios.

Los coliformes totales en las E4 (Ciénaga Honda) y E5 (canal del Dique) presentaron concentraciones apreciablemente altas, encontrándose éstas muy por encima de la norma para contacto primario y secundario del Decreto 1594-84.

#### *Índices de Calidad Ambiental - ICA*

Los índices de calidad de las aguas se han diseñado con el propósito de comunicar de manera fácil, ágil y precisa tanto a especialistas como administrativos de las ciencias ambientales el estado global de la contaminación de las aguas naturales, mediante el cálculo de un índice general de la calidad del agua (ICA). Una vez realizados los cálculos se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.2.29.

Tabla 3.2.29. Resultados de los ICA

|           | CUERPO DE AGUA |                    |                 |
|-----------|----------------|--------------------|-----------------|
|           | Ciénaga Honda  | Bahía de Cartagena | Canal del Dique |
| ICA       | 82,3           | 81,6               | 53,0            |
| Categoría | Buena          | Buena              | Marginal        |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

El análisis de los Índices de Calidad Ambiental – ICA aplicados a los resultados obtenidos, mostró que la calidad del agua de la ciénaga Honda y el sector evaluado de la bahía de Cartagena están dentro de la categoría considerada como buena, y el sector evaluado del canal del Dique dentro de la categoría considerada como marginal. La Caracterización hidrobiológica se desarrolla en el componente Biótico.

#### **3.2.5.4 Campaña de Hidrocaribe Ltda, 2011**

La fase de campo para la toma de muestras y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fue realizada entre los días 19 y 25 de abril de 2011.

- **Descripción del área de estudio**

La bahía de Cartagena es el principal cuerpo de agua de la zona, que cuenta con una superficie de 82 km<sup>2</sup> y profundidades máxima y media de 32 y 16 metros, respectivamente (CARDIQUE, 2003). Está ubicada en la costa Caribe colombiana, en el Departamento de Bolívar, Distrito de Cartagena de Indias. El área de estudio también abarca la población de Pasacaballos y el tramo del Canal del Dique.

- **Localización específica de los puntos de muestreo**

A continuación las coordenadas (Tabla 3.2.30) y la ubicación (Figura 3.2.25) de las estaciones muestreadas.

Tabla 3.2.30. Ubicación estaciones muestreadas

| Sitio de muestreo  | Estación | Latitud N     | Longitud W    |
|--------------------|----------|---------------|---------------|
| CIENAGA HONDA      | CH-1     | 10°16'52.23"N | 75°32'42.69"O |
|                    | CH-2     | 10°16'39.25"N | 75°32'42.69"O |
| BAHIA DE CARTAGENA | BC-2     | 10°17'9.50"N  | 75°32'29.90"O |
|                    | BC-3     | 10°17'3.20"N  | 75°32'50.50"O |
|                    | BC-4     | 10°17'24.30"N | 75°31'59.70"O |
| CANAL DEL DIQUE    | CD-1     | 10°17'12.00"N | 75°31'23.22"O |
|                    | CD-2     | 10°16'35.03"N | 75°31'7.17"O  |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011

Figura 3.2.26. Plano de ubicación de las estaciones muestreadas.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



### 3.2.5.4.1 Metodología

#### Variables consideradas

-Agua: Los parámetros físicos y químicos analizadas en la masa de agua fueron: temperatura, conductividad, salinidad, pH, oxígeno disuelto, transparencia, color, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, materia orgánica, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrito total, fosfatos, fósforo total, aceites y grasas, sulfuros, cadmio, cobre, cromo hexavalente y total, mercurio, plomo y zinc.

Los microbiológicos evaluados fueron coliformes totales y fecales.

#### Fase de campo

Los días 19 y 25 de abril de 2011 entre las 08:00 y las 16:00 horas, se llevaron a cabo la toma de muestra en las estaciones antes descritas, utilizando como medio de transporte una lancha con motor fuera de borda. El día 19 se tomó muestras en las estaciones CH-1, CH-2 y BC-3 y el día 25 de abril se tomó muestras en las estaciones BC-2, BC-4, CD-1 y CD-2.

Figura 3.2.27. Toma de muestras de agua.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Para evaluar las características fisicoquímicas se hizo toma de muestra puntual en la superficie (0.5m) utilizando una botella Niskin Vertical de 6 litros de capacidad, éstas se trasvasaban a un balde homogenizador del cual se llenaban los recipientes con agitación permanente, para tener una muestra representativa. In Situ se midió por duplicado temperatura, pH, conductividad y salinidad, además de la transparencia. Las muestras para O.D. se fijaron en campo para determinar luego usando el método de Winkler.

Las muestras para determinar el resto de parámetros fueron envasadas y preservadas para su traslado al laboratorio siguiendo la metodología de la APHA, AWWA, WEF en el Standard Methods For the Examination of water and Wastewater. De igual forma se tomó duplicado del 5,0% de las muestras (1 muestra) en la Estación EV-3, para dar cumplimiento a lo dispuesto por el IDEAM en la Guía Metodológica y en el Standard Methods For the Examination of water and Wastewater y garantizar la repetibilidad y representatividad del proceso de muestreo. En agua se tomó muestras en las estaciones EV-1, EV-2, EV-3, EV-4, EV-6 y EV-7.

## Resultados

En la Tabla 3.2.31 se presentan los resultados de los parámetros In situ, medidos por duplicado y en la Tabla 3.2.32 se presentan los resultados de las variables fisicoquímicas, de interés sanitario y microbiológico. (En el anexo 3.1 se muestran los informes de las muestra tomadas junto con los certificados de acreditación y calidad del laboratorio).

Tabla 3.2.31. Resultados de parámetros In Situ, muestreo de abril 19 y 25 de 2011.

|                |            |               |          |                  | ESTACIONES    |       |                    |       |       |                               |       |
|----------------|------------|---------------|----------|------------------|---------------|-------|--------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|
| MATRIZ         | PARAMETROS |               | UNIDADES | LIMITE DETECCION | Ciénaga Honda |       | Bahía de Cartagena |       |       | Canal del Dique Ciénaga Honda |       |
|                |            |               |          |                  | CH-1          | CH-2  | BC-2               | BC-3  | BC-4  | CD-1                          | CD-2  |
|                |            |               |          |                  |               |       |                    |       |       |                               |       |
| AGUA ESTUARINA | De Campo   | Hora          | Hora     | -                | 15:09         | 16:26 | 8:55               | 11:31 | 10:24 | 11:50                         | 14:46 |
|                |            | Temperatura   | °c       | -                | 30,8          | 30,8  | 29,6               | 30,3  | 29,8  | 29,2                          | 29,4  |
|                |            |               |          |                  | 30,9          | 30,9  | 29,6               | 30,2  | 29,8  | 29,3                          | 29,3  |
|                |            | Promedio      |          |                  | 27,1          | 30,85 | 30,85              | 29,60 | 30,25 | 29,80                         | 29,25 |
|                |            | pH            | Unidades | -                | 8,38          | 8,34  | 8,24               | 8,37  | 8,22  | 7,38                          | 7,46  |
|                |            |               |          |                  | 8,36          | 8,33  | 8,25               | 8,36  | 8,20  | 7,40                          | 7,45  |
|                |            | Promedio      |          |                  | 8,240         | 8,37  | 8,33               | 8,24  | 8,36  | 8,21                          | 7,39  |
|                |            | Conductividad | mS/cm    | -                | 37,3          | 37,9  | 39,6               | 32,0  | 30,6  | 0,182                         | 0,181 |
|                |            |               |          |                  | 37,4          | 37,7  | 39,7               | 32,0  | 28,8  | 0,181                         | 0,182 |
|                |            | Promedio      |          |                  | 54,1          | 37,3  | 37,8               | 39,6  | 32,0  | 29,7                          | 0,181 |
|                |            | Salinidad     | ‰        |                  | 23,8          | 24,3  | 25,6               | 20,1  | 19,2  | 0,0                           | 0,0   |
|                |            |               |          |                  | 23,9          | 24,2  | 25,5               | 20,1  | 17,9  | 0,0                           | 0,0   |
|                |            | Promedio      |          |                  | 35,95         | 23,8  | 24,2               | 25,5  | 20,1  | 18,6                          | 0,0   |
|                |            | Transparencia | m        | -                | 1,18          | 1,68  | 2,00               | 1,00  | 0,35  | 0,08                          | 0,08  |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.32. Resultados fisicoquímicos calidad de agua, muestreo de abril 19 y 25 de 2011.

|                |                |                  |          | ESTACIONES          |               |        |          |                    |          |              |          |                 |        |
|----------------|----------------|------------------|----------|---------------------|---------------|--------|----------|--------------------|----------|--------------|----------|-----------------|--------|
| Matriz         | Parámetros     |                  | Unidades | Limite de Detección | Ciénaga Honda |        |          | Bahía de Cartagena |          |              |          | Canal del Dique |        |
|                |                |                  |          |                     | CH-1          | CH-2   | BC-2     | BC-3               | BC-4     | BC-4 Duplic. | Promedio | CD-1            | CD-2   |
|                |                |                  |          |                     | 19-04-11      |        | 25-04-11 | 19-04-11           | 25-04-11 |              |          | 25-04-11        |        |
|                |                |                  |          |                     | 131885        | 131886 | 132255   | 131887             | 132256   | 132257       |          | 132253          | 132254 |
| AGUA ESTUARINA | Fisicoquímicos | Hora             | Hora     | 15:09               | 15:09         | 16:26  | 08:55    | 17:32              | 10:24    | 10:40        |          | 11:50           | 12:45  |
|                |                | Oxígeno Disuelto | mg/l     | 7,3                 | 7,3           | 6,3    | 2,8      | 5,9                | 6,0      | 6,0          | 6,0      | 4,8             | 4,7    |
|                |                | Color            | U-PtCo   | 10                  | 10            | 8      | 8        | 8                  | 20       | 20           | 20       | 40              | 35     |
|                |                | SDT              | mg/l     | 25964               | 25964         | 26452  | 27924    | 21372              | 19748    | 19492        | 19620    | 164             | 158    |
|                |                | SST              | mg/l     | <5                  | <5            | 5      | <5       | 7                  | 24       | 22           | 23       | 618             | 590    |
|                |                | Materia Orgánica | mg/l     | 22,1                | 22,1          | 30,0   | 12,6     | 20,5               | 22,10    | 20,05        | 21,1     | 30,3            | 29,6   |
|                |                | Fosfatos         | mg/l     | 0,08                | 0,08          | 0,07   | 0,11     | 0,07               | 0,13     | 0,06         | 0,095    | 0,63            | 0,61   |
|                |                | Fósforo Total    | mg/l     | 0.12                | 0.12          | 0,09   | 0,13     | 0,08               | 0,17     | 0,08         | 0,125    | 0,83            | 0,78   |
|                |                | Nitrógeno        |          | N.D.                | N.D.          | N.D.   | N.D.     | 0,12               | N.D.     | N.D.         | N.D.     | N.D             | N.D.   |

| Matriz | Parámetros        | Unidades   | Limite de Detección | ESTACIONES         |                    |         |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|--------|-------------------|------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        |                   |            |                     | Ciénaga Honda      |                    | BC-2    | Bahía de Cartagena |                    |                    | Promedio           | Canal del Dique    |                    |
|        |                   |            |                     | CH-1               | CH-2               |         | BC-3               | BC-4               | BC-4 Duplic.       |                    | CD-1               | CD-2               |
|        | Amoniacal         |            |                     |                    |                    |         |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|        |                   | mg/l       | N.D.                | N.D.               | N.D.               | N.D.    | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | 0,016              | 0,024              |
|        |                   |            | 1,02                | 1,02               | 0,59               | 1,02    | 0,38               | 1,23               | 1,13               | 1,18               | 3,17               | 3,17               |
|        |                   |            | 1,33                | 1,33               | 1,20               | 1,02    | 1,33               | 1,99               | 1,18               | 1,58               | 3,29               | 3,29               |
|        |                   | mg/l       | N.D.                | N.D.               | N.D.               | N.D.    | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | mg/l       | 8,0                 | 8,0                | 6,0                | 6,2     | 5,0                | 5,6                | 8,2                | 6,9                | 6,4                | 6,4                |
|        | Interés Sanitario | mg/l       | 0,00004             | 0,00004            | N.D.               | N.D.    | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | 0,00011            | 0,00005            |
|        |                   | mg/l       | N.D.                | N.D.               | N.D.               | N.D.    | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               |
|        |                   | mg/l       | 0,00144             | 0,00144            | 0,00102            | 0,00153 | 0,00133            | 0,00144            | 0,00111            | 0,0013             | 0,00229            | 0,00225            |
|        |                   | mg/l       | 0,00174             | 0,00174            | N.D.               | 0,00032 | 0,00169            | 0,00082            | 0,00025            | 0,00053            | 0,00394            | 0,00486            |
|        |                   | mg/l       | N.D.                | N.D.               | N.D.               | N.D.    | N.D.               | N.D.               | N.D.               | N.D.               | 0,0001             | N.D.               |
|        |                   | mg/l       | 0,00009             | 0,00009            | 0,00014            | 0,00269 | 0,00038            | 0,00255            | 0,00077            | 0,0017             | 0,00446            | 0,00133            |
|        |                   | mg/l       | N.D.                | N.D.               | 0,034              | 0,032   | 0,051              | N.D.               | N.D.               | N.D.               | 0,135              | 3,373              |
|        | Microbiológicos   | m.o./100ml | <30                 | <30                | <30                | <30     | <30                | 23X10 <sup>1</sup> | 60                 | 145                | 60                 | 18X10 <sup>1</sup> |
|        |                   | m.o./100ml | 46x10 <sup>2</sup>  | 46x10 <sup>2</sup> | 43x10 <sup>1</sup> | 90      | 93X10 <sup>1</sup> | 75X10 <sup>1</sup> | 46X10 <sup>2</sup> | 26X10 <sup>2</sup> | 93X10 <sup>2</sup> | 75X10 <sup>2</sup> |

N.D. = Por debajo del límite de detección del método usado.

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### 3.2.5.4.2 Comparación de los resultados con la norma

-Agua: La norma colombiana para vertimientos y calidad de agua hasta el año 2010 era el Decreto 1594 de Junio 26 de 1984. Este Decreto fue derogado y reemplazado por el Decreto 3930 de Octubre 25 de 2010, aunque este último en sus Artículos 9 y 20 dice textualmente:

**Artículo 9. Usos del agua.** Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua:

1. Consumo humano y doméstico.
2. Preservación de flora y fauna.
3. Agrícola.
4. Pecuario.
5. Recreativo.
6. Industrial.
7. Estético.
8. Pesca, Maricultura y Acuicultura.
9. Navegación y Transporte Acuático.

**Parágrafo.** El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dieciocho (18) meses, contados a partir de la publicación del presente decreto, podrá definir nuevos usos, establecer la denominación y definir el contenido y alcance de los mismos.

**Artículo 20. Competencia para definir los criterios de calidad del recurso hídrico.** El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dieciocho (18) meses contados a partir de la publicación del presente decreto, definirá los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas. [3].

Debido a esto, los resultados son comparados con los valores estipulados en el Decreto 1594-84 que siguen vigentes hasta que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial defina los nuevos criterios de calidad de las aguas superficiales, subterráneas y marinas.

Además se comparan los resultados con los criterios estipulados en las Screening Quick Reference Tables (SQUIRT) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of U.S., donde se presentan las concentraciones de protección para la fauna presente en aguas dulces y marinas de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Las SQUIRT fueron desarrolladas para el uso interno de la División de Restauración y Protección de Costas (CPR) de la NOAA, usando los valores criterios de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. [4].

Con el fin de regular la descarga de sustancias contaminantes a las aguas superficiales y para vigilar el uso de tales aguas por parte de la biota acuática y de los seres humanos, la Ley de Aguas Limpias de U.S.A. exige que la Environmental Protection Agency (EPA) y los diversos estados norteamericanos creen sus propios criterios de calidad de aguas. Estos criterios deben basarse en la medición de los efectos tóxicos de exposición de la biota acuática y de los seres humanos frente a las sustancias químicas presentes en las aguas superficiales.

Respecto a los ecosistemas acuáticos estos criterios especifican una tasa de concentración de contaminantes que, en caso de no ser sobrepasada, debería proteger a la mayor parte de la vida acuática, aunque no a la totalidad. Para establecer estos criterios de calidad del agua, la EPA precisa datos sobre cuatro aspectos globales: la toxicidad aguda y crónica en animales, la toxicidad en plantas y los residuos en tejidos. Los datos concretos sobre cada uno de estos cuatro aspectos, así como los métodos para la deducción y el análisis de dichos datos, son proporcionados por las pautas de la EPA para el establecimiento de una normativa de calidad de aguas.

Es importante indicar que en el caso de varias sustancias tóxicas debe tenerse en cuenta la influencia de factores reductores de los efectos tóxicos antes de establecer cualquier conclusión. Los criterios agudos y crónicos de calidad de aguas frente a determinados vestigios metálicos dependen, por ejemplo de la dureza de las aguas.

Los criterios agudos (CMC) y crónicos (CCC) relativos de cada metal indican que los organismos acuáticos no deberían verse negativamente afectados cuando la media de concentración del metal (en  $\mu\text{g/l}$ ) cada hora no sobrepasa la cantidad indicada por la ecuación 1, más de una vez cada tres años como media.

Ec. 1. Criterio Agudo (CMC) =  $\exp\{mA [\ln(\text{dureza})] + bA\}$

Y cuando la media de concentración cada cuatro días no sobrepasa la cantidad indicada por la ecuación 2, más de una vez cada tres años como media.

Ec. 2. Criterio Crónico (CCC) =  $\exp\{mC [\ln(\text{dureza})] + bC\}$

Donde mA, bA, mC y bC son valores calculados experimentalmente para cada sustancia. [5].

Estos valores de CMC y CCC son los estipulados por la EPA y tomados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), reportados en las Screening Quick Reference Tables (SQRT) y que utilizaremos para comparar las concentraciones de metales obtenidos en el presente estudio.

Para comparar los resultados de la estación EV-3 con la norma, se toma el promedio de los resultados obtenidos de la muestras original y duplicado.

Tabla 3.2.33. Comparación de los resultados del muestreo realizado en 19 y 25 de abril de 2011 con la norma.

|                   |             |             | ESTACIONES |        |        |        |        |             |             | NORMA     |         |                                     |            |       |
|-------------------|-------------|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-----------|---------|-------------------------------------|------------|-------|
|                   |             |             | CH-1       | CH-2   | BC-2   | BC-3   | BC-4   | CD-1        | CD-2        | D 1594-84 |         |                                     | NOAA (EPA) |       |
| PARAMETROS        | Unidades    |             | 131885     | 131886 | 132255 | 131887 | 132256 | 132253      | 132254      | ART.42    | ART.43  | ART.45                              | CCC        | CMC   |
| Físico-químicos   | pH          | Unidades    | 8,37       | 8,33   | 8,24   | 8,36   | 8,21   | 7,39        | 7,45        | 5.0-9.0   | 5.0-9.0 | 4.5-9.0                             | -          | -     |
|                   | O. D.       | mg/l        | 7,30       | 6,30   | 2,80   | 5,90   | 6,0    | 4,8         | 4,70        | ≥70%      | ≥70%    | ≥ 4.0                               | -          | -     |
| Interés Sanitario | Cadmio      | µg/l        | 0,04       | N.D.   | N.D.   | N.D.   | N.D.   | 0,11        | 0,05        | -         | -       | 0.01CL <sup>9</sup> <sub>6 50</sub> | 8.8        | 40    |
|                   | Cromo VI    | µg/l        | N.D.       | N.D.   | N.D.   | N.D.   | N.D.   | N.D.        | N.D.        | -         | -       | 0.01CL <sup>9</sup> <sub>6 50</sub> | 50         | 1100  |
|                   | Cromo Total | µg/l        | 1,44       | 1,02   | 1,53   | 1,33   | 1,3    | 2,29        | 2,25        | -         | -       | -                                   | -          | 10300 |
|                   | Cobre       | µg/l        | 1,74       | N.D.   | 0,32   | 1,69   | 0,53   | <u>3,94</u> | <u>4,86</u> | -         | -       | 0.1CL <sup>96</sup> <sub>50</sub>   | 3.1        | 4.8   |
|                   | Mercurio    | µg/l        | N.D.       | N.D.   | N.D.   | N.D.   | N.D.   | N.D.        | N.D.        | -         | -       | 0.01CL <sup>9</sup> <sub>6 50</sub> | 0.94       | 1.8   |
|                   | Plomo       | µg/l        | 0,09       | 0,14   | 2,69   | 0,38   | 1,7    | 4,46        | 1,33        | -         | -       | 0.01CL <sup>9</sup> <sub>6 50</sub> | 8.1        | 210   |
|                   | Zinc        | µg/l        | N.D.       | 34     | 32     | 51     | N.D.   | <u>135</u>  | <u>3373</u> | -         | -       | 0.01CL <sup>9</sup> <sub>6 50</sub> | 81         | 90.00 |
| Micro Biológicos  | C. Fecales  | m.o./100 ml | <30        | <30    | <30    | <30    | 145    | 60          | 180         | 200       | 1000    | -                                   | -          | -     |
|                   | C. Totales  | m.o./100 ml | 4600       | 430    | 90     | 930    | 2600   | <u>9300</u> | <u>7500</u> | -         | 5000    | -                                   | -          | -     |

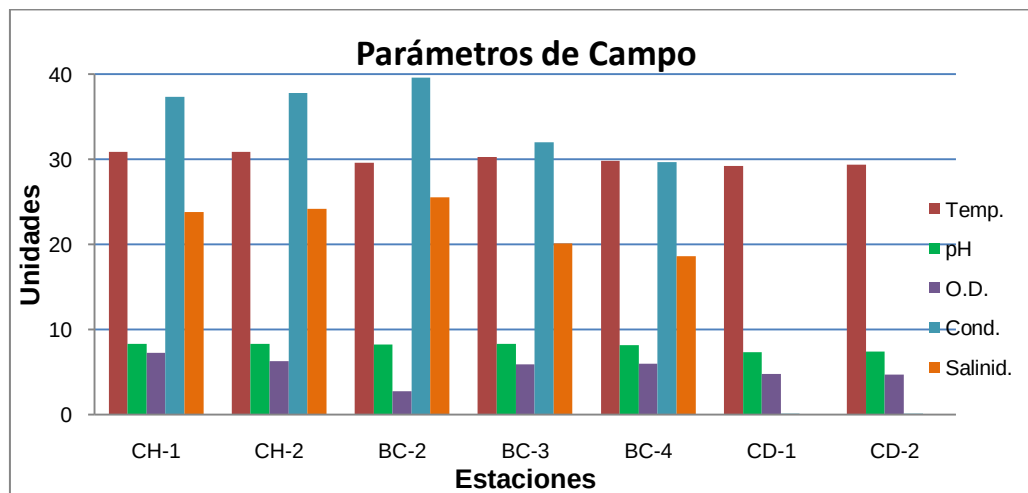
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

## Parámetros de campo

Las variables de campo medidas están acordes con el cuerpo de agua monitoreado. Así tenemos, que los valores de pH, conductividad y salinidad medidos en las dos estaciones ubicadas en el canal del Dique son

menores que los medidos en la bahía de Cartagena y ciénaga Honda, por tener estos últimos características fisicoquímicas muy diferentes (Ver Figura 3.2.28) Los valores de temperatura por el contrario están más incididos por la hora en que se hizo la toma de muestra, así tenemos, que los obtenidos en las estaciones CH-1, CH-2 y BC-3 son un poco más altos debido a que estas muestras fueron tomadas en horas de la tarde y el resto de muestras (BC-2, BC-4, CD-1 y CD-2) en horas de la mañana.

Figura 3.2.28 Comportamiento de los parámetros de campo.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

El oxígeno disuelto presentó concentraciones bastante bajas en BC-2, siendo este el único valor por debajo del valor estipulado por el decreto 1594-84. Todos los valores de pH se encuentran dentro de los estipulados por el anterior decreto. Ver Tabla 3.2.33.

### Físicoquímicos

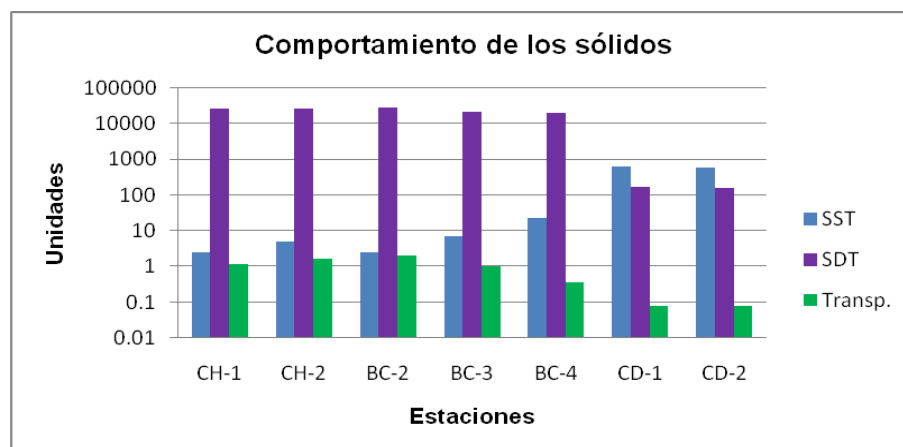
Los sólidos suspendidos presentan como era de esperarse en CD-1 y CD-2 los mayores valores, mostrando el resto de estaciones la incidencia del aporte de aguas del canal del Dique. Por el contrario los sólidos disueltos y la transparencia aumentan a medida que se alejan las estaciones del canal. Por lo tanto, dentro del canal la relación SST/SDT es  $>1$  y en la bahía y Cga Honda es  $<1$ . Ver Figura 3.2.29.

En agua la materia orgánica también presenta (Figura 3.2.30) los máximos valores en las dos estaciones ubicadas sobre el canal, pero además presenta un valor similar en la estación ubicada dentro de Ciénaga Honda (CH-2). Esto muestra el aporte de materia orgánica del canal hacia la bahía de Cartagena, pero además que la Cga. Honda aún presenta niveles altos de materia orgánica debido a las descargas realizadas en su momento por una camaronera que funcionó en ese sector.

Los nutrientes presentaron (Figura 3.2.31) igualmente las mayores concentraciones en las estaciones ubicadas sobre el canal del Dique, denotando nuevamente el aporte de nutrientes este cuerpo de agua a la bahía de Cartagena. Las mayores concentraciones de derivados del nitrógeno la presentan los nitratos, denotando que esta la principal la fuente de nitrógeno para los productores primarios.

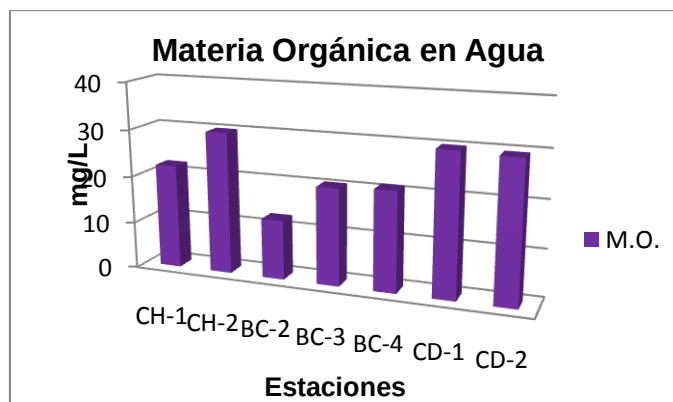


Figura 3.2.29 Comportamiento de los sólidos



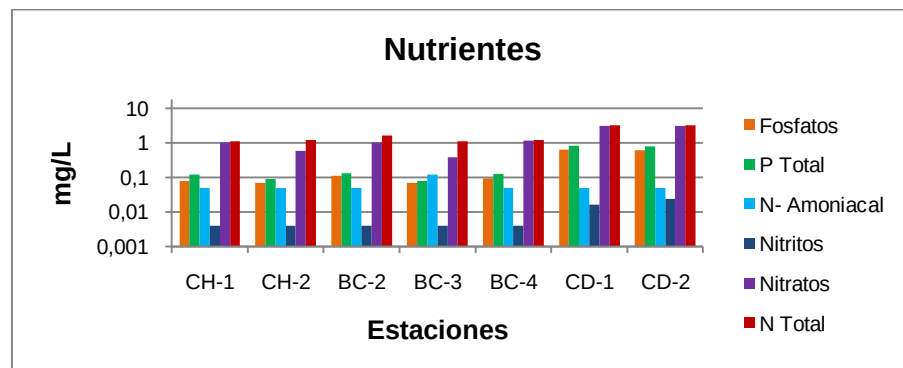
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.30 Comportamiento de la Materia Orgánica



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.31 Comportamiento de los nutrientes.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

En la Tabla 3.2.34 se presentan las directrices propuestas por Bricker et al (1999), para evaluar el grado de enriquecimiento excesivo de nutrientes, las cuales se basan sobre concentraciones de nitrógeno (Amo-nio, nitritos y Nitratos) y fósforo (Fosfatos) inorgánico y de oxígeno disuelto medidos en la superficie de la columna de agua.

Tabla 3.2.34. Criterios para evaluar el grado de enriquecimiento excesivo de nutrientes (Bricker et al. 1999).

| Parámetros | Bajo       | Medio            | Alto           |
|------------|------------|------------------|----------------|
| N (mg/L)   | $\leq 0.1$ | $< 0.1 - < 1.0$  | $\geq 1.0$     |
| P (mg/L)   | $< 0.01$   | $< 0.01 - < 0.1$ | $\geq 0.1$     |
| OD (mg/L)  | $\geq 5.0$ | $< 2 - \leq 5.0$ | $0 - \leq 2.0$ |

Fuente: Bricker et al, 1999.

Para evaluar el estado trófico de cada sitio se aplica un índice general sobre la base de los tres factores: bajo, medio y alto enriquecimiento, asignando un valor de 1, 2 o 3 respectivamente, y sumando éstos al final. Si la suma total da un valor  $< 5$ , el sitio se considera que presenta poca evidencia de enriquecimiento antropogénico de nutrientes, si el valor se encuentra entre  $\geq 5$  y  $7 <$ , se considera como moderadamente enriquecido en nutrientes y si el valor es  $\geq 7$ , el sitio se considera excesivamente enriquecido de nutrientes.

El cálculo se realizó con el promedio de cada variable en cada uno de los cuerpos de agua estudiados. Según este criterio los cuerpos de agua evaluados en este muestreo, se clasifican como se muestra en la Tabla 3.2.35 y Tabla 3.2.36

Tabla 3.2.35. Comparación de los resultados con los criterios de Bricker et al.

| Variables | Cga. Honda          | Bahía de Cartage-na | Desembocadura Canal Dique EV-6 |
|-----------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| N (mg/L)  | 0,86 mg/L<br>Medio  | 0,94 mg/L<br>Medio  | 3,17 mg/L<br>Alto              |
| P (mg/L)  | 0,075 mg/L<br>Medio | 0.091 mg/L<br>Medio | 0,62 mg/L<br>Alto              |
| OD (mg/L) | 6,80 mg/L<br>Bajo   | 4,90 mg/L<br>Medio  | 4.75 mg/L<br>Medio             |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.36. Cálculo del estado trófico de las zonas evaluadas.

| Sitios Evaluados                         | N (mg/L) | P (mg/L) | OD (mg/L) | Suma Total | Clasificación                         |
|------------------------------------------|----------|----------|-----------|------------|---------------------------------------|
| Cga. Honda<br>Prom. CH-1, CH-2           | 2        | 2        | 1         | 5          | Moderada evidencia de enriquecimiento |
| Bahía de Cgena<br>Prom. BC-2, BC-3, BC-4 | 2        | 2        | 2         | 6          | Moderada evidencia de enriquecimiento |
| Canal Dique<br>Prom. CD-1, CD-2          | 3        | 3        | 2         | 8          | Excesivamente enriquecimiento         |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

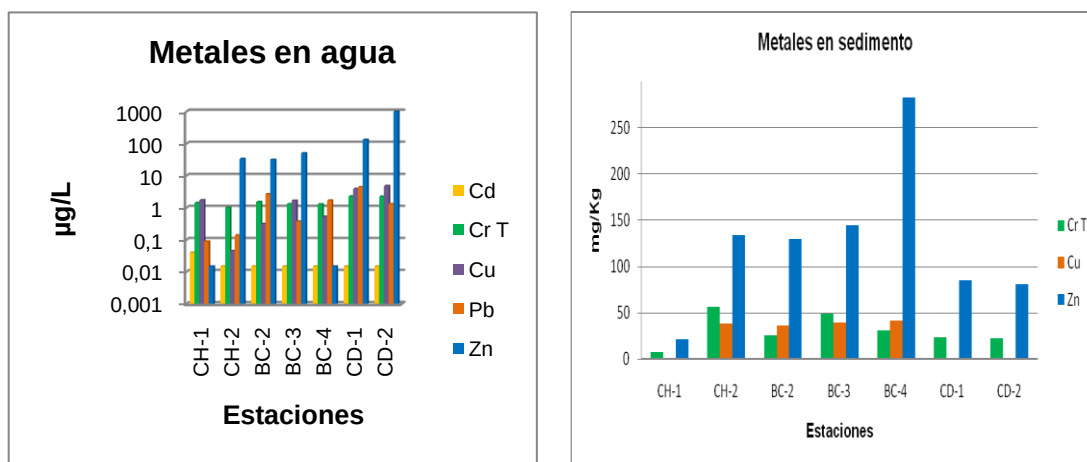
Según el criterio de Bricker et al, la Cga. Honda y el sector evaluado de la Bahía de Cartagena tienen moderada evidencia de enriquecimiento y el sector evaluado del Canal del Dique, excesivo enriquecimiento por

nutrientes. Las concentraciones de sulfuro tanto en agua como en sedimento, estuvieron todas por debajo del límite de detección del método usado. Los aceites y grasas presentaron concentraciones homogéneas desde el punto de vista espacial, dentro de los valores normales para los ecosistemas evaluados.

### Sustancias de Interés Sanitario

Son todas aquellas incluidas dentro de un grupo de compuestos relacionados en el Art. 20 del decreto 1594-84 y que son nocivos para la biota y/o la salud humana. Las sustancias estudiadas fueron: Cadmio, Cromo (total y hexavalente), cobre, mercurio, plomo y zinc. Las concentraciones de cromo VI y mercurio en agua y sedimento estuvieron (Figura 3.2.32) por debajo del límite de detección del método usado en todas las estaciones evaluadas.

Figura 3.2.32 Comportamiento de los metales en agua y sedimento.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

En agua la mayoría de las estaciones evaluadas presentan concentraciones detectables de cadmio, cromo total, cobre, plomo y zinc y la mayoría de estos valores se encuentran por debajo de los criterios CCC y CMC de la NOAA. Solo las concentraciones de cobre y zinc en las estaciones CD-1 y CD-2 ubicadas sobre el canal del Dique, presentan concentraciones por encima de estos criterios.

El cobre, cromo total y zinc presentaron concentraciones apreciables en la mayoría de las estaciones muestreadas. Al igual que la materia orgánica, la concentración de metales en el sedimento también guarda una relación con la granulometría del sedimento. En la Figura 8, se puede observar como las concentraciones de cobre, cromo total y zinc son bastante menores en las estaciones donde el contenido de arenas en la muestra es mucho mayor que el de arcilla y limos: CH-1, CD-1 y CD-2. Ver Tabla No. 10.

Al comparar las concentraciones de cobre, cromo total y zinc con los valores criterios de la NOAA, podemos observar que las concentraciones de cromo total en CH-2 y de zinc en CH-2, BC-2, BC-3 y BC-4, son superiores que el valor criterio TEL (concentración por debajo de la cual rara vez se espera que ocurran efectos adversos) de la NOAA. Ver Tabla 3.2.34.

### Microbiológicos

Los microbiológicos estudiados en agua fueron los coliformes fecales y totales. Los coliformes fecales presentaron concentraciones menores que el límite de detección del método en la mayoría de las estaciones, solo BC-4, CD-1 y CD-2 presentaron concentraciones detectables, pero bajas. Los coliformes totales por su parte, presentaron concentraciones detectables en todas las estaciones muestreadas y en CD-1 y CD-2 presentaron concentraciones por encima del valor estipulado por el D 1594-84, como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario (pesca y deportes náuticos). Ver Tabla 3.2.33.

### **ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL - ICA**

Los índices de calidad de las aguas se han diseñado con el propósito de comunicar de manera fácil, ágil y precisa tanto a especialistas como administrativos de las ciencias ambientales el estado global de la contaminación de las aguas naturales, mediante el cálculo de un índice general de la calidad del agua (ICA). Los Índices de Calidad utilizados en este informe son los de la *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*, desarrollados por el ministerio del Medio Ambiente, Tierras y Parques de British Columbia y la Secretaria de Medio ambiente de Alberta, Canadá.

Estos ICA incorporan tres elementos que se denominan:

- **Alcance (F1):** Cuantifica el número de variables que no reúnen el objetivo.
- **Frecuencia (F):** Cuantifica el número de veces que el objetivo no es reunido.
- **Amplitud (F3):** Cuantifica la cantidad por la cual los objetivos no son reunidos.

El índice produce un numero entre 0 (la mas baja calidad del agua) y 100 (la más alta calidad del agua). Este número es ubicado entre 5 categorías descriptivas de la calidad del cuerpo de agua, las cuales se presentan en la Tabla 3.2.37.

Tabla 3.2.37. Categorías de los ICA.

|                       |          |                                                                                                                                                             |
|-----------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Excelente             | 100 – 95 | La calidad del agua es representada por la ausencia de una virtual amenaza de deterioro de las condiciones cercanas a las naturales o primitivas.           |
| Buena                 | 94 – 80  | La calidad del agua es representada por solo un leve grado de amenazas de deterioro; condiciones que rara vez se apartan de los niveles naturales.          |
| Regular               | 79 – 65  | La calidad del agua es usualmente representada por una amenazada de deterioro; condiciones que algunas veces se apartan de los niveles naturales deseables. |
| Marginal              | 64 – 45  | La calidad del agua es representada por una frecuente amenaza de deterioro; condiciones que a menudo están por fuera de los niveles naturales deseables.    |
| Altamente Contaminada | 45 – 0   | La calidad del agua es representada por una amenaza o deterioro; condiciones usualmente por fuera de los niveles naturales deseables.                       |

### Calculo de los Índices [9]:

El ICA basado en los factores  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ , es calculado una vez se definen los sitios de muestreo, el tiempo de muestreo, número de variables, y el objetivo que define la calidad de cada variable.

**$F_1$  (Alcance):** Representa el porcentaje de las variables que no alcanza el objetivo durante el periodo de estudio.

$$F_1 = \left( \frac{\text{Número de variable fuera del objetivo}}{\text{Número total de variables consideradas}} \right) \times 100$$

**$F_2$  (Frecuencia):** Representa el porcentaje de cada prueba que no alcanza el objetivo definido.

$$F_2 = \left( \frac{\text{Número de ensayos fuera del objetivo}}{\text{Número total de ensayos realizados}} \right) \times 100$$

**$F_3$  (Amplitud) :** Representa la cantidad de separación entre el ensayo fuera del objetivo y el valor objetivo considerado.

El ICA finalmente es calculado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Las variables utilizadas para el cálculo del ICA fueron tomadas de las CCME - Water Quality Guidelines para protección de la vida acuática de lagos, ríos y estuarios:

pH, O.D., fósforo, nitritos, nitratos, cadmio, cromo hexavalente, SST, cobre, mercurio, plomo, zinc y coliformes fecales. Las demás variables no se tuvieron en cuenta debido a que no están incluidas dentro de las pautas de la CCME.

En la Tabla 3.2.38 se presenta las concentraciones de referencia de la CCME para el cálculo de los ICA.

Tabla 3.2.38 Concentración de referencia de la CCME para el cálculo de los ICA

| Variable   | Protección de la vida acuática | Uso Recreacional |
|------------|--------------------------------|------------------|
| Cadmio     | 8.8 µg/l*                      | –                |
| Cromo VI   | 8.9 µg/L                       | –                |
| C. Fecales | –                              | 200m.o./100 ml   |
| Fósforo    | 0.03 mg P/L                    | 0.03 mgP/L       |
| Cobre      | 2.0 µg/L                       | –                |
| Mercurio   | 0.1 µg/L                       | –                |
| Nitratos   | 2.9 mgN/L                      | –                |
| Nitritos   | 0.06 mgN/L                     | –                |
| Oxígeno    | 6.5 to 9.5 mg/L                | –                |
| pH         | > 6.5 to < 9                   | 5.0 to 9.0       |
| Plomo      | 7.0 µg/L                       | –                |
| SST        | 29 mg/L                        | -                |
| Zinc       | 30 µg/L                        | -                |

\*El cadmio no es usado por la CCME. Debido a la toxicidad de este metal se decidió incluirlo en el índice de calidad ambiental (Tabla 3.2.39), tomando el valor de la concentración criterio crónica (CCC) de la NOAA para agua marina.

Tabla 3.2.39 Resultados de los Índices de Calidad del Agua -ICA.

| CUERPOS DE AGUA EVALUADOS |                           |                                         |                                |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
|                           | Cga. Honda<br>CH-1 y CH-2 | Bahía de Cartagena<br>BC-2, BC-3 y BC-4 | Canal del Dique<br>CD-1 y CD-2 |
| ICA                       | 83.6                      | 77.3                                    | 42.4                           |
| Categoría                 | Buena                     | Regular                                 | Altamente Contaminada          |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Según estos Índices de Calidad del Agua - ICA, la calidad del agua de la Cga. Honda es **Buena**, el sector de la Bahía de Cartagena evaluado es **Marginal** y el sector del canal del Dique evaluado presenta un ICA **Altamente Contaminado**.

### Discusión de resultados

-El canal del Dique se presenta como una de las principales fuentes de aporte de sólidos en suspensión, nutrientes, materia orgánica y algunos metales (cobre, cromo total, plomo y zinc), a la bahía de Cartagena.

-Según las directrices propuestas por Bricker et al., para evaluar el grado de enriquecimiento excesivo de nutrientes, la Cga. Honda y el sector evaluado de la Bahía de Cartagena tienen moderada evidencia de enriquecimiento y el sector evaluado del Canal del Dique, excesivo enriquecimiento por nutrientes.

-La mayoría de las concentraciones de metales en agua presentan valores por debajo de los criterios CMC y CCC de la NOAA, solo las concentraciones de cobre y zinc en las estaciones CD-1 y CD-2 ubicadas sobre el canal del Dique, presentan concentraciones por encima de estos criterios.

-La mayoría de los microbiológicos estudiados en agua presentaron concentraciones menores que el límite de detección del método. Solo las concentraciones en CD-1 y CD-2 presentaron concentraciones por encima del valor estipulado por el D 1594-84, como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario (pesca y deportes náuticos).

-El análisis de los Índices de Calidad Ambiental (ICA) aplicados a los resultados obtenidos de las muestras de agua mostraron que la calidad del agua de la Cga. Honda es Buena, la sector de la Bahía de Cartagena evaluado es Marginal y la del sector evaluado del canal del Dique es Altamente Contaminada.

### 3.2.6 Usos del agua

La estructura del sistema de acueducto de Cartagena a junio de 2000, abastece una población urbana de 750.000 habitantes aproximadamente y proviene en su totalidad del canal del Dique a través de dos ejes de abastecimiento: uno situado en inmediaciones del puente de Gambote (K66) y otro sistema conocido como



de Dolores (K81). Estos dos subsistemas independientes captan las aguas, las bombean y las conducen hasta la planta de tratamiento ubicada en la ciudad, después de un recorrido de aproximadamente 40 Km. En el sector, el caudal medio del Canal del Dique es de 320 m<sup>3</sup>/s, con un mínimo histórico registrado de 55 m<sup>3</sup>/s (POT Cartagena, 2001).

Como se puede definir, en el área de inmediaciones a la bahía de Cartagena, no se identifica la extracción de agua del Canal para suministro de agua potable. De acuerdo con lo establecido en el componente socioeconómico, en el área de influencia directa el abastecimiento de agua potable se presenta de la siguiente manera: Pasacaballos cuenta con servicio de acueducto, mientras que el resto de corregimientos no cuentan con éste, por lo que se ven obligados a adquirir el agua a través de carro tanques que llevan el agua del acueducto del área urbana de Cartagena, o a través del canal del Dique. Dependiendo de la fuente, la comunidad utiliza el agua para uso humano o para otros usos.

En Ararca, el agua potable también la obtienen de carro tanque (proveniente del acueducto del área urbana de Cartagena), aunque se presentan 9 viviendas que la adquieren de pozo o aljibe local. En promedio las familias compran 5 galones por vivienda, la cual es utilizada para consumo humano; el agua para el aseo, lavandería y otras actividades se compra en pimpinas de 5 galones, por lo general es traída en carro tanque desde el canal del Dique.

Otro uso que se presenta en la cuenca hidrográfica del canal del Dique, es el de la operación de Distritos de Riego como el de Repelón y Santa Lucía, María La Baja, entre otros (CORMAGDALENA & Universidad del Norte (1999)).

Al considerar lo anterior, la fuente que podría verse alterada sería la del canal, pero al tomar en cuenta la localización del proyecto en el mismo, se observa que no se va a limitar el uso del agua por parte de los corregimientos de la zona ni a generar conflictos, ya que además, el área de Proyecto como tal, toma actualmente el agua de carro tanque y se prevé continuar para las fases de construcción y operación.

### 3.2.7 Hidrogeología

En el subsuelo del departamento de Bolívar al norte del Canal del Dique se pueden distinguir, acuíferos (unidades geológicas que almacenan agua y permiten su circulación), acuitardos (unidades geológicas que contienen agua pero la transmiten lentamente en comparación con los acuíferos) y acuíclados (unidades geológicas impermeables a efectos prácticos, aunque no necesariamente secas). Esta distinción da una indicación cualitativa de la capacidad de un medio poroso para transmitir agua.

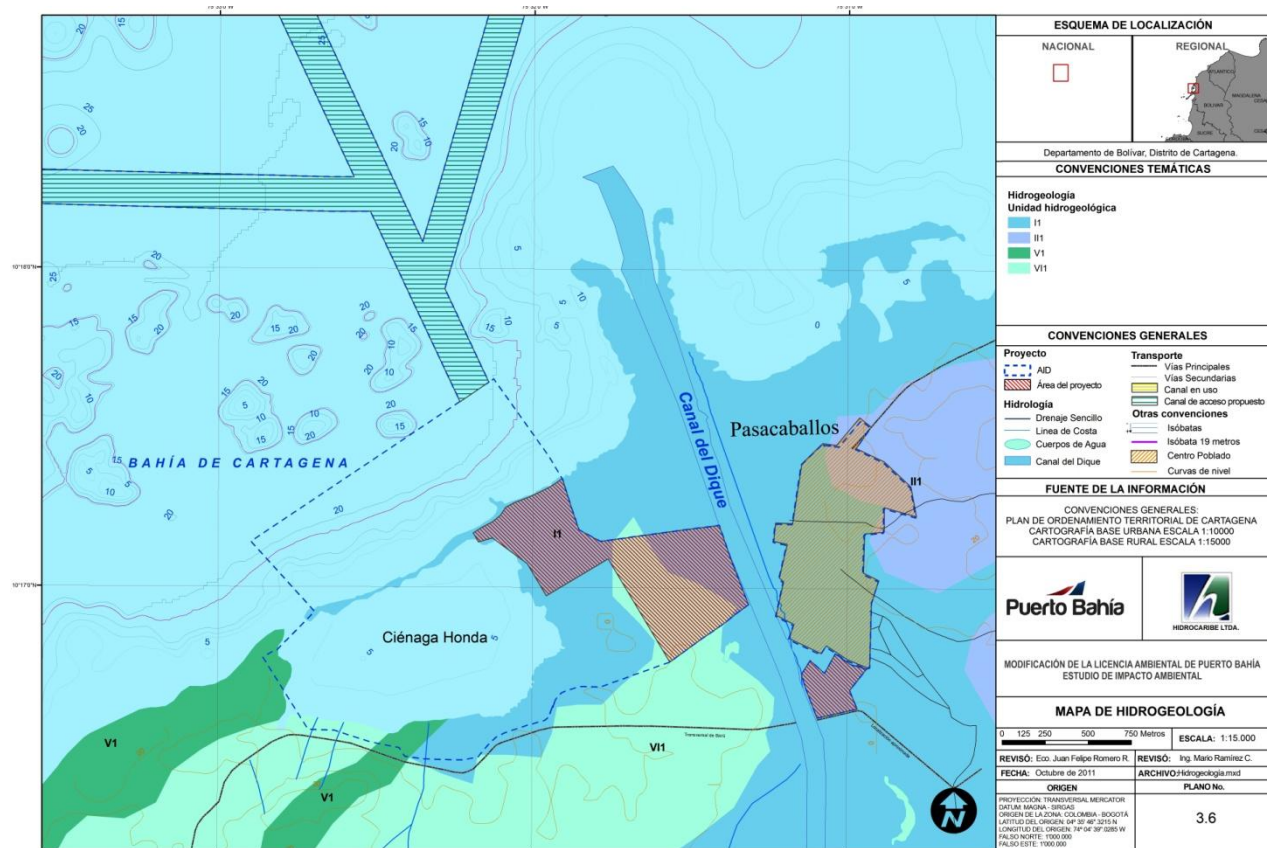
El nivel freático juega un papel muy importante en la descripción hidrogeológica de la Bahía de Cartagena, debido a que se ve influenciado por las fluctuaciones de la marea, en especial en zonas bajas asociadas a depósitos de playa, playón e intermareales.

De acuerdo con las observaciones de campo, y con base en el análisis de las aguas subterráneas llevado a cabo por Ingeominas en desarrollo del proyecto hidrogeológico de los departamentos del Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique (Boletín 29, 1988), se pueden indicar las siguientes unidades hidrogeológicas cercanas representadas por un conjunto de unidades geológicas que de acuerdo con su posición estructural, podrían estar conectadas hidráulicamente, y pertenecen al mismo ambiente de deposición (ver Figura 3.2.23 y Anexo Cartográfico).

### 3.2.7.1.1 Unidad Hidrogeológica I1

Conformada por las unidades geológicas de los depósitos de playa, depósitos eólicos recientes y depósitos eólicos antiguos. Se compone principalmente de arenas y gravas que tienen una porosidad primaria media y un espesor promedio de 12 m, capaces de contener y transmitir una reducida cantidad de agua subterránea, potable únicamente en las regiones de Polonuevo, Bocatocino y Galerazamba en esta zona el agua se caracteriza por ser dulce a salobre, dura a moderadamente dura y de tipo clorurada sódica. En el resto del área el agua subterránea es impotable por presentar concentración alta en cloruros.

Figura 3.2.33. Mapa hidrogeológico



Fuente: Ingeominas. Boletín 29, 1988

### 3.2.7.1.2 Unidad Hidrogeológica II1

Está representada por la unidad geológica de depósitos aluviales de origen continental y transicional. Se compone generalmente de sedimentos inconsolidados poco permeables de tamaño fino a grueso, de poco espesor. Se consideran como acuitardos y acuíferos pobres, principalmente hacia las márgenes de las corrientes principales que cruzan la zona semiplana. Las características químicas del agua subterránea de esta unidad, varían dependiendo a su cercanía a la línea de costa y a la composición litológica de las unidades hidrogeológicas adyacentes, ya que su mayor recarga proviene de la escorrentía superficial. Debido a su alta concentración en cloruros principalmente en las zonas cercanas a la costa y localmente en sulfatos y nitratos, no se considera recomendable para su consumo.

### 3.2.7.1.3 Unidad Hidrogeologica VI1

Esta unidad engloba a un grupo de unidades geológicas que por su carácter litológico impermeables se comportan como acucludos es decir, sin ninguna posibilidad de exportación de aguas subterráneas. Las unidades geológicas son: Volcanes de lodo, arcillositas de sibarco, arcillositas de furú, limonitas ferruginosas y arcillositas de bocatonico.

### 3.2.7.1.4 Unidad Hidrogeologica V1

Constituída por las unidades geológicas calizas arrecifales del Popa y caliza de arroyo de piedra, compuestas por calizas y margas coralinas, depositadas en un ambiente marino de aguas someras. Esta unidad desarrolla acuíferos pobres muy locales, supeditados a la densidad del fracturamiento. El agua es poco dulce a salubre, moderadamente dura a muy dura, de tipo bicarbonatada cálcica, en general el agua se considera apta para el consumo humano a excepción de algunos sitios cercanos a la costa.

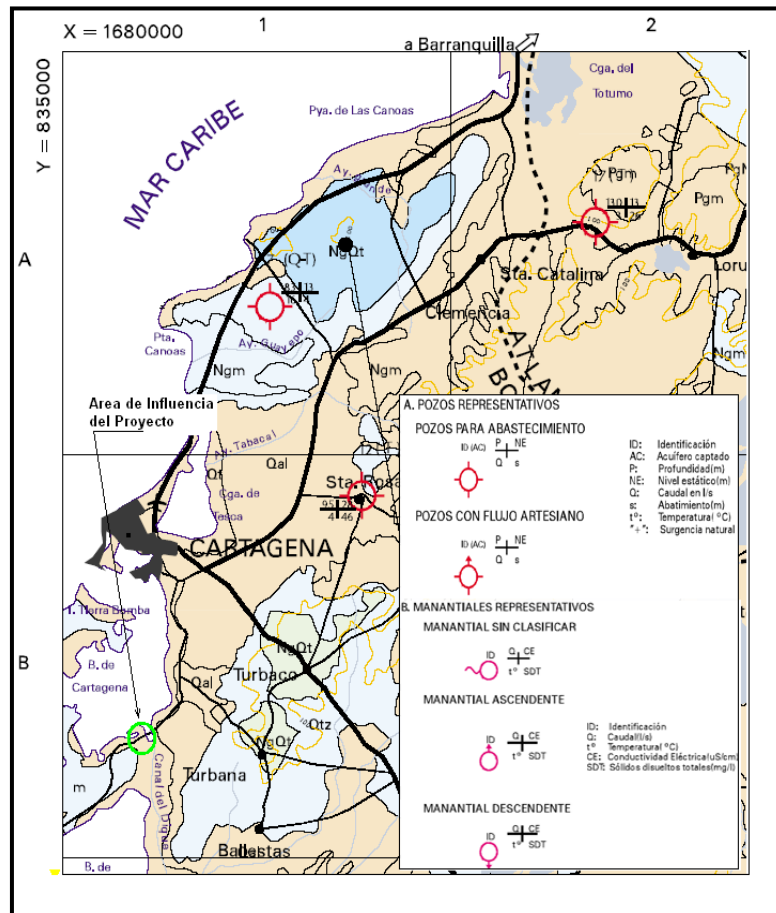
### Inventario de los pozos, aljibes y manantiales

De acuerdo al inventario elaborado por INGEOMINAS en los años 1981 y 1984 fueron inventariados 105 pozos con profundidades que oscilan entre 30 y 250 m, 549 aljibes con profundidades entre 2 y 35 m y 10 manantiales. Los pozos inventariados captan agua principalmente de las rocas del terciario y los aljibes principalmente de los sedimentos cuaternarios y de las rocas calcáreas de la unidad calizas arrecifales del Popa. Los horizontes acuíferos se drenan en menor proporción mediante los manantiales, siendo los más importantes los que drenan la Unidad Calizas Arrecifales del Popa en la localidad bolivarense de Turbaco (Figura 3.2.34). En virtud de lo anterior, la bahía de Cartagena no presenta corrientes superficiales de agua propiamente dichas; la recarga de los posibles acuíferos está limitada principalmente a las lluvias que caen en el área y a la permeabilidad de las rocas y suelos.

## 3.2.8 Geotecnia

De acuerdo con estudios geotécnicos realizados para este informe por la firma AICO (Ver Puntos de sondeos en Capítulo 1 – Generalidades ) se encontró un depósito de arcilla limosa blanda, medianamente resistente, de plasticidad media, de color parda amarilla hasta una profundidad de 7 metros; bajo la anterior, una Arcilla de Mediana Resistencia, de alta plasticidad, de coloración parda amarilla con vetas grises hasta la profundidad a que se terminaron los sondeos a 10 metros por debajo del nivel existente de terreno. En los sondeos 18 y 19 se encontró un depósito de arcilla limosa blanda a medianamente resistente, de plasticidad media, de color parda amarilla hasta una profundidad de 2,5 metros; bajo la anterior se encontró Limo Muy Blando a Blando, de coloración parda gris hasta la profundidad a que se terminaron los sondeos a 10 metros por debajo del nivel existente de terreno. En el sondeo 16 se encontró un depósito de Limo Muy Blando a Blando, de coloración parda gris hasta la profundidad del sondeo a 10 metros por debajo del nivel existente de terreno, el nivel freático no se detectó en ninguna de las perforaciones realizadas.

Figura 3.2.34. Inventario de los pozos, aljibes y manantiales



Fuente: INGEOMINAS, Atlas de aguas subterráneas de Colombia - mapa hidrogeológico - Cobertura de unidades hidrogeológicas, 2000.

### 3.2.8.1 Susceptibilidad a procesos geodinámicos

Las características del área de estudio presentan un alto grado de homogeneidad y sólo se observan diferencias en la composición de los depósitos variaciones en la granulometría de los suelos identificados. Así lo indica la zonificación geotécnica (Tabla 3.2.40) para el área de influencia directa, en términos de la susceptibilidad. Las variables empleadas son: litología, morfología y unidad geomorfológica.

Tabla 3.2.40. Zonificación Geotécnica

| Nivel de Susceptibilidad a procesos geodinámicos | Litología                   | Morfología   | Unidad Geomorfológica   | Hidrogeología            | Amenaza sísmica              |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>ALTAS</b>                                     | Depósitos de playas         | Áreas planas | Playas (Qmp)            | Porosidad primaria media | Zona de amenaza sísmica baja |
| <b>MEDIAS</b>                                    | Depósitos de arcilla limosa | Áreas planas | Formación bayunca (Ngb) | Impermeables             |                              |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

## 3.2.9 Oceanografía

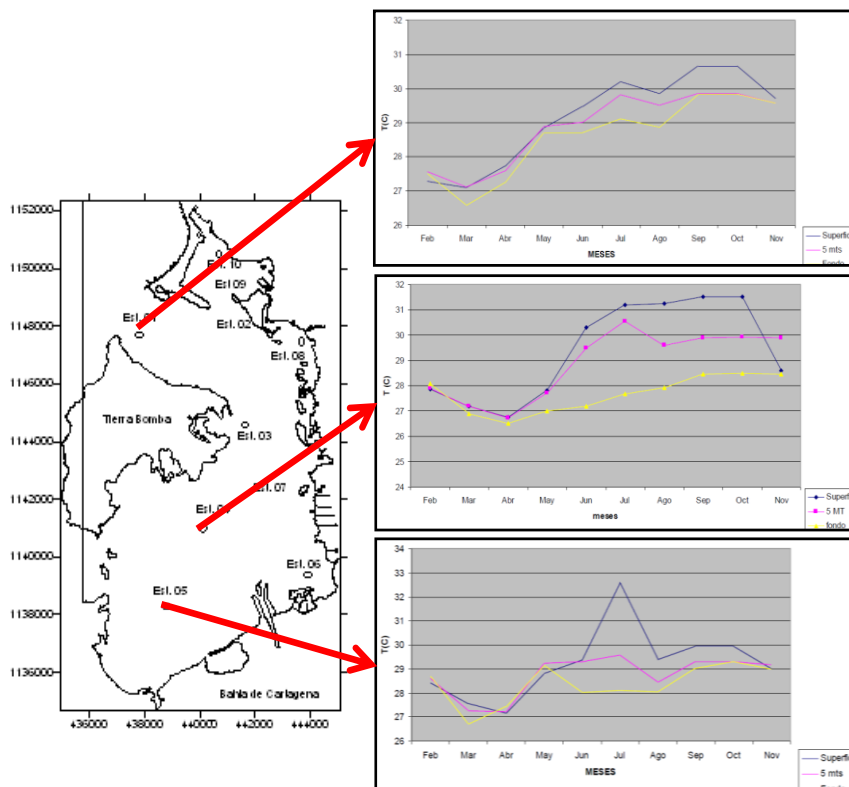
### 3.2.9.1 Características oceanográficas

La distribución horizontal de la temperatura en la bahía a 0.5 m registra valores entre los 30 y 32°C durante todo el año, notándose un valor medio de 30.5°C en la época seca y 31°C en la época húmeda, identificándose los valores extremos entre la Isla de Tierra Bomba y el sector de Bocagrande (CIOH, 2004).

Con respecto a la distribución vertical, ésta indica que durante el período lluvioso la temperatura de las aguas registra para el mes de octubre una termoclina entre los 0 y 10 m, con un gradiente máximo de 4°C entre los 25 m y la superficie. Durante el período de vientos (época seca), no se presentan registros de la presencia de una termoclina, evidenciando una masa de agua homogénea y más fría con respecto al período lluvioso. (Plagiardini et al, 1982).

Estudios más recientes (CIOH, 2000) indican que en la época seca se registran valores entre los 31°C y 30°C con distribución uniforme, descendiendo hasta los 27.5° al llegar a los 20 m. La Figura 3.2.35 se presenta el comportamiento de la temperatura en tres diferentes profundidades en tres estaciones de la bahía de Cartagena (Bocagrande, sector central de la bahía e inmediaciones de la desembocadura del Canal del Dique).

Figura 3.2.35 Comportamiento de la Temperatura del Mar en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Urbano, 2010

### 3.2.9.1.1 Temperatura superficial del mar

La distribución horizontal de la temperatura en la bahía a 0.5 m registra valores entre los 30 y 32°C durante todo el año, notándose un valor medio de 30.5°C en la época seca y 31°C en la época húmeda, identificándose los valores extremos entre la Isla de Tierra Bomba y el sector de Bocagrande (CIOH, 2004).

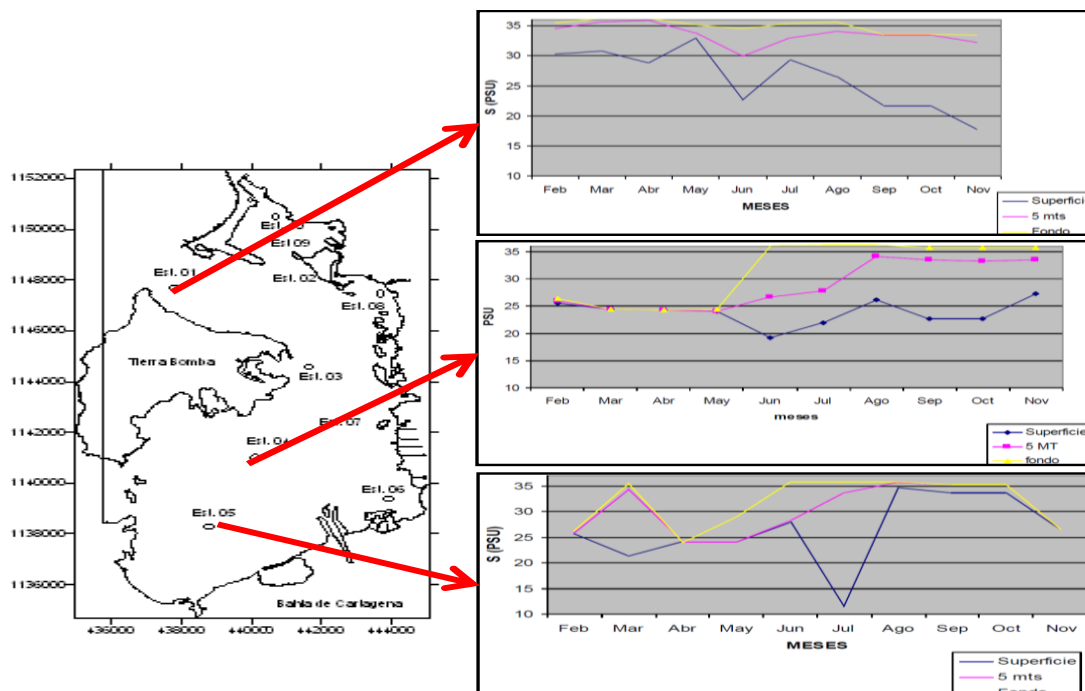
### 3.2.9.1.2 Salinidad

La salinidad presenta una dinámica similar a la temperatura, registrándose valores entre 27 y 30 ‰ en superficie en el período lluvioso y en el período de vientos se registra un ascenso de 20 metros de la isohalina de 34 ‰, partiendo de los 25 hasta llegar a los 5 metros de profundidad (Plagiardini et al, 1982).

Según CIOH (2004) a 0.5 m los valores de salinidad en la horizontal varían entre 20 y 33 ‰ en verano y de 5 a 33 ‰ en invierno. Los valores promedio en la mayor parte de la bahía varían entre 28 y 29 ‰ en verano y 25 a 26 ‰ en la época húmeda.

El comportamiento en la columna de agua indica que en verano se registraron valores de 27 a 35 ‰ desde la superficie hasta los 12 m y, a partir de los 12 m hasta el fondo se registra una masa de agua homogénea entre los 35 y 36 ‰. En la época húmeda la estratificación es similar al verano con valores más bajos en el orden de los 27 ‰ a causa de las lluvias y valores de 35 ‰ a 20 m (CIOH, 2004). En la Figura 3.2.36 se presenta el comportamiento de la salinidad en tres diferentes profundidades en tres estaciones de la bahía de Cartagena (Bocagrande, sector central de la bahía e inmediaciones de la desembocadura del Canal del Di-que).

Figura 3.2.36 Comportamiento de la Salinidad en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Urbano, 2010.



### 3.2.9.2 Mareas

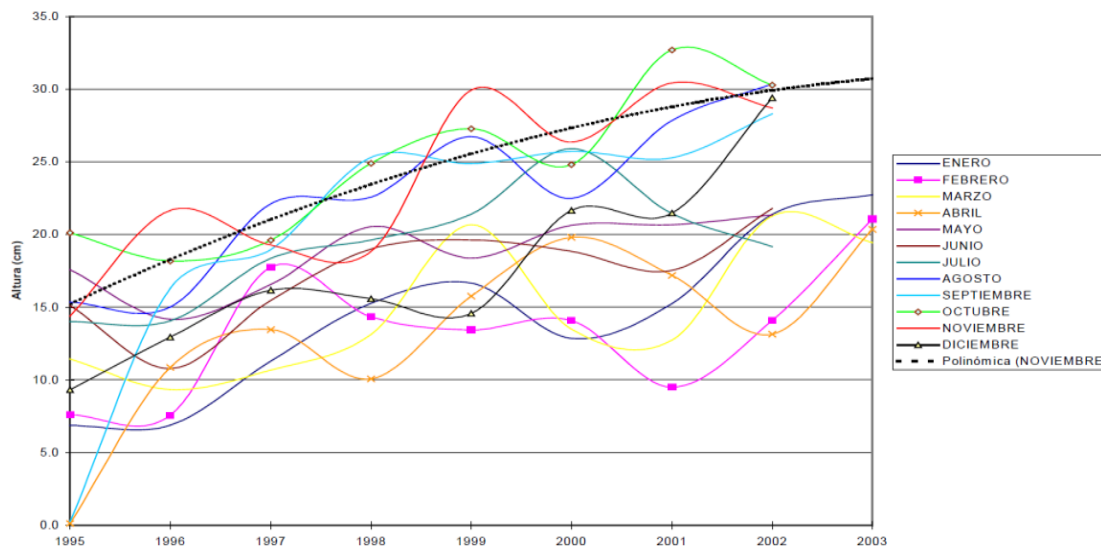
La amplitud promedio de las mareas en la Bahía de Cartagena es de 16.76 cm, un rango promedio de 33.5 cm y un período aproximado de 12 horas. Se registran de manera ocasional mareas semidiurnas de mayor rango, irregulares y de frecuencia no mayor a 6 veces durante el año, con períodos entre uno y tres días (Arias & Durán, 1984).

Lozano y Parra, (1993) demostraron que el factor de mayor influencia sobre el comportamiento marea astronómica es la declinación lunar, donde su constituyente K1 (lunar declinacional), incide en mayor porcentaje que los otros factores sobre la variación de la altura en el pronóstico.

Molares, 2004 realizó un análisis de marea a partir de los datos recolectados por el mareógrafo localizado en el muelle del CIOH, para lo cual utilizó los datos medidos durante un lapso de tiempo comprendido desde el 1 de enero de 1995 hasta el 23 de abril del 2003. Este sensor tiene un punto de nivelación que fue determinado en enero de 1995, obteniéndose una altura del BM No. 001 del CIOH, igual a 1.498 metros sobre el nivel medio del mar.

En la Figura 3.2.37 se comparan la variación multianual vs. registrada del año 2003. En esta grafica se observa una anomalía positiva muy por encima del promedio multianual. Aunque los meses de enero, marzo, abril, no-viembre y diciembre superan el promedio, el mes de diciembre es el que registra los valores más altos comparado con el multianual de ese mismo mes.

Figura 3.2.37 Promedios multianuales del nivel del mar entre 1995-2003



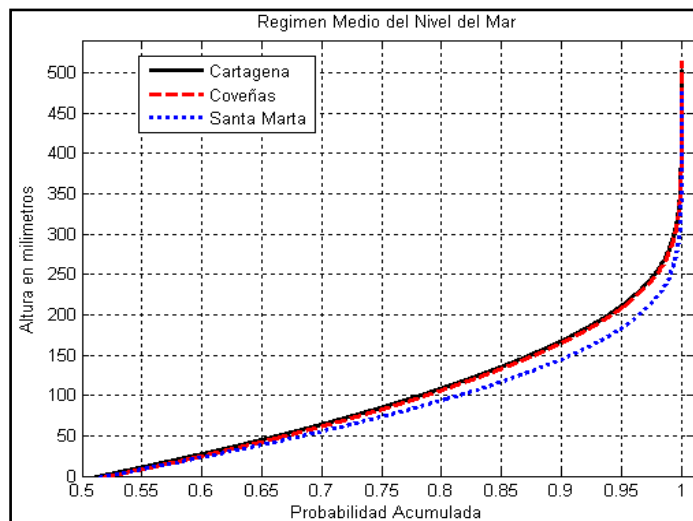
Mediante el análisis armónico de mareas de M.G.G. FOREMAN y la aplicación de análisis espectral, la marea en el área de la Bahía de Cartagena fue clasificada como mixta, principalmente diurna y sus componentes principales fueron identificados de acuerdo con la Tabla 3.2.41, (Molares, 2004).

Tabla 3.2.41. Principales componentes de marea identificadas en la Bahía de Cartagena.

| <b>CARTAGENA</b>  |                   |                |                 |             |
|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| <b>Componente</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Periodo</b> | <b>Amplitud</b> | <b>Fase</b> |
| *K1               | 0,04178           | 23,9348971     | 8,6829          | 146,28      |
| *M2               | 0,08051           | 12,4208173     | 7,1923          | 154,6       |
| *O1               | 0,03873           | 25,8197779     | 4,8631          | 354,46      |
| *P1               | 0,04155           | 24,0673887     | 3,1462          | 153,71      |
| *SSA              | 0,00023           | 4347,82609     | 2,9493          | 64,63       |
| *N2               | 0,079             | 12,6582278     | 2,389           | 226,38      |
| *S2               | 0,08333           | 12,00048       | 1,6539          | 240,02      |
| *MF               | 0,00305           | 327,868852     | 1,1555          | 128,32      |
| *Q1               | 0,03722           | 26,8672757     | 0,7627          | 82,3        |
| *NO1              | 0,04027           | 24,8323814     | 0,545           | 260,23      |

En la Figura 3.2.38 se presenta el régimen medio de nivel del mar para la Bahía de Cartagena (línea negra). Este régimen fue obtenido partiendo de que el nivel del mar en un momento dado, se encuentra determinado por dos factores: (1) la marea astronómica; y (2) la marea meteorológica. La marea astronómica es tratada como una variable determinista y la marea meteorológica como una variable estocástica. En Torres et al (2008), se describe en detalle el proceso metodológico desarrollado para el análisis.

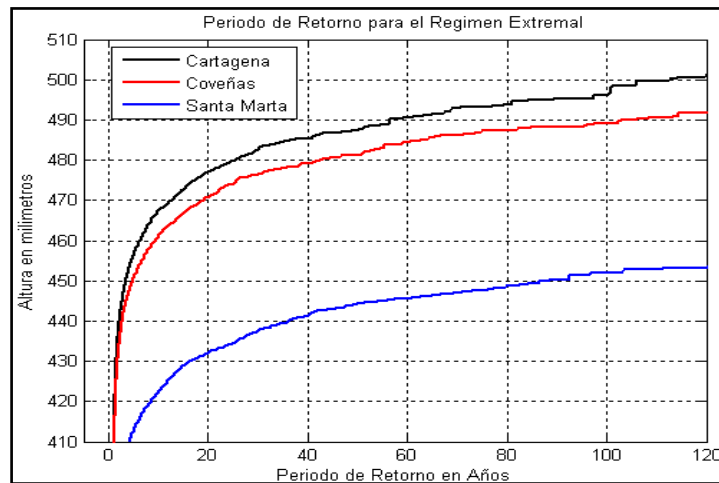
Figura 3.2.38 Régimen medio de nivel del mar para la bahía de Cartagena (línea negra).



Fuente: Torres et al., (2008).

En la Figura 3.2.39 se presenta el régimen extremo de nivel del mar para la Bahía de Cartagena (línea negra), hasta los 120 años de periodo de retorno. En Torres et al., (2008), se describe en detalle el proceso metodológico seguido para el cálculo de este régimen.

Figura 3.2.39 Régimen extremo de nivel del mar para la bahía de Cartagena (línea negra).



Fuente: Torres et al., (2008).

### **Variación del nivel del mar por las mareas**

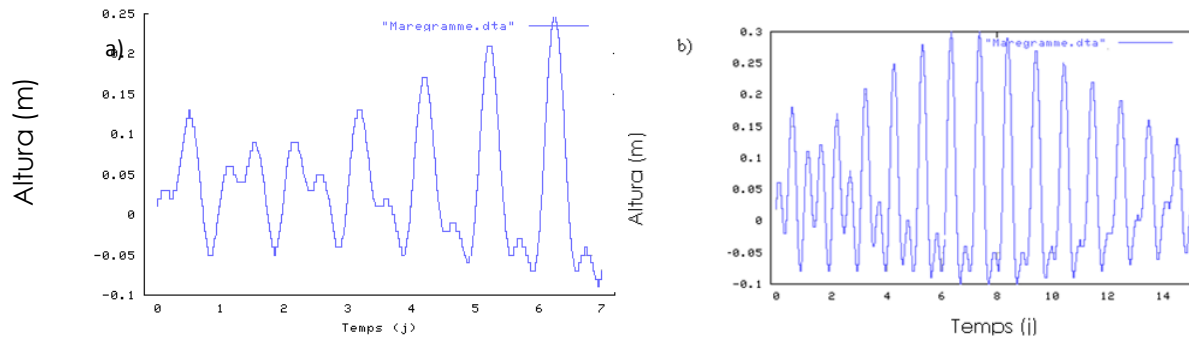
El registro de mareas calculado mediante el modelo del Servicio Mareográfico Francés SHOM (Figura 3.2.41) evidencia armónicas del tipo semi-diurno con una amplitud promedio entre 17y 42 cm con una máxima de 0,5 m. Cada 24 horas ocurren dos mareas altas y dos bajas y cada 28 días se presenta un día con una sola pleamar y una sola bajamar (marea de sicigia) que tienen la mayor amplitud del ciclo que no es mayor a 0,35m. La elevación es diferente al nivel del mar total que sufre la bahía de Cartagena, ya que hay otras fuerzas que modulan el nivel del mar.

Figura 3.2.40 El oleaje de fondo proveniente del mar abierto que entra a la Bahía por Bocachica



altos en dicha época (Figura 3.2.42). Este componente, junto con los días de la marea de sicigia y el oleaje, ha generado niveles de hasta 1,5 m por encima del nivel de más baja marea, provocando inundaciones.

Figura 3.2.41 Ciclo de marea de la bahía de Cartagena durante

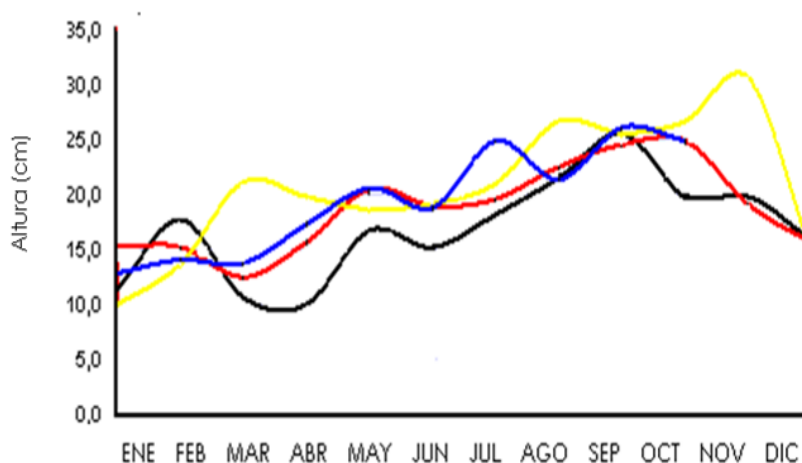


a) la semana del 15 al 22 de febrero y b) todo el mes de febrero de 2006

Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE

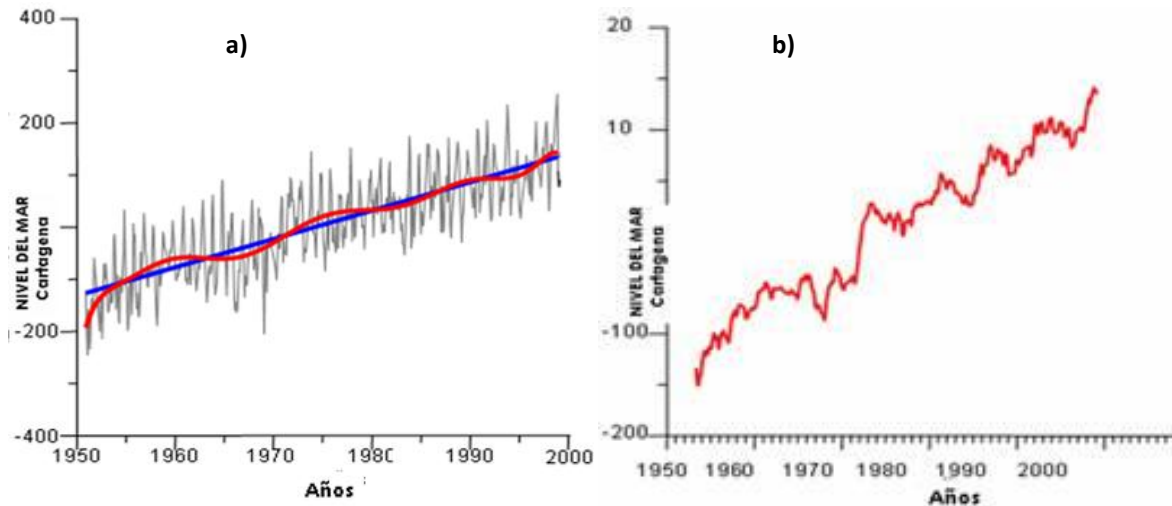
Además, es un hecho científico comprobable, que el clima de la tierra a nivel global se esta calentando, haciendo que el deshielo de los casquetes polares y los índices de expansión a nivel tropical sean cada vez mayores. Un análisis de más de 50 años del nivel del mar en Cartagena muestra claramente que el nivel medio ha venido subiendo con una tendencia de varios mm/año (Andrade 2002). Estas series, al verse en lapsos de tiempo más cortos, en términos de décadas o péntadas, también muestran 'pulsos' relacionados con el fenómeno del Niño; dichos pulsos del nivel del mar no son regulares y no se pueden pronosticar hasta la fecha, pero se pueden observar pulsos con periodicidad de 6,5 años en las últimas dos décadas.

Figura 3.2.42 Media mensual multianual de la marea. Años 1997-2000 en la bahía de Cartagena



Fuente: CIOH Cartagena. Verde 1997. Rojo: 1998. Amarillo: 1999. Azul: 2000

Figura 3.2.43 Variaciones del nivel medio del mar en Cartagena



a) La tendencia lineal (en azul) muestra un constante ascenso del NRM, la tendencia polinomial (en rojo) muestra un pulso de alrededor de 20 años;  
b) el registro anterior filtrado para observar cambios estacionales, obsérvese la periodicidad de 6,5 años en las últimas dos décadas

Fuente: Tomado de Andrade 2001.

### 3.2.9.3 Oleaje en Aguas Someras - Propagación de Oleaje

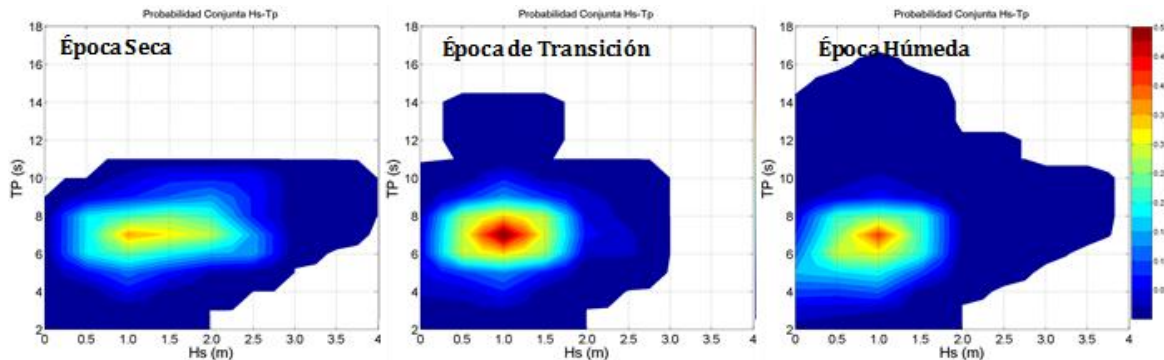
La altura significativa de oleaje en la bahía de Cartagena fluctúa entre 0,5–2,0 m, mientras que el período pico varía entre 5 y 9 s, por lo que los escenarios que combinan estos valores son los que presentan una probabilidad más alta de ocurrencia. Lo anterior es válido para todas las épocas climáticas (Figura 3.2.44).

Sin embargo, de acuerdo con las rosas de oleaje (Figura 3.2.44), existen diferencias entre el grupo conformado por los oleajes provenientes del N, NNE y NE (93% de probabilidad de ocurrencia en la época seca, 92% en la época de transición y 70% en la húmeda), y el grupo conformado por los oleajes provenientes del SO, OSO, O, y NO (2,6% de probabilidad de ocurrencia en la época seca, 7,5% en la de transición y 25% en la húmeda). Mientras en el primer grupo los oleajes con alturas significativas de 0,5 a 2,5 m. y períodos picos de 4 a 10 s. son los más frecuentes, en el segundo las mayores probabilidades de ocurrencia se presentan en oleajes con alturas y períodos menores a 1,5 m. y 8 s, respectivamente, lo que indica que las condiciones de oleaje más frecuentes, son también las más energéticas (Figura 3.2.44).

#### 3.2.9.3.1 Dinámica del Oleaje en Aguas Someras

Según el estudio de oceanografía del EIA de El Varadero en el año de 2011, a continuación se describen los resultados obtenidos para cada una de las épocas climáticas seleccionadas.

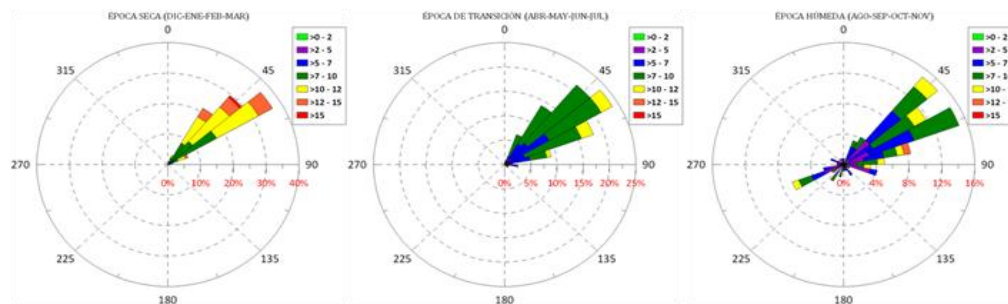
Figura 3.2.44 Diagramas de probabilidad conjunta (altura significativa – periodo pico) para cada época climática en la zona.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

El oleaje generado por viento en la Bahía de Cartagena, para cada una de las épocas climáticas consideradas. Es capaz de propagar el oleaje generado por fuera de la Bahía, de forma simultánea con oleaje local generado por viento. Los cuales están definidos por los vientos característicos para cada una de las épocas del año. (Ver Figura 3.2.45).

Figura 3.2.45 Rosas de vientos, para cada una de las épocas climáticas (Época Seca, Época de Transición y Época Húmeda) en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

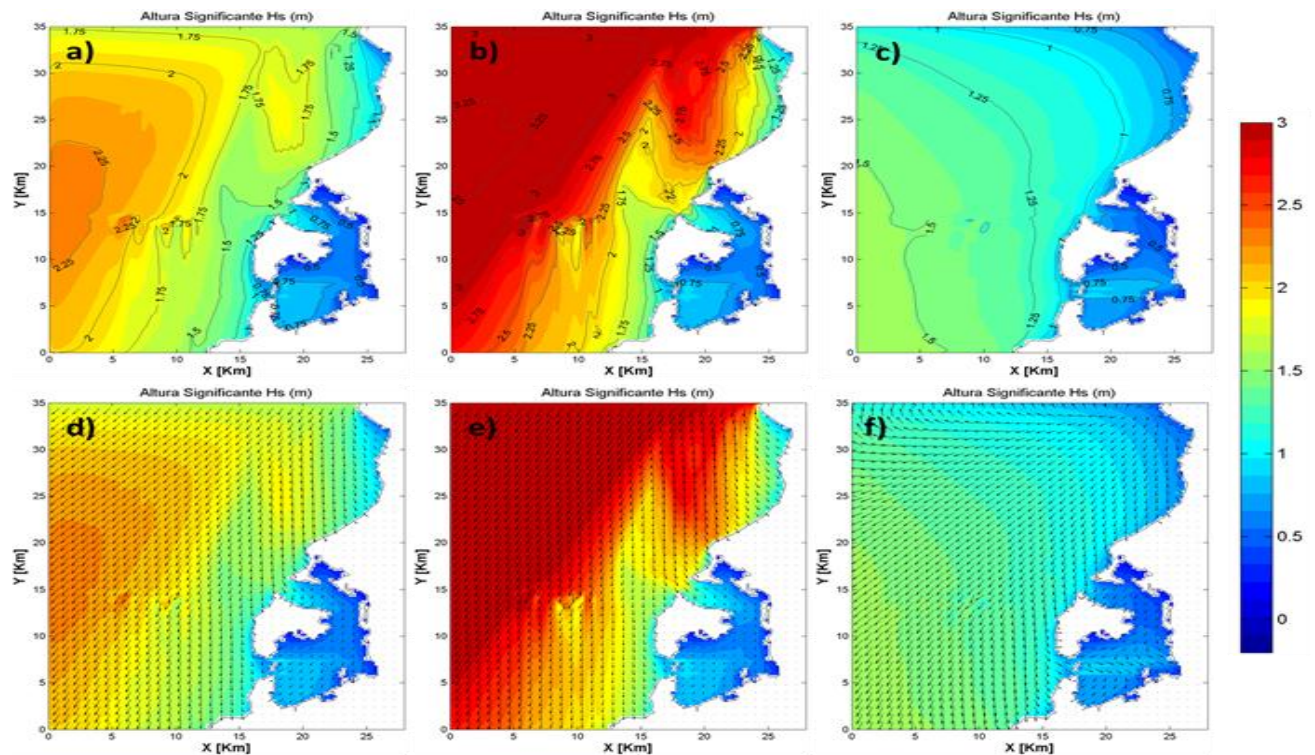
## Régimen Medio

### Época Seca

La Figura 3.2.46 y la Figura 3.2.47, presentan los resultados de las propagaciones del modelo SWAN para cada una de las mallas de cálculo empleadas: malla exterior y malla intermedia, respectivamente. En cada figura, las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de oleaje y las gráficas inferiores indican los vectores de propagación de oleaje. La altura significante se encuentra en metros.

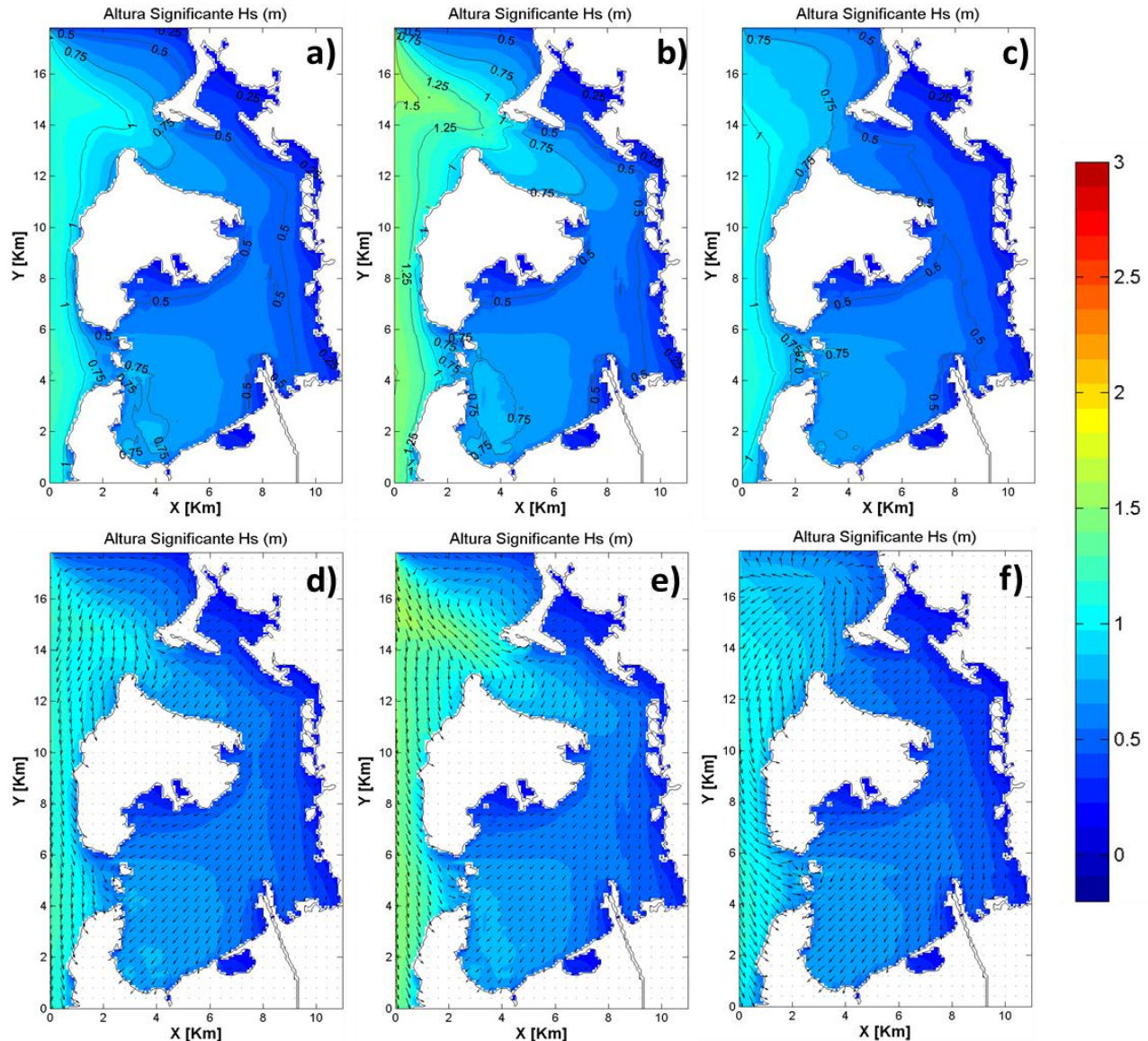


Figura 3.2.46 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla exterior en la época seca. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=1.5\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=22.5^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.85\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=22.5^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.9\text{m}$ ,  $T_p=5\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.47 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla intermedia en la época seca. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=1.5\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=22.5^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.85\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=22.5^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.9\text{m}$ ,  $T_p=5\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



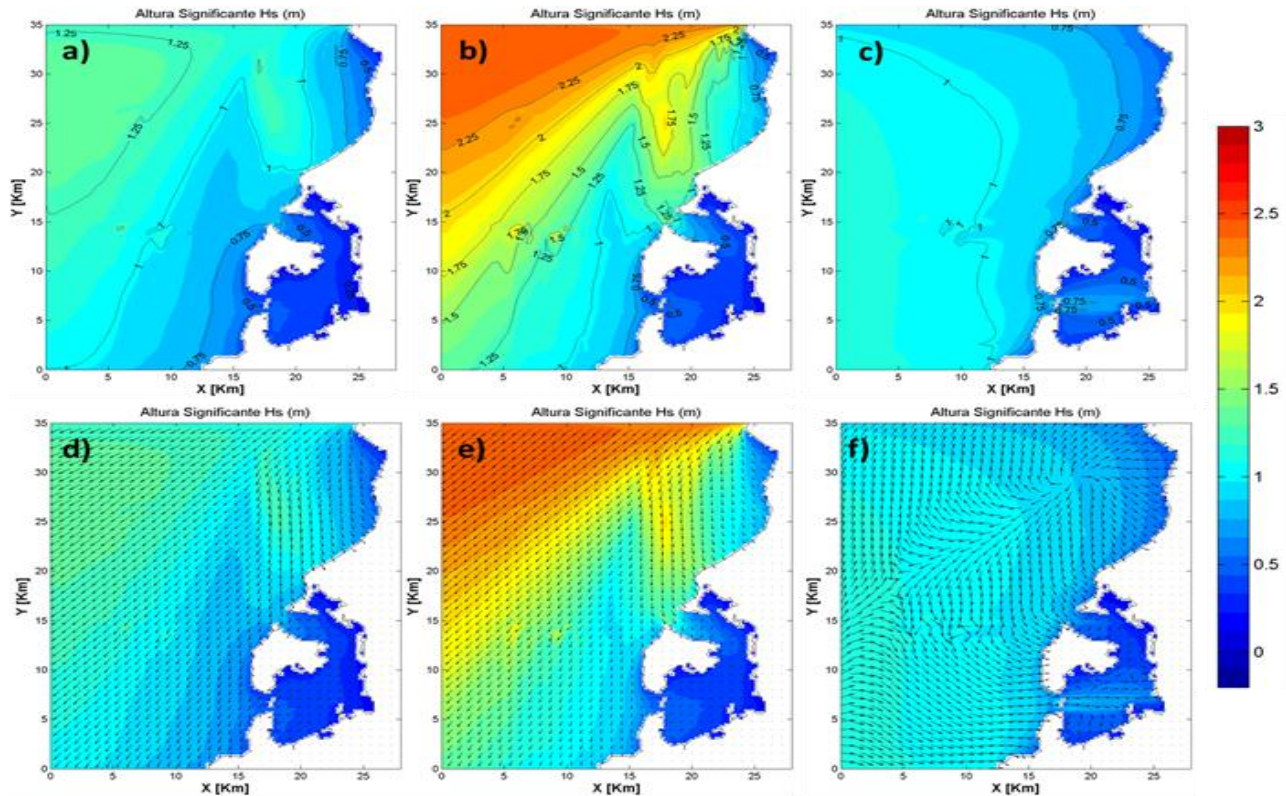
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### Época de Transición

En la Figura 3.2.48 y la Figura 3.2.49 se presentan los resultados de las propagaciones del modelo SWAN para cada una de las mallas de cálculo empleadas: malla exterior y malla intermedia, respectivamente, para la época de transición. En cada figura, las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de oleaje y las gráficas inferiores indican los vectores de propagación de oleaje. La altura significativa se encuentra en metros.

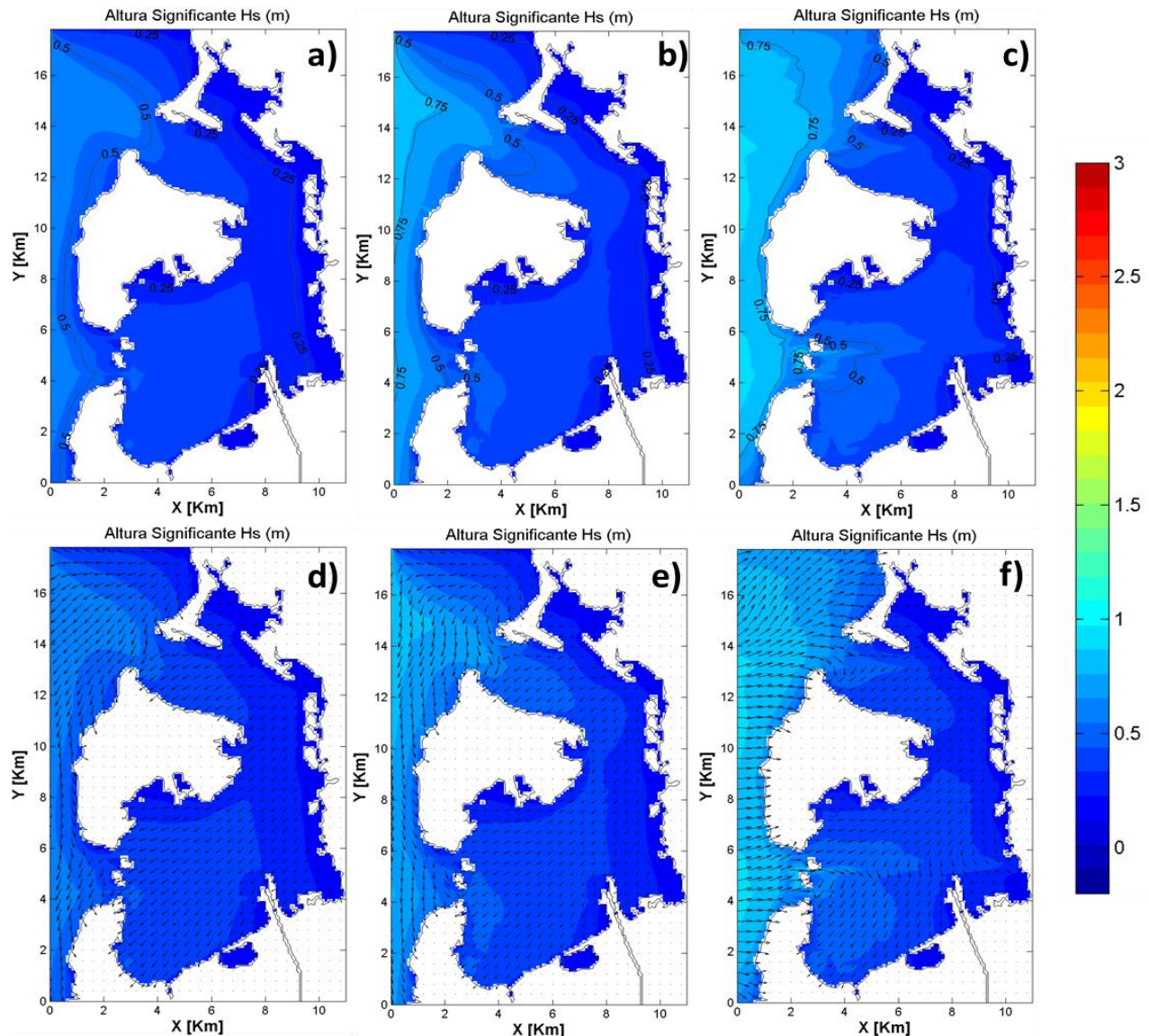


Figura 3.2.48 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla exterior en la época de transición. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=1.0\text{m}$ ,  $T_p=14\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.33\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.8\text{m}$ ,  $T_p=5\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.49 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla intermedia en la época de transición. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=1.0\text{m}$ ,  $T_p=14\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.33\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.8\text{m}$ ,  $T_p=5\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



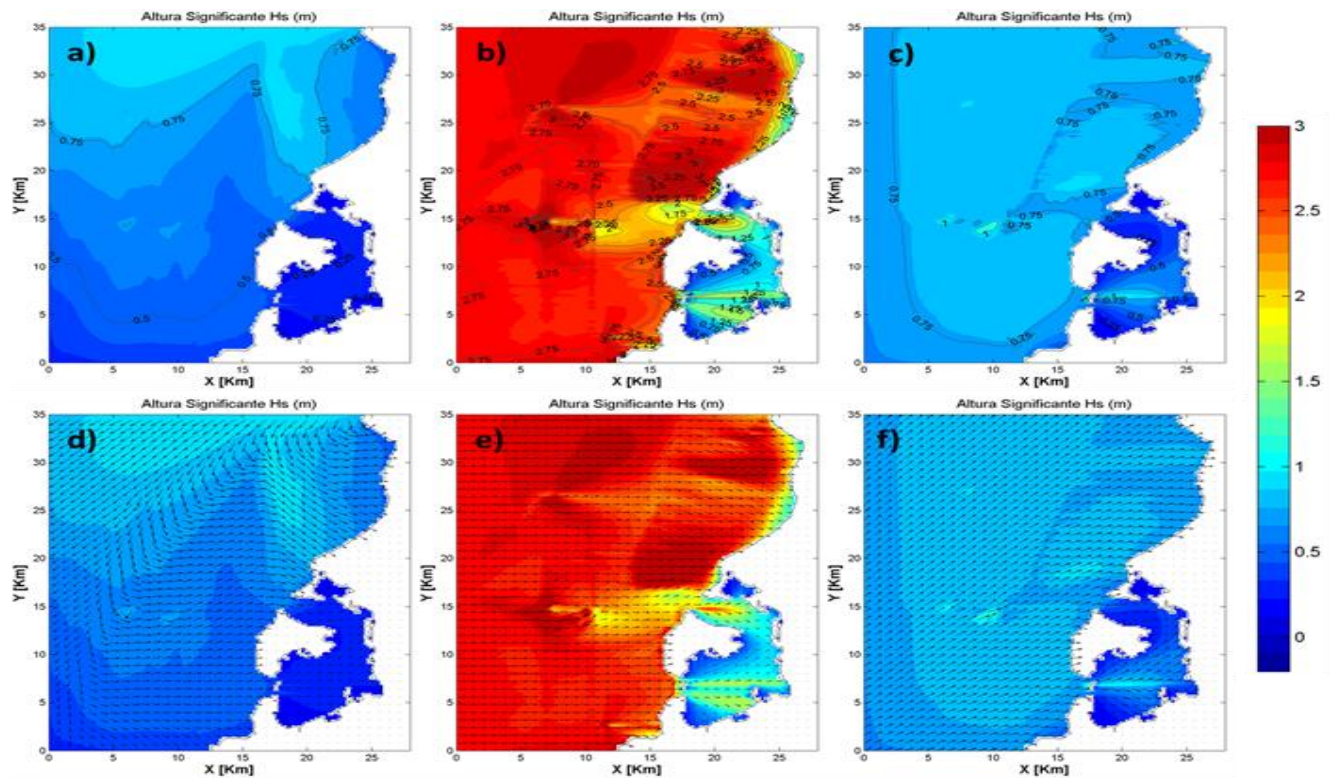
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### Época Húmeda

En la Figura 3.2.50 y la Figura 3.2.51, se presentan los resultados de las propagaciones del modelo SWAN para cada una de las mallas de cálculo empleadas: malla exterior y malla intermedia, respectivamente, para la época húmeda. En cada figura, las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de oleaje y las gráficas inferiores indican los vectores de propagación de oleaje. La altura significativa se encuentra en metros.

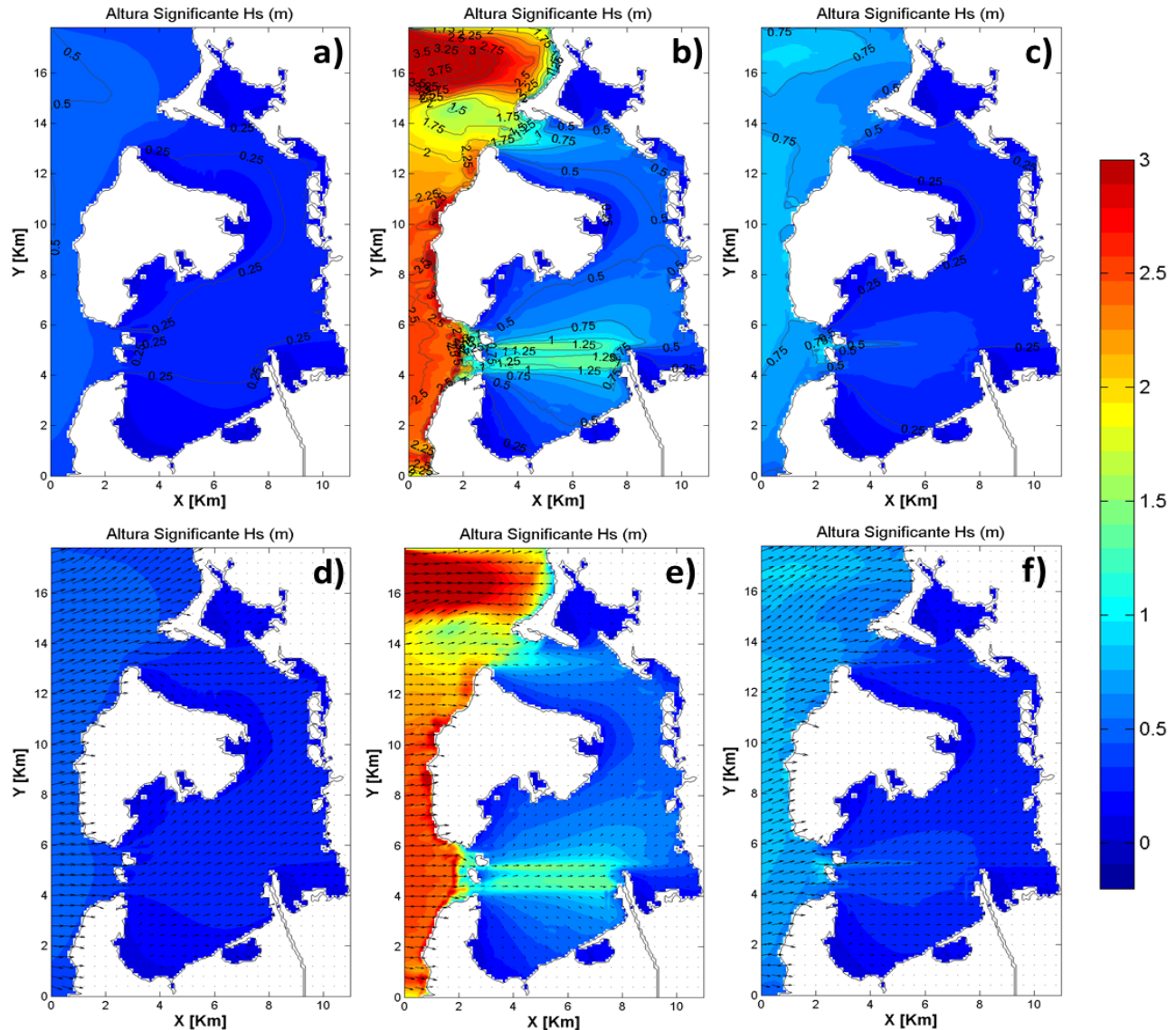


Figura 3.2.50 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla exterior en la época húmeda. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=0.75\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.68\text{m}$ ,  $T_p=16\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.6\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.51 Propagación de oleaje con el modelo SWAN para la malla intermedia en la época húmeda. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=0.75\text{m}$ ,  $T_p=15\text{s}$ ,  $D_p=45^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=2.68\text{m}$ ,  $T_p=16\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=0.6\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ ,  $D_p=237^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

De acuerdo con las gráficas anteriores, se tiene que el interior de la Bahía de Cartagena es una zona protegida y que ofrece un abrigo natural ante el efecto del oleaje. La condición más desfavorable, para el interior de la Bahía en el régimen medio, es cuando los oleajes provienen de los cuadrantes SW y WN, especialmente durante la época húmeda.

La mayor parte del tiempo, cuando los oleajes provienen del cuadrante NE (88.1% del tiempo), debido a la orientación del borde costero, con respecto a esta dirección de propagación, y a la configuración de la plataforma continental, los trenes de olas reducen su energía, debido principalmente a los procesos de refracción y disipación por fondo.



Cuando los oleajes provienen de los cuadrantes SW (8.8% del tiempo) y WN(3.1% del tiempo), arriban de forma directa al límite exterior de la Bahía de Cartagena. La Isla de Tierrabomba, juega un papel importante en la protección de la Bahía de Cartagena, impidiendo que estos oleajes la puedan afectar. Sin embargo, una fracción de la energía de estas olas, alcanza a ingresar a la Bahía por los estrechos de Bocachica, el Varadero y la Escollera. En el límite exterior de la Bahía, los oleajes se disipan, principalmente debido al proceso de rotura. Es importante destacar, cómo a pesar de ser menos frecuentes, los oleajes provenientes de los cuadrantes SW y WN, son los que mayor afectación tienen en la Bahía de Cartagena, incluso, aquellos oleajes menos energéticos, que los provenientes del cuadrante NE.

En el interior de la Bahía de Cartagena, durante la época seca, los oleajes son generados localmente debido a la acción del viento sobre el espejo de agua de la Bahía. En esta época del año, se pueden registrar olas con alturas que fluctúan entre 0.5 y 0.75 m, especialmente hacia el sector sur de la Bahía, en inmediaciones de la Bahía de Coquitos y los límites internos de los canales de Bocachica y el Varadero.

Durante la época de transición, se registra la menor afectación de la Bahía de Cartagena, tanto por el oleaje generado localmente (oleaje tipo SEA) como por el oleaje procedente del exterior (oleaje tipo SWELL).

En la época húmeda, los oleajes de mayor incidencia son los que provienen del exterior de la Bahía. En ésta época del año, durante alrededor del 30% del tiempo, los oleajes provienen de los cuadrantes SW y WN. Como ya fue mencionado los oleajes provenientes de estas direcciones, son los que más afectan, tanto el interior de la Bahía, como el límite externo de la misma, los oleajes más energéticos en ésta época del año, provienen de los cuadrantes SW y WN, tabla 4.3c. Al interior de la Bahía, se alcanzan a presentar alturas de ola del orden de 1.5 m a 2.0 m, especialmente en la zona sur (Bahía de Coquitos, área de Bocachica y el Varadero).

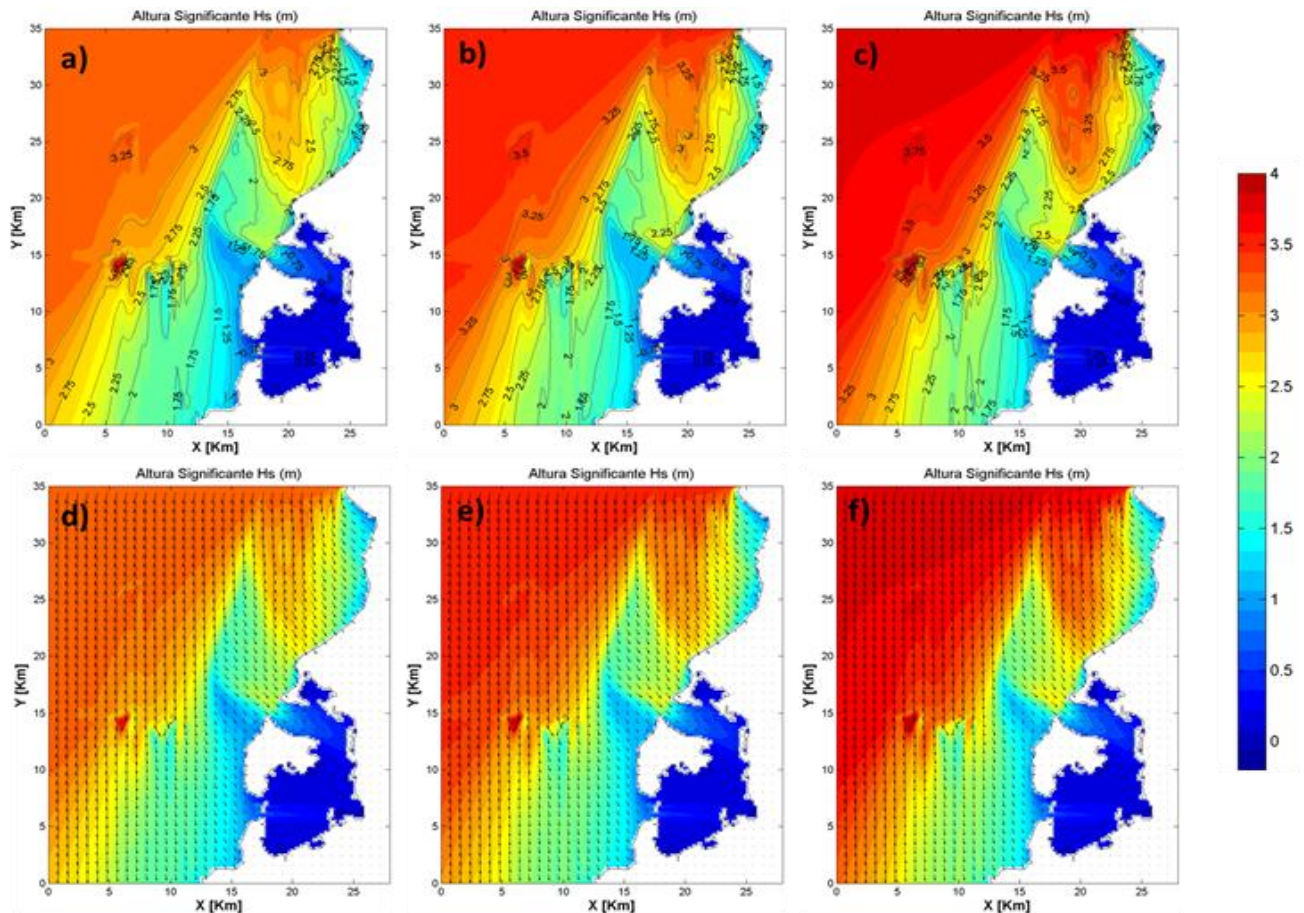
De igual forma, se puede apreciar cómo la disminución abrupta de la profundidad en esta zona de la Bahía, provoca la rotura del oleaje, disipando gran cantidad de energía, limitando la entrada de energía del oleaje a la Bahía de Cartagena.

## Régimen Extremo

### Oleaje Extremo del NNE

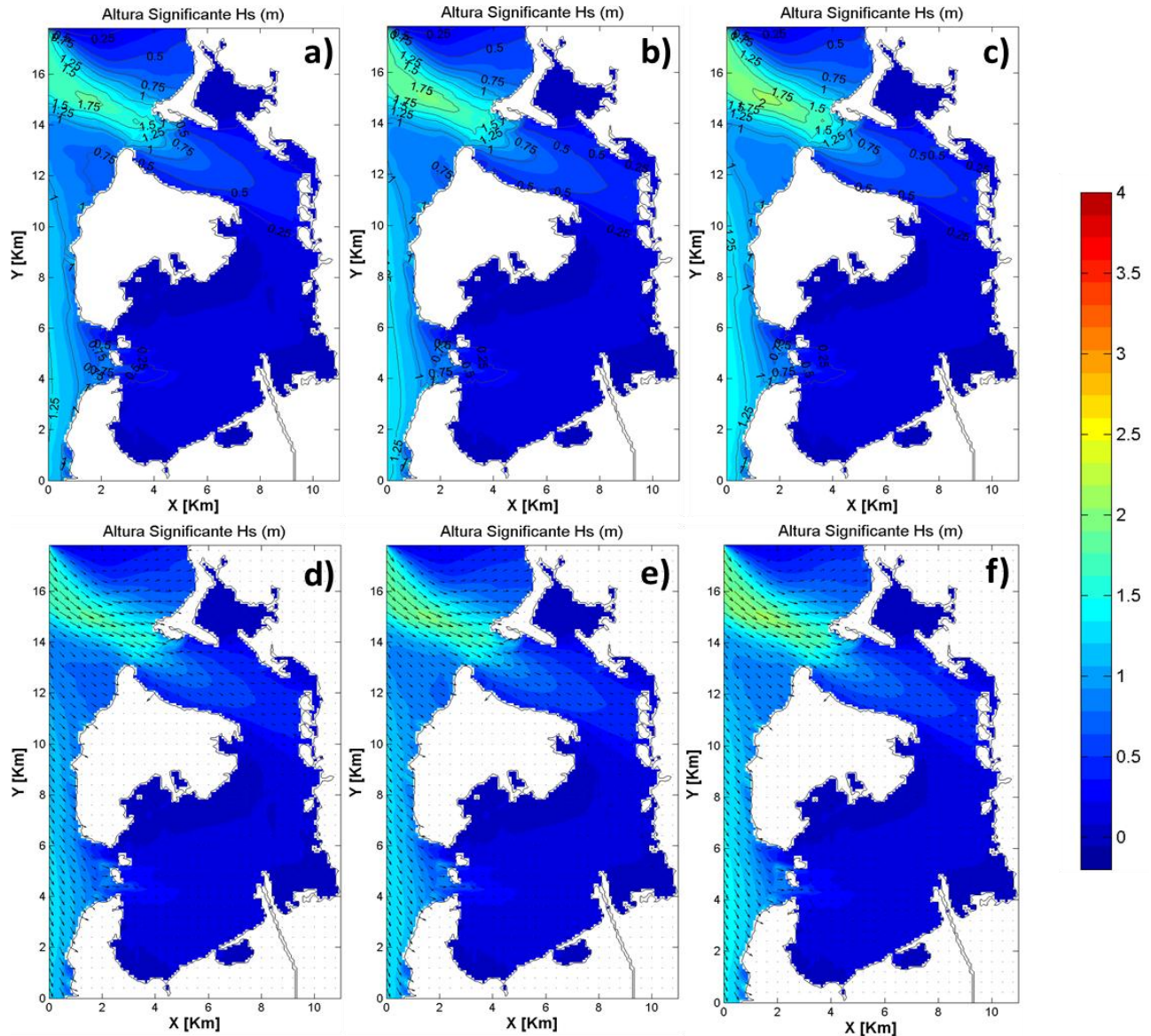
En la Figura 3.2.52 y Figura 3.2.53 se presentan los resultados de las propagaciones del modelo SWAN para cada una de las mallas de cálculo empleadas: malla exterior y malla intermedia, respectivamente, para el oleaje extremal proveniente del NNE. En cada figura, las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de oleaje y las gráficas inferiores indican los vectores de propagación de oleaje. La altura significativa se encuentra en metros.

Figura 3.2.52 Propagación de oleaje extremal proveniente del NNE con el modelo SWAN para la malla exterior. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=3.25\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=3.50\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=3.75\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.53 Propagación de oleaje extremal proveniente del NNE con el modelo SWAN para la malla intermedia. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=3.25\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=3.50\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=3.75\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=11.25^\circ$ ).



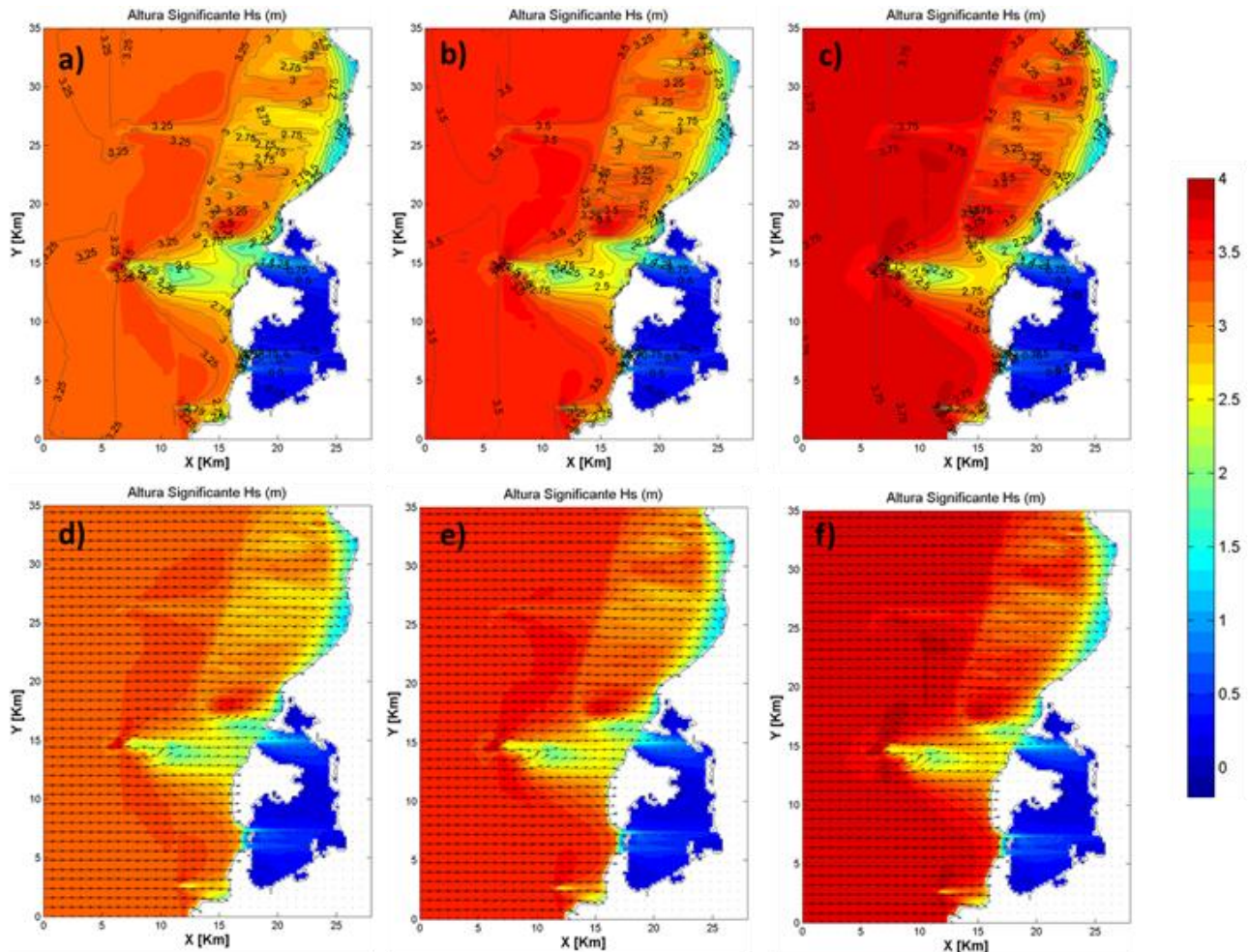
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### Oleaje Extremo del W

En la Figura 3.2.54y Figura 3.2.55 se presentan los resultados de las propagaciones del modelo SWAN para cada una de las mallas de cálculo empleadas: malla exterior y malla intermedia, respectivamente, para el oleaje extremal proveniente del W. En cada figura, las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de oleaje y las gráficas inferiores indican los vectores de propagación de oleaje. La altura significativa se encuentra en metros.

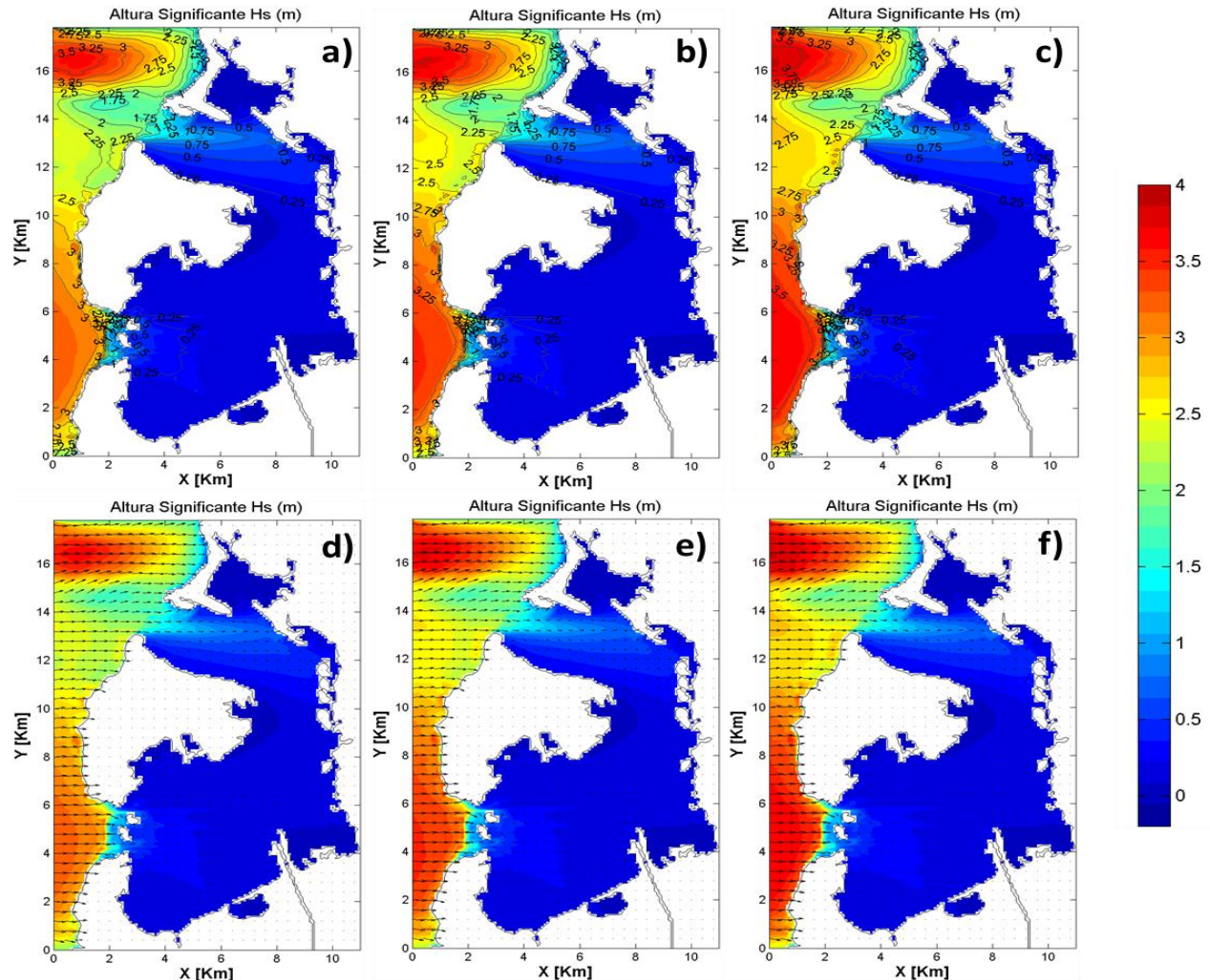


Figura 3.2.54 Propagación de oleaje extremal proveniente del W con el modelo SWAN para la malla exterior. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=3.25\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=3.50\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=3.75\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Figura 3.2.55 Propagación de oleaje extremal proveniente del W con el modelo SWAN para la malla intermedia. Las gráficas superiores corresponden a la distribución de isoalturas de ola y las gráficas inferiores a vectores de oleaje. a) y d) Caso 01 ( $H_s=3.25\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); b) y e) Caso 02 ( $H_s=3.50\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ); c) y f) Caso 03 ( $H_s=3.75\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ ,  $D_p=270^\circ$ ).



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

La transformación del oleaje extremo desde profundidades indefinidas hacia la bahía de Cartagena, es muy similar a la que sufren los oleajes en el régimen medio. Por ejemplo, el oleaje extremo procedente de la dirección NNE, se refracta y disipa a medida que se acerca a la bahía de Cartagena, Figura 3.2.52. El oleaje extremo de dirección W, prácticamente llega de forma directa a la Bahía, Figura 3.2.54.

En el interior de la bahía, cuando los oleajes extremos provienen del NNE, alcanzan a registrar alturas entre 0,25 y 0,5 m; prácticamente no se alcanzan a registrar diferencias apreciables en el interior de la bahía, entre los diferentes períodos de retorno evaluados (25, 50 y 100 años); son levemente notables en el límite exterior de la bahía. Cuando el oleaje extremo procede del W, las alturas de ola fluctúan entre 0,25 y 0,75 m, pero en zonas muy localizadas, especialmente en las entrantes de la bahía (La Escollera, Bocachica y Varadero). Los casos extremos de oleaje se ejecutaron sin considerar la generación de oleaje al interior de la



bahía. De la misma manera que ocurre cuando los oleajes extremos proceden del NNE, no son apreciables las diferencias de altura de ola al interior de la Bahía entre los distintos periodos de retorno considerados.

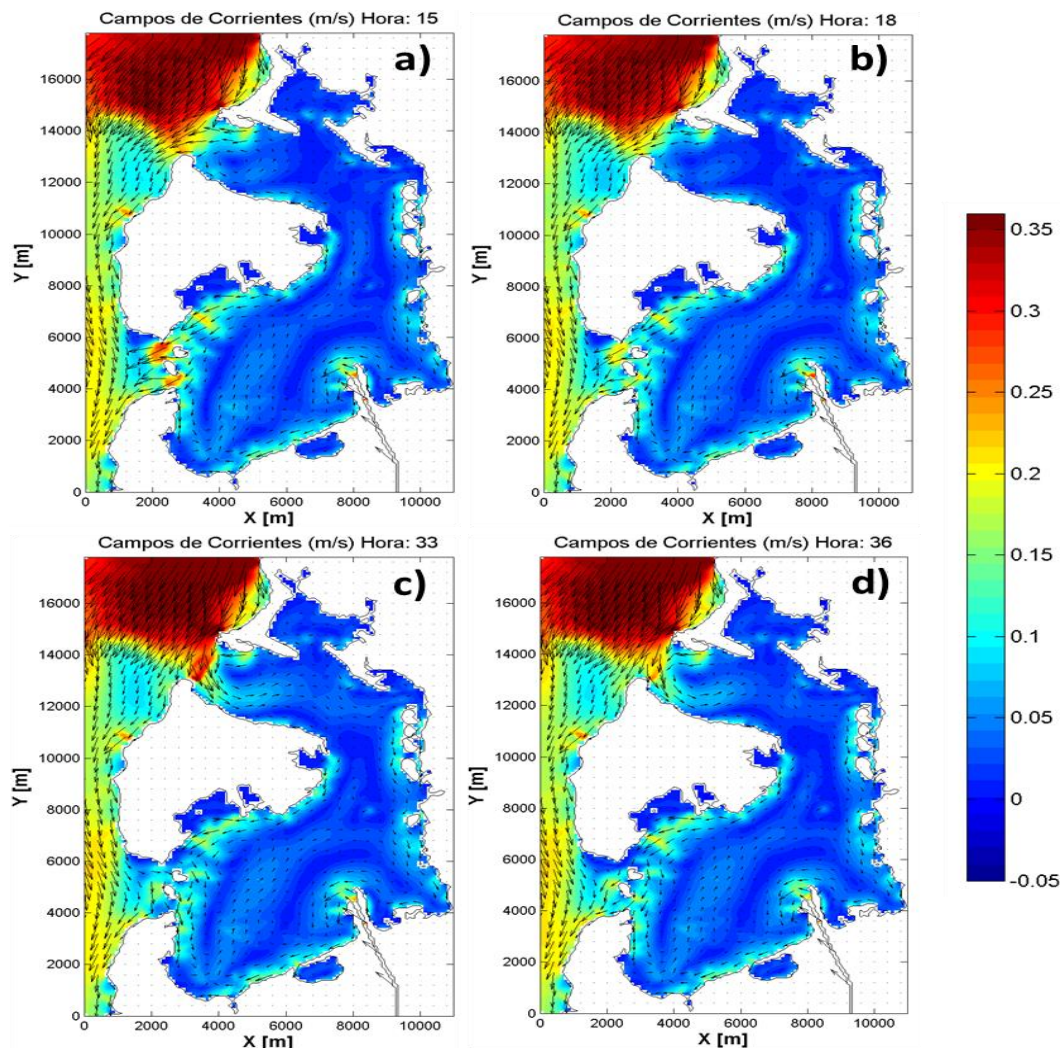
En relación con los efectos del oleaje extremo en la zona del canal del Varadero, se tiene que cuando el oleaje procede del NNE, se registran alturas de ola entre 0,5 y 0,75 m, para los periodos de retorno evaluados. No son muy apreciables las diferencias entre los distintos periodos de retorno, salvo en el límite exterior del canal. Con respecto a los oleajes extremos que proceden del W, se tiene que en el sector del canal del Varadero se presentan alturas de ola entre 0,5 y 1,25 m.

### 3.2.9.4 Corrientes

#### Época Seca

Se presenta en la Figura 3.2.56 y la Figura 3.2.57.

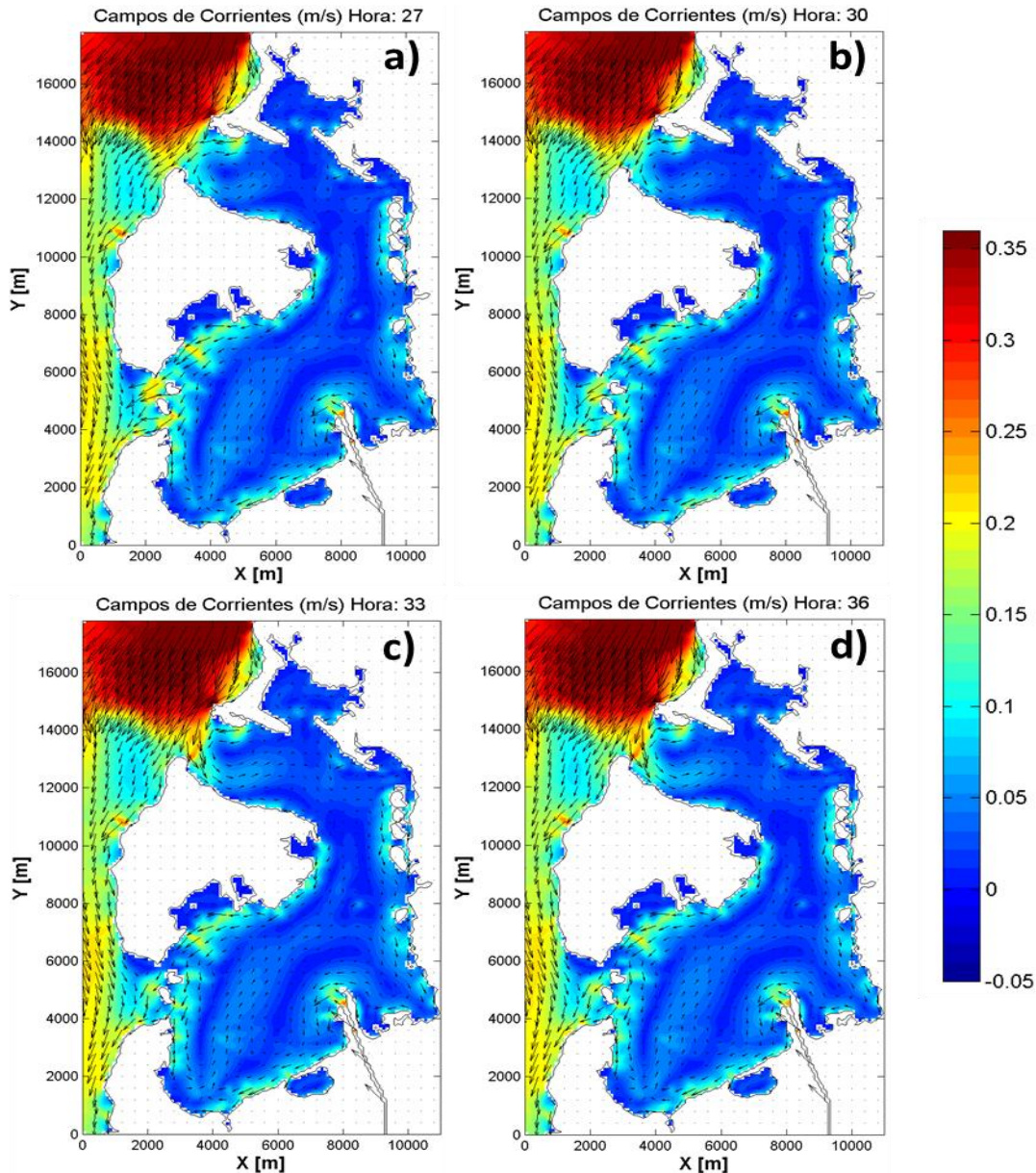
Figura 3.2.56 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época seca en marea de sicigia. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Figura 3.2.57 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época seca en marea de cuadratura. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



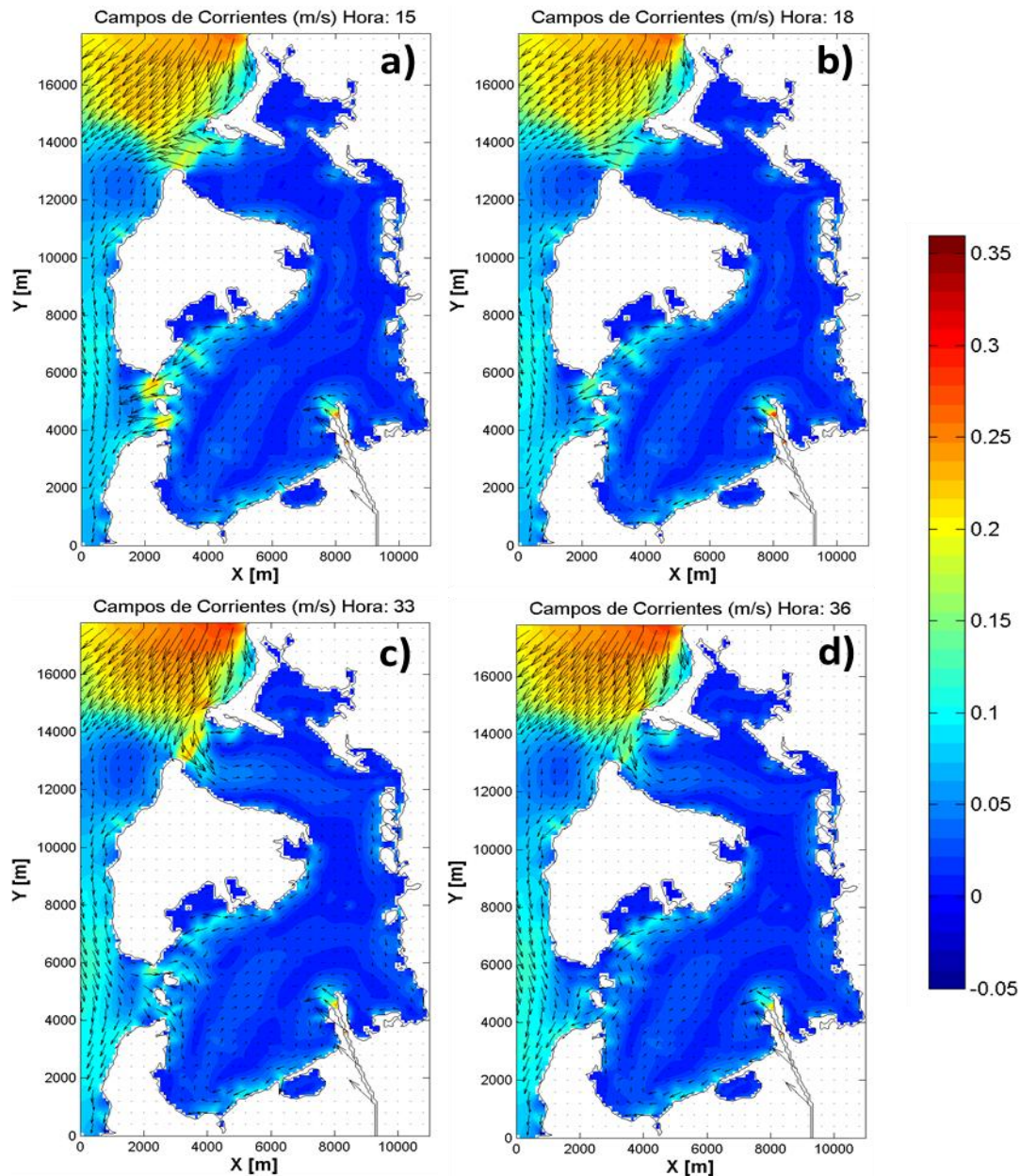
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

En cuanto al comportamiento de las corrientes, se puede decir que durante esta época del año, los mayores valores se registran en los canales de Bocachica. Durante el periodo de sicigia se registran los máximos valores, que fluctúan entre 0.25 y 0.35 m/s. Así mismo, durante la pleamar y bajamar se presentan los menores valores de las corrientes y los máximos durante el reflujo y el flujo, aunque las diferencias no son muy apreciables, debido a que el efecto de las variaciones del nivel del mar en esta zona, durante la época seca, no es preponderante. Lo anterior sugiere que, durante esta época del año, el viento es el mayor agente que influye en la dinámica de corrientes en esta zona.

### Época de transición

En las Figura 3.2.58 y Figura 3.2.59, se presentan la distribución espacial del módulo de velocidad y vectores de la corriente para diferentes instantes de marea en la malla exterior en la época de transición, tanto en mareas de sición como en mareas de cuadratura, respectivamente.

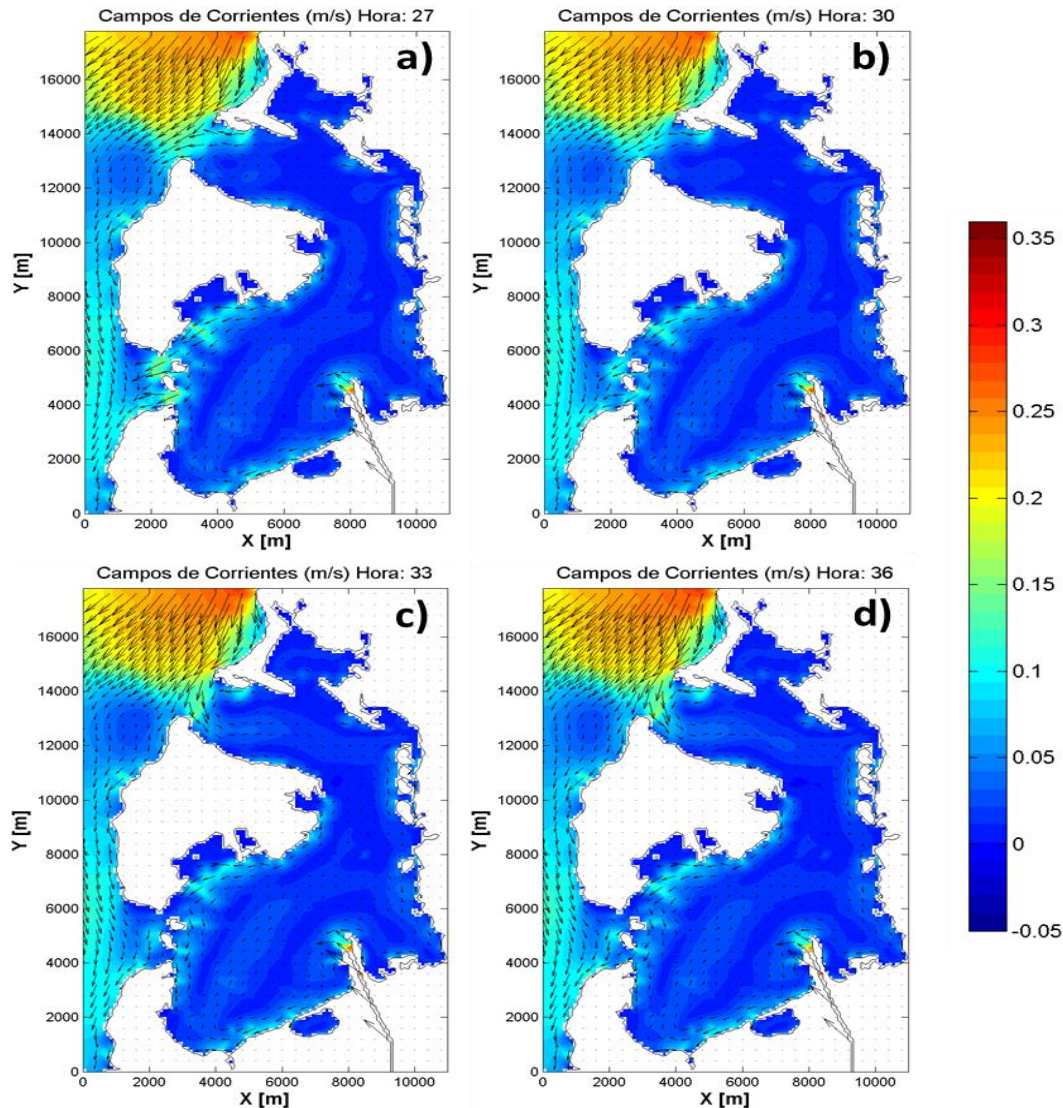
Figura 3.2.58 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época de transición en marea de sición. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Figura 3.2.59 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época de transición en marea de cuadratura. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



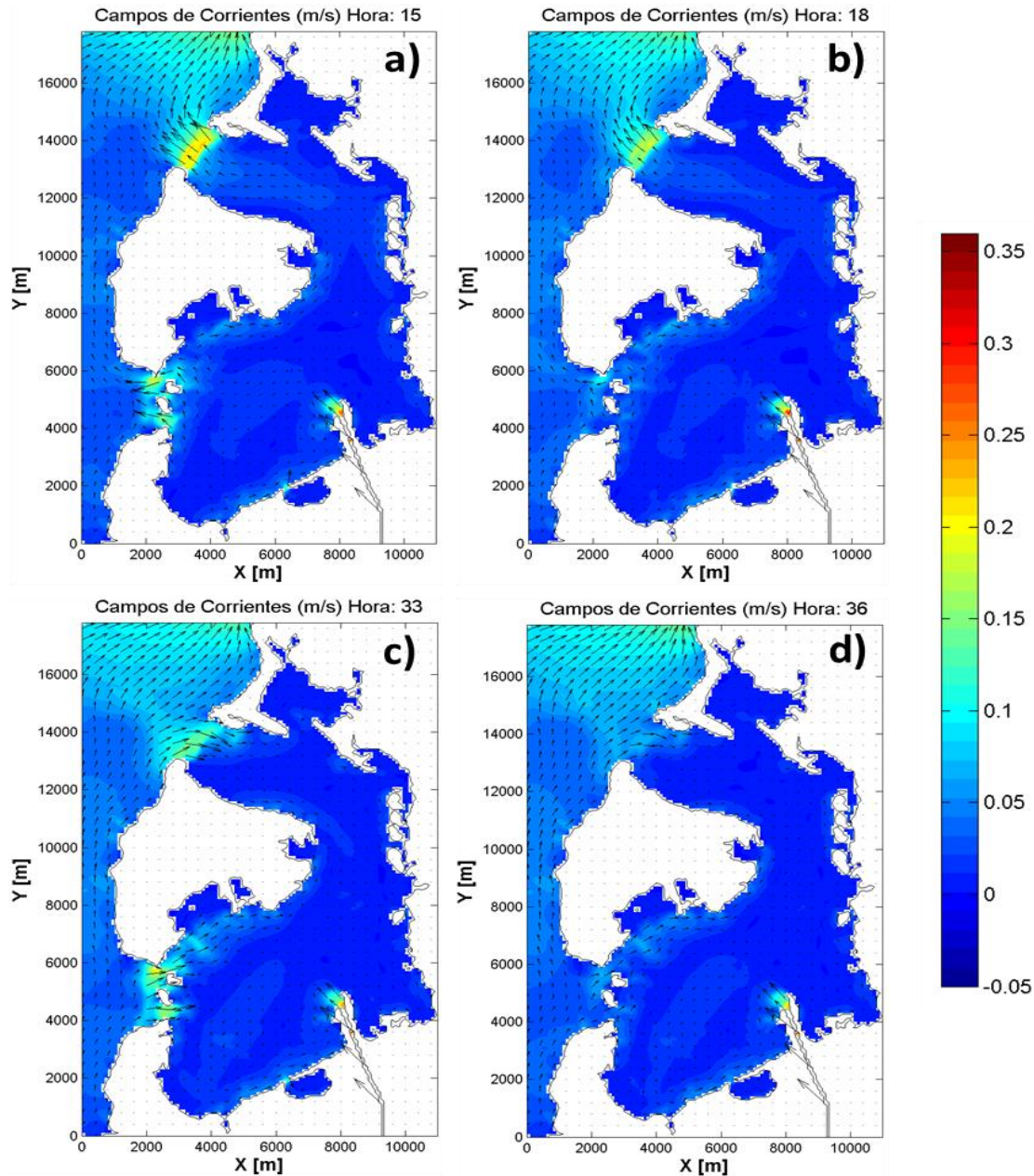
Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

De forma similar a lo que ocurre durante la época seca, los mayores valores se registran en los canales de Bocachica. Durante el periodo de sicigia se registran los máximos valores, que fluctúan entre 0.15 y 0.30 m/s. Así mismo, durante la pleamar y bajamar se presentan los menores valores de las corrientes y los máximos durante el reflujo y el flujo. De igual forma, las diferencias no son muy apreciables, debido a que el efecto de las variaciones del nivel del mar en esta zona, durante la época de transición, tampoco es preponderante. Lo anterior también indica que, durante esta época del año, el efecto del viento es mayor que el efecto de las variaciones del nivel del mar, en la dinámica de corrientes en esta zona.

### Época húmeda

En la Figura 3.2.60 y Figura 3.2.61, se presentan la distribución espacial del módulo de velocidad y vectores de la corriente para diferentes instantes de marea en la malla exterior en la época húmeda, tanto en mareas de sicigia como en mareas de cuadratura, respectivamente.

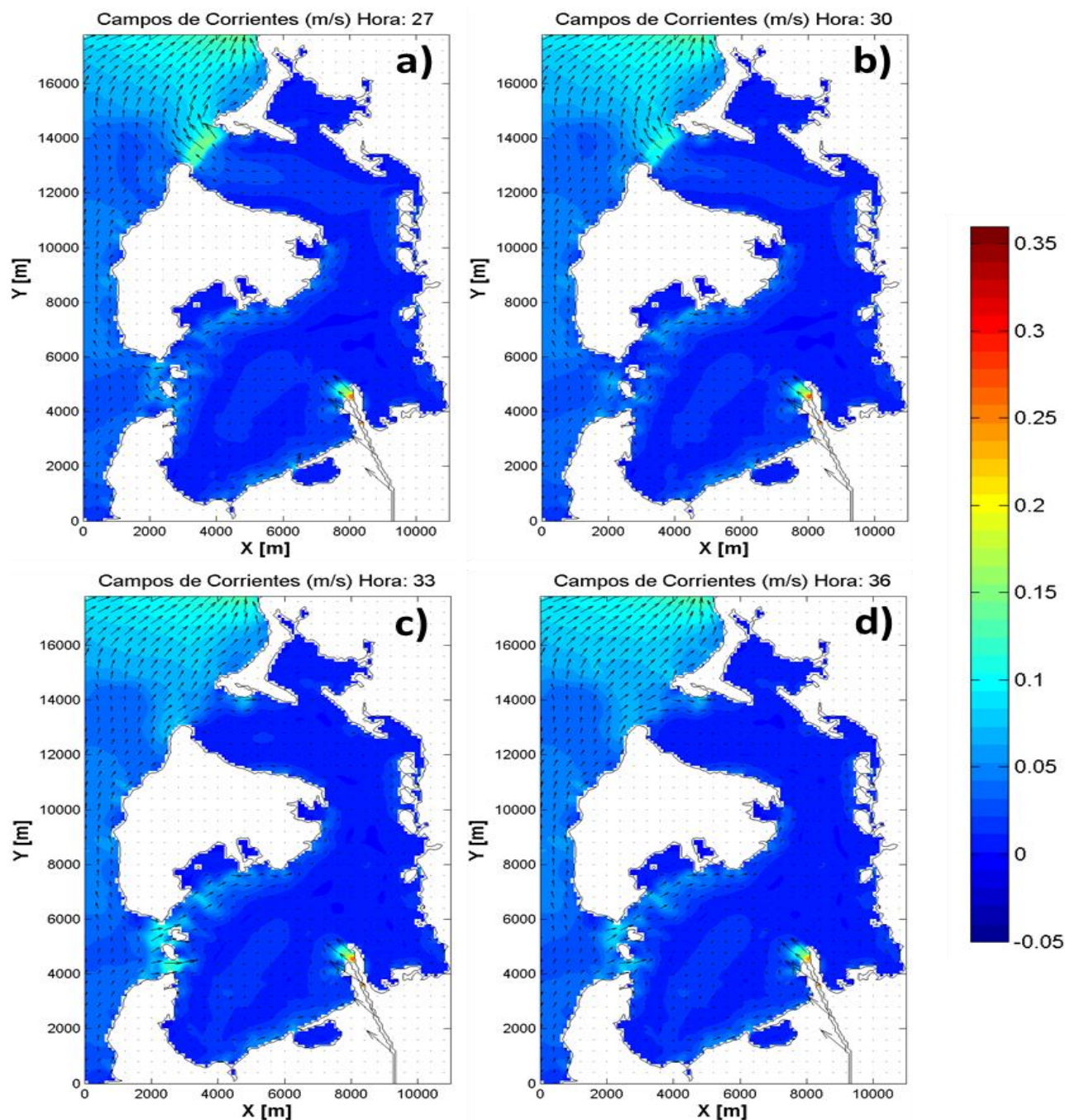
Figura 3.2.60 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época húmeda en marea de sicigia. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Figura 3.2.61 Distribución espacial del módulo de velocidad de la corriente en la malla exterior durante la época húmeda en marea de cuadratura. (a) Reflujo; (b) Bajamar; (c) Flujo; (d) Pleamar.



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



De la misma manera que ocurre durante las épocas seca y de transición, los mayores valores se registran en los canales de Bocachica. Durante el período de sicigia se registran los máximos valores, que fluctúan entre 0,1 y 0,25 m/s. Así mismo, durante la pleamar y bajamar se presentan los menores valores de las corrientes y los máximos durante el reflujo y el flujo.

En esta época del año, las diferencias en los valores del módulo de velocidad, entre los periodos de sicigia y cuadratura alcanzan a ser más notables, que en las épocas seca y de transición. Esto se debe a que se presenta un mayor efecto de las variaciones del nivel del mar en la dinámica de corrientes en la zona. Así mismo, lo anterior también indica que, durante esta época del año, el efecto del viento es menor que el efecto de las variaciones del nivel del mar, en los campos de corrientes del área de interés.

### 3.2.9.5 Tormentas

Durante el trimestre diciembre-enero-febrero, el oleaje en la zona de estudio puede considerarse temporal, en términos generales, el oleaje extremal (entendido éste como régimen construido a partir de la serie conformada por las máximas alturas de ola significativa de cada año) en el Mar caribe es producido por el paso de tormentas tropicales y huracanes, desarrolladas en las zonas cercanas al Golfo de México.

### 3.2.9.6 Columna de agua

Este aspecto de los términos de referencia está orientado a definir las características químicas, físicas y microbiológicas, naturales o de origen, a partir de las cuales se podrá establecer la incidencia que en el agua en estudio, tendrá el proyecto. Este apartado se desarrolla en el numeral anterior, el cual define la Calidad del Agua.

### 3.2.9.7 Caracterización de sedimentos marinos

Para el análisis de los sedimentos marinos se consideraron los estudios realizados Universidad Javeriana (2007), los realizados por INCOPLAN S.A (2008). Adicionalmente, y dado que se amplía el área del desarrollo portuario, Hidrocaribe en 2011 realizó muestreos en puntos estratégicos para complementar este numeral, tal como se describe en el Capítulo 1- Generalidades, dentro de la metodología y se muestran los diferentes puntos de muestreo.

### 3.2.9.8 Campaña Pontificia Universidad Javeriana, 2007

En el muestreo de 2007, se encontró como primera medida que el mercurio mostró para todas las estaciones, niveles menores a los de detección en laboratorio, razón por la cual se excluye de los análisis siguientes. La Tabla 3.2.42 presenta los registros obtenidos para cada una de las variables fisicoquímicas determinadas en los sedimentos (Junio de 2007), mientras que en el capítulo de bentos se presenta la ubicación de dichas estaciones.

#### *Análisis de Componentes Principales*

La Tabla 3.2.43 indica los valores Eigen o valores propios para el conjunto de la información fisicoquímica en los sedimentos. Se destaca que gracias a las correlaciones existentes entre las variables, se acumula un 70% de la varianza en los componentes 1 y 2, y un 84% en los tres primeros.

Sobre la matriz de correlaciones se hizo una prueba de significación para cada una de ellas, y se definieron aquellas estadísticamente diferentes de cero para un 95% de confianza. Los resultados indican que existe

una fuerte correlación entre los metales pesados y que éstos a su vez guardan una relación inversa con el pH y la calcimetría, las cuales se relacionan directamente entre sí. Estas variables se expresan principalmente en el primer componente principal, o componente de mayor varianza. Por otro lado, hay correlación inversa perfecta entre limos-arcillas y arenas, resultado esperado pues estas dos variables expresan porcentualmente el tipo del sedimento para cada estación (Tabla 3.2.44, Figura 3.2.62). Estas variables se expresan sobre el componente 2.

Tabla 3.2.42. Variables fisicoquímicas de los sedimentos registradas en el área de estudio

|                                      | E-1    | E-2    | E-3    | E-4    | E-5    | E-6    | E-7    | E-8    | E-9    | E-10   |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pH (ud.)                             | 7,76   | 6,99   | 6,52   | 7,48   | 7,28   | 9,03   | 8,1    | 7,5    | 8,56   | 7,66   |
| Potencial Redox (mv)                 | 74     | 127,3  | 69     | 60,5   | 47,2   | 80,2   | 45     | 43,8   | 35,2   | 71     |
| Calcimetría (% CaCO <sub>3</sub> )   | 34,9   | 4,1    | 3,7    | 5,3    | 6,1    | 75,3   | 46,5   | 8,4    | 96,6   | 37,9   |
| Materia Orgánica (%)                 | 10,59  | 8,16   | 2,8    | 7,48   | 9,72   | 2,91   | 6,27   | 18,46  | 2,54   | 7,97   |
| Hidrocarburos Aromáticos Tot. (µg/g) | 72,47  | 5,2    | 2,6    | 1,76   | 5,2    | 1,06   | 2,03   | 2,37   | 0,11   | 3,25   |
| Limos- Arcillas (%)                  | 10,87  | 16,33  | 16,2   | 15,79  | 12,85  | 20,61  | 13,62  | 12,03  | 0,49   | 36,64  |
| Arenas (%)                           | 89,13  | 83,67  | 83,8   | 84,21  | 87,15  | 79,39  | 86,38  | 87,97  | 99,51  | 63,36  |
| Cobre (mg/Kg)                        | 1,03   | 15,442 | 19,313 | 13,37  | 1,837  | 0,593  | 1,393  | 1,633  | 1,57   | 1,953  |
| Hierro (mg/Kg)                       | 7,78   | 4966   | 4812   | 4600   | 2490   | 1,05   | 5,29   | 3,95   | 0,81   | 7,28   |
| Mercurio (mg/Kg)                     | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Zinc (mg/Kg)                         | 0,553  | 51,328 | 39,725 | 37,999 | 43,032 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,29   |
| Cromo (mg/Kg)                        | 4,275  | 33,363 | 29,461 | 28,766 | 16,633 | 2,333  | 5,429  | 6,52   | 5,935  | 6,658  |
| Cadmio (mg/Kg)                       | 0,197  | 0,76   | 1,37   | 0,64   | 1,077  | 0,123  | 0,29   | 0,31   | 0,273  | 0,41   |
| Plomo (mg/Kg)                        | 3,029  | 12,772 | 10,481 | 12,126 | 8,51   | 3,116  | 3,09   | 4,103  | 3,437  | 3,692  |

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

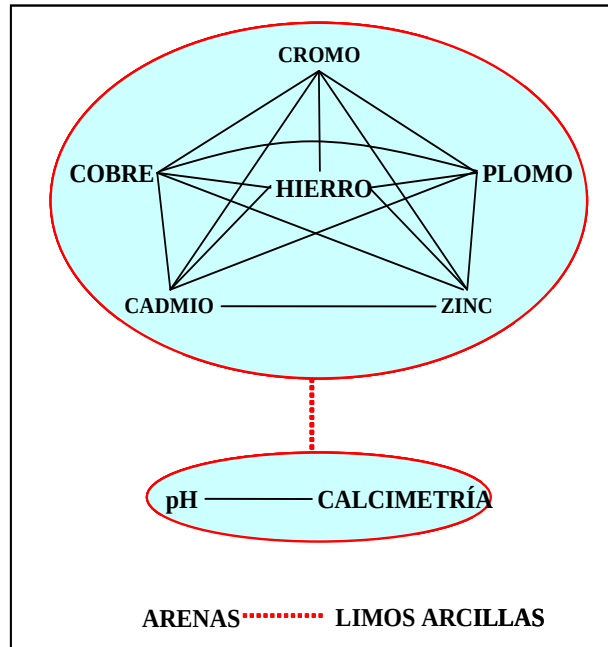
Los resultados para los dos primeros componentes principales en cuanto a las variables y las estaciones se refieren respectivamente en la Figura 3.2.63. En la primera de ellas se reconocen los resultados previamente enunciados con las variables relacionadas de forma positiva mostrando alta proximidad y las negativas sentidos opuestos a las anteriores.

Tabla 3.2.43. Valores propios para el análisis de componentes principales

| COMPONENTE | VALOR EIGEN | VARIANZA | VARIANZA ACUMULADA |
|------------|-------------|----------|--------------------|
| 1          | 6,96        | 0,54     | 0,54               |
| 2          | 2,20        | 0,17     | 0,70               |
| 3          | 1,70        | 0,13     | 0,84               |
| 4          | 1,12        | 0,09     | 0,92               |
| 5          | 0,57        | 0,04     | 0,96               |
| 6          | 0,24        | 0,02     | 0,98               |
| 7          | 0,17        | 0,01     | 1,00               |
| 8          | 0,04        | 0,00     | 1,00               |
| 9          | 0,01        | 0,00     | 1,00               |
| 10         | 0,00        | 0,00     | 1,00               |
| 11         | 0,00        | 0,00     | 1,00               |
| 12         | 0,00        | 0,00     | 1,00               |
| 13         | 0,00        | 0,00     | 1,00               |

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Figura 3.2.62. Diagrama de las concentraciones significativas



Positiva: línea continúa; negativa: línea punteada.  
Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

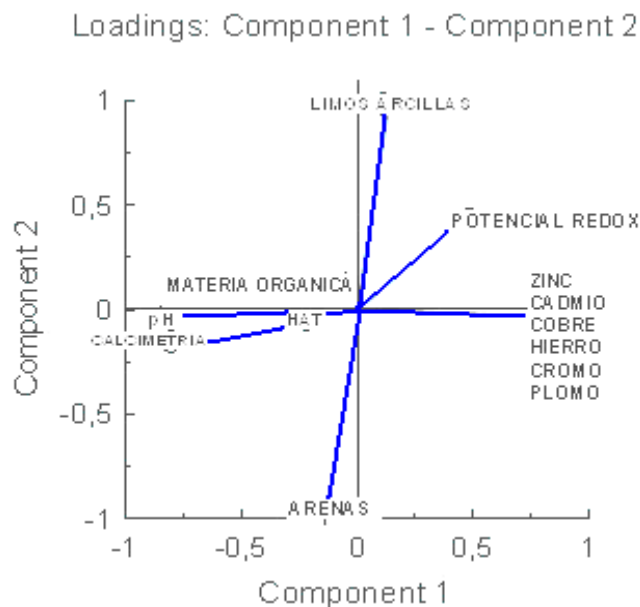
Tabla 3.2.44. Matriz de correlaciones entre las variables fisicoquímicas en el sedimento

|             | pH     | POT. RED. | CALCI. | MAT. ORGA. | HAT    | LIMOS ARCIL. | AREN.  | Cu    | Fe    | Zn    | Cr    | Cd    | Pb |
|-------------|--------|-----------|--------|------------|--------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| pH          | 1      |           |        |            |        |              |        |       |       |       |       |       |    |
| P.REDOX     | -0,282 | 1         |        |            |        |              |        |       |       |       |       |       |    |
| CALCIM.     | 0,888  | -0,287    | 1      |            |        |              |        |       |       |       |       |       |    |
| M. ORGAN.   | -0,277 | -0,102    | -0,512 | 1          |        |              |        |       |       |       |       |       |    |
| HAT         | -0,014 | 0,150     | -0,020 | 0,240      | 1      |              |        |       |       |       |       |       |    |
| LIM. ARCIL. | -0,127 | 0,379     | -0,208 | 0,005      | -0,158 | 1            |        |       |       |       |       |       |    |
| ARENAS      | 0,127  | -0,379    | 0,208  | -0,005     | 0,158  | -1,000       | 1      |       |       |       |       |       |    |
| COBRE       | -0,723 | 0,493     | -0,583 | -0,252     | -0,213 | 0,051        | -0,051 | 1     |       |       |       |       |    |
| HIERRO      | -0,736 | 0,475     | -0,679 | -0,174     | -0,225 | 0,008        | -0,008 | 0,930 | 1     |       |       |       |    |
| ZINC        | -0,728 | 0,443     | -0,699 | -0,092     | -0,214 | -0,019       | 0,019  | 0,785 | 0,949 | 1     |       |       |    |
| CROMO       | -0,764 | 0,490     | -0,690 | -0,126     | -0,244 | 0,017        | -0,017 | 0,936 | 0,991 | 0,936 | 1     |       |    |
| CADMIO      | -0,822 | 0,148     | -0,664 | -0,151     | -0,255 | 0,040        | -0,040 | 0,727 | 0,804 | 0,842 | 0,782 | 1     |    |
| PLOMO       | -0,721 | 0,470     | -0,705 | -0,077     | -0,256 | 0,013        | -0,013 | 0,878 | 0,986 | 0,961 | 0,986 | 0,762 | 1  |

En azul se presentan las relaciones positivas significativas, y en verde las negativas.

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Figura 3.2.63. Ubicación de las variables fisicoquímicas en los componentes 1 y 2



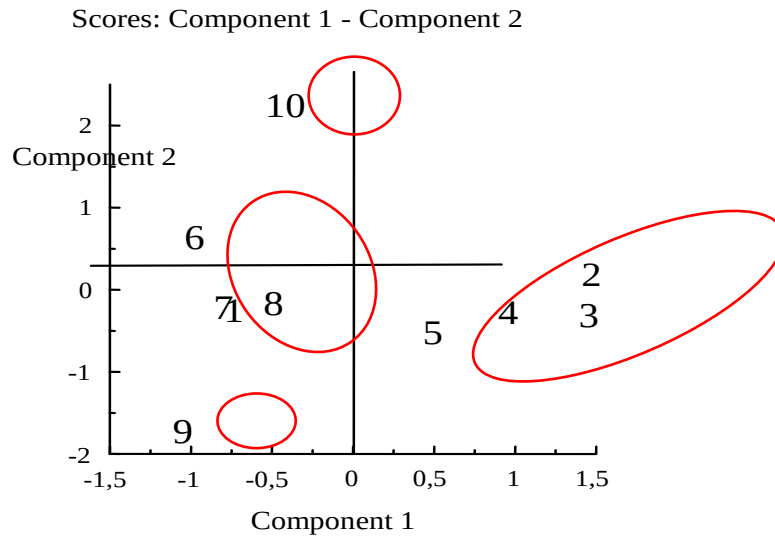
Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

La Figura 3.2.64, por su parte, permite reconocer grupos de estaciones que por su proximidad en el plano cartesiano indican condiciones fisicoquímicas próximas. La lectura conjunta y simultánea de estas dos figuras permite extraer lo siguiente:

- **Grupo A:** estaciones 2, 3, 4 y 5: en su orden muestran las más altas concentraciones de metales pesados y a su vez los menores registros de pH y calcimetría. Estas estaciones se localizan sobre el Suroriente de la Bahía y denotan tanto la incidencia del canal del Dique, como la actividad industrial. Es precisamente en esta zona de mayor contaminación donde se ubica el terminal propuesto de la SPC.
- **Grupo B:** estaciones 1, 6, 7, 8: este grupo muestra cualidades fisicoquímicas opuestas al anterior: menores metales pesados (mayor distancia a la zona industrial y al canal del Dique), mayor pH y calcimetría lo que significa una mayor incidencia de aguas marinas.
- **Grupo C:** estación 9: se sitúa al exterior de la bahía y en ella casi el 100% del sedimento corresponde a arenas.
- **Grupo D:** estación 10: se asocia a las mayores concentraciones de limos y arcillas.

Cabe destacar que las variables de mayor importancia en el componente 3 son los hidrocarburos aromáticos totales (HAT), la materia orgánica y la calcimetría. La Figura 3.2.65 expone la ubicación de estas tres (3) variables junto con las estaciones de muestreo, y de allí se evidencia que la estación 1 expone alta concentración de la primera variable (por su proximidad a la refinería); la estación 8 de la segunda; y las estaciones 6 y 9 de la tercera (acumulación de sedimentos calcáreos), por lo que el grupo B es heterogéneo a su interior.

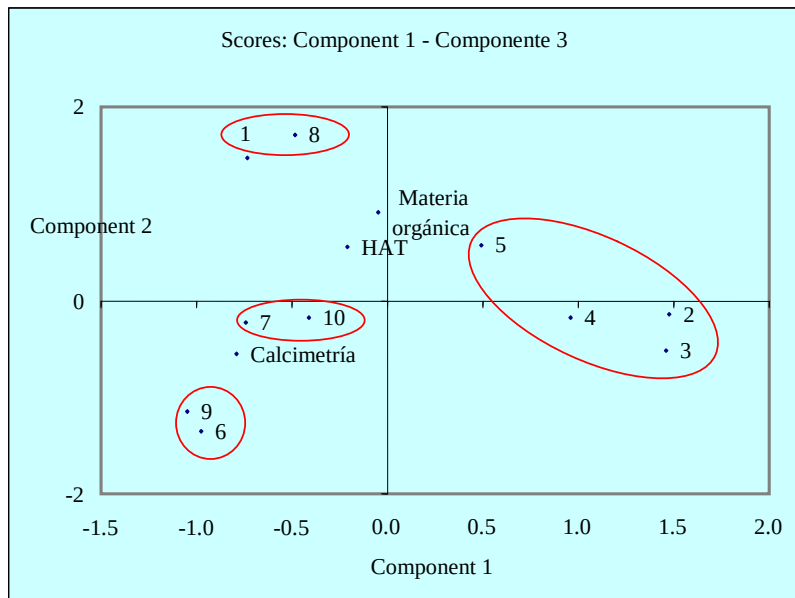
Figura 3.2.64. Ubicación de las estaciones en los componentes 1 y 2



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Es importante señalar que en todas las estaciones predominan las arenas (> 63%) por lo que no se reconocen mayores diferencias en cuanto a la granulometría en el área de estudio. Como síntesis de este análisis de la estructura fisicoquímica de los sedimentos del área de muestreo, se destaca mayor contaminación por metales pesados y similitud fisicoquímica junto al canal del Dique (Figura 3.2.66); heterogeneidad en las estaciones restantes con menor contaminación por metales pesados y mayor incidencia de aguas marinas.

Figura 3.2.65. Ubicación de estaciones y las principales variables fisicoquímicas en los componentes 1 y 3



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007



De acuerdo con estos parámetros de referencia y según lo enunciado previamente, puede decirse que **no se reconoce contaminación por mercurio en las estaciones evaluadas**, ya que para todas ellas los niveles fueron inferiores a los límites de detección en el laboratorio. Estos resultados son importantes por cuanto la Bahía históricamente ha sufrido de contaminación por este metal debido a la planta de producción de cloro que operó allí décadas atrás. De hecho, el estudio de INVERMAR-CCO (2004<sup>18</sup>) revela aún concentraciones importantes para este parámetro (7,67 µg/g). Los niveles de cobre, zinc, cromo y plomo son bajos de acuerdo con los diferentes parámetros expuestos.

Figura 3.2.66. Síntesis espacial de las condiciones fisicoquímicas en sedimentos de la bahía de Cartagena



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

El cadmio exhibe concentraciones que denotan actividades antrópicas, pero sus niveles son bajos en todas las estaciones aunque con algún valor significativo en la estación 3, cuyas concentraciones generan efectos en grupos como los anfípodos, si bien algunos autores presentan un registro de 2 µg/g como aceptable (Calero & Casanova, 1997 en Invermar-CCO). Es de destacar que esta estación corresponde al canal del Dique, hecho que indica que la Bahía actúa como cuerpo de dilución de este contaminante.

<sup>18</sup> Invermar-CCO, Programa Nacional de Investigación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación. Plan de Acción, 2004-2014.

[http://www.cco.gov.co/contaminacion/PNICM%20Texto%20Final%20Total%20\\_Julio%202022-04\\_.pdf](http://www.cco.gov.co/contaminacion/PNICM%20Texto%20Final%20Total%20_Julio%202022-04_.pdf)

Tabla 3.2.45. Parámetros de referencia para sedimentos

| PARÁMETRO                       | ERL*  | ERM*   | EFFECTOS BAJOS** | EFFECTOS MEDIOS (MÁXIMO NIVEL)** | SIN INTERVENCIÓN ANTRÓPICA*** |
|---------------------------------|-------|--------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Cadmio (µg/g)                   | 1,2   | 9,6    | 1,5              | 10                               | 0,2                           |
| Cromo (µg/g)                    | 81    | 370    | 80               | 370                              | 60                            |
| Cobre (µg/g)                    | 34    | 270    | 65               | 270                              | 20                            |
| Plomo (µg/g)                    | 47    | 220    | 50               | 220                              | 25                            |
| Mercurio (µg/g)                 | 0,15  | 0,71   | 0,15             | 1                                | 0,05                          |
| Zinc (µg/g)                     | 150   | 410    | 200              | 410                              | 90                            |
| Hidrocarburos aromáticos (ng/g) | 4.000 | 45.000 |                  |                                  |                               |

Fuente: \*EPA-MAIA. \*\*Australia, ANZECC/ARMCANZ. \*\*\* OSPAR.

En el mes de diciembre de 2008, se realizó nuevamente una caracterización sedimentológica, que permitió identificar que en Cartagena y en especial la zona costera que están influenciados por el mar, se presenta una conformación sedimentológica con elevados contenidos de arena de color gris y concentraciones de arcilla orgánicas en las depresiones por donde cursan los caños. En las zonas que son pantanosas los sedimentos son blandos, formados por arcilla orgánica muy fina y con restos de manglar.

Los mayores efectos en la dinámica de la sedimentación de la bahía se deben a la escollera de Bocagrande y al canal del Dique. A lo largo de la escollera está depositado el material relativamente grueso proveniente de la deriva litoral de Bocagrande y además se comporta como una barrera que afecta la dinámica del agua y los sedimentos en toda la bahía. Los sedimentos finos (lodos) que vienen del Dique están en la mayoría de los fondos en las partes profundas de la bahía, ocupando las partes que hasta hace 20 años el predominio era de arenas en la parte interna de Bocachica (CARDIQUE & A.G.D, 2006).

### 3.2.9.9 Campaña de INCOPLAN, 2008

En la Tabla 3.2.46, Tabla 3.2.47 y Tabla 3.2.48 se presentan los resultados granulométricos determinados en 2008 para el área de influencia directa y en la Figura 3.2.67 las curvas granulométricas. La E2 (Bahía) presenta el mayor porcentaje de finos, seguida de la muestra tomada en la E1 (Ciénaga) y la muestra tomada sobre el canal (E5) el menor porcentaje de finos.

La Tabla 3.2.48 muestra la clasificación de las muestras según Wentworth (1922). Las tres muestras presentan mayor porcentaje de limo, seguido de mayor o menor porcentaje de arena o arcilla lo que le da la característica a cada muestra.

Tabla 3.2.46. Tipo de sedimento analizado

| Estación | Método     | % Arena (> 63 µ) | % Lodo (< 63 µ) | Tipo de Sedimento                         |
|----------|------------|------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| E1       | Hidrómetro | 28,2             | 71,80           | Lodo - Limo Arenoso Arcilloso gris oscuro |
| E2       | Hidrómetro | 21,69            | 78,31           | Lodo - Limo arcilloso gris oscuro         |
| E5       | Hidrómetro | 41,23            | 58,77           | Lodo - Limo arenoso gris claro            |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2.47. Clasificación por tamaño de grano

| RANGO D,(mm)    | E1             | E2    | E5    |
|-----------------|----------------|-------|-------|
|                 | PORCENTAJE (%) |       |       |
| > 0,063         | 28,2           | 21,69 | 41,22 |
| 0,063 - 0,040   | 0              | 0     | 0     |
| 0,040 - 0,030   | 16,28          | 6,51  | 16,28 |
| 0,030 - 0,025   | 6,52           | 9,77  | 9,77  |
| 0,025 - 0,016   | 19,53          | 29,31 | 9,77  |
| 0,016 - 0,0087  | 6,51           | 3,25  | 3,26  |
| 0,0087 - 0,0063 | 6,52           | 6,51  | 3,26  |
| 0,0063 - 0,0044 | 3,26           | 3,26  | 0     |
| 0,0044 - 0,0027 | 3,25           | 9,77  | 9,77  |
| 0,0027 - 0,0023 | 3,26           | 3,26  | 0     |
| < 0,0023        | 6,67           | 6,67  | 6,67  |

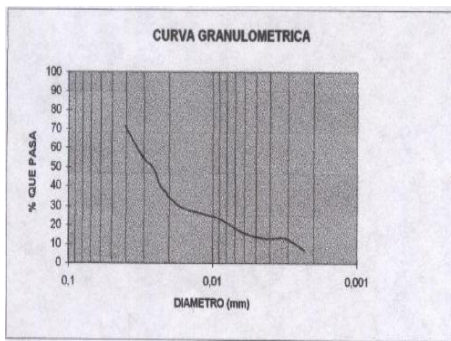
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2.48. Clasificación según Wentworth

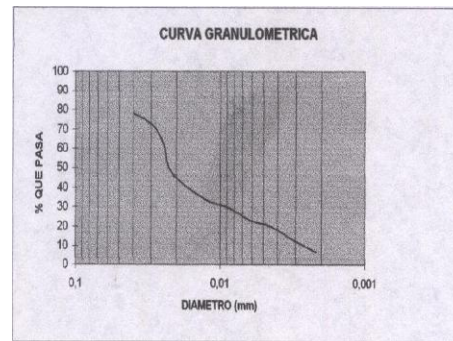
| Nombre de la fracción | Rangos de escala (mm) | E1 %  | E3 %  | E5 %  |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Arena                 | 2 - 0,063             | 28,2  | 21,69 | 41,22 |
| Cieno (Limo)          | 0,063 – 0,0039        | 58,62 | 58,61 | 42,34 |
| Arcilla               | < 0,0039              | 13,18 | 19,7  | 16,44 |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

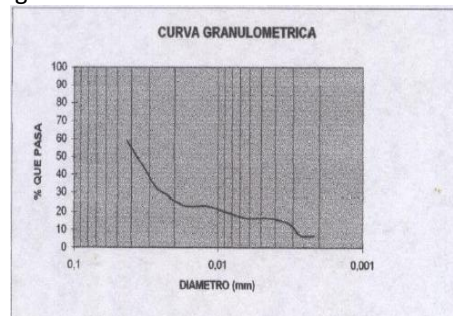
Figura 3.2.67. Curvas granulométricas



Estación No. 1 – Ciénaga Honda



Estación No. 2 – Bahía de Cartagena



Estación No. 5 – Canal del Dique

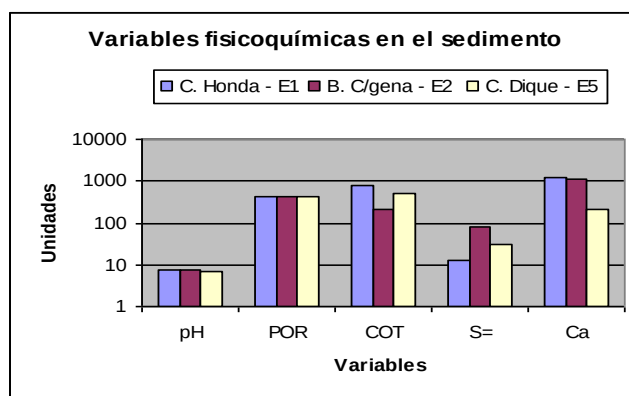
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

La fineza es un atributo importante en la retención de contaminantes, debido a que mientras más finos son los sedimentos tienen mayor área superficial (comparado con los sedimentos más gruesos) en la cual los contaminantes pueden adsorberse.

### **Fisicoquímicos**

El pH y las concentraciones de calcio de los sedimentos fueron menores en la E5 que en las 2 estaciones restantes, lo que es lógico por corresponder éstas a un cuerpo de agua dulce (Figura 3.2.68). La E1 (ciénaga) presentó las mayores concentraciones de COT, seguida de la E5 (canal) y la E2 (bahía) las mayores de sulfuros, seguida también de E5. El potencial de óxido-reducción es similar en las 3 estaciones. Las concentraciones de sulfuros en E1 y E2, superan los niveles de AET (4,5 mg/Kg) estipulados por la NOAA. (Tabla 3.2.50).

Figura 3.2.68. Fisicoquímicos en el sedimento



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Estas características de los sedimentos son favorables para la retención de contaminantes como metales pesados debido a que la materia orgánica y los sulfuros tienen la propiedad de atrapar a los metales, los cuales son liberados más tarde a la columna de agua por cambios en el pH, potencial redox y en las concentraciones de oxígeno.

### **Sustancias de interés sanitario**

Las sustancias estudiadas en el sedimento fueron los mismos seis metales pesados descritos antes para agua y los compuestos orgánicos. Para la evaluación de las concentraciones de sedimento igualmente se comparan éstas con los estipulados por la NOAA, reportados en las Screening Quick Reference Tables (SQRT):

- BACKGROUND:** Línea base o fondo.
- THRESHOLD EFFECTS LEVELS (TEL):** Representa la concentración por debajo de la cual rara vez se espera que ocurran efectos adversos.
- PROBABLE EFFECTS LEVELS (PELs):** Es el nivel por encima del cual, frecuentemente se espera que ocurran efectos adversos.
- THE APPARENT EFFECT THRESHOLDS:** Concentración por encima de la cual siempre se esperan efectos adversos a un indicador biológico, debido a la exposición a un contaminante), de una compilación.
- THE UPPER EFFECTS THRESHOLD (UET):** Fue derivado como el más bajo AETs.

### Compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos evaluados fueron los Pesticidas Organoclorados y Organofosforados. Para determinar los Organoclorados se utilizó una mezcla patrón compuesta de: Aldrin, Endrin, Endrin Aldehído, Dieldrin, Alfa-BHC, Beta-BHC, Gamma-BHC, Delta Lindano, Heptaclor, Heptaclor Epóxido, Endosulfan I, Endosulfan II, P,P-DDE, P,P-DDD, P,P-DDT y Metoxiclor. Para determinar los organofosforados una mezcla patrón compuesta de: Thionazin, Sulfotep, Phorate, Dimetoate, Disulfoton, o,o,o-Trietilfosforotioate, Paratión, Metilparation y Famphur. No se detectaron estos compuestos en las muestras de sedimento analizadas (Tabla 3.2.49; Tabla 3.2.50 y Tabla 3.2.51).

Tabla 3.2.49. Resultados de calidad de sedimento, muestreo de diciembre 17 de 2008

|           |                   |                              |                     |          | ESTACIONES    |                    |                 |
|-----------|-------------------|------------------------------|---------------------|----------|---------------|--------------------|-----------------|
|           |                   |                              |                     |          | Ciénaga Honda | Bahía de Cartagena | Canal del Dique |
|           |                   |                              |                     |          | Est. No. 1    | Est. No. 20        | Est. No. 5      |
| Matriz    | Parámetros        | Unidades                     | Limite de Detección |          | 67666         | 67667              | 67665           |
| SEDIMENTO | Físicoquímicos    | pH                           | Unidades            | -        | 7,41          | 7,61               | 6,71            |
|           |                   | Potencial de Oxido Reducción |                     |          | 435           | 438                | 418             |
|           |                   | Carbono Orgánico Total       | mg/kg               |          | 770           | 220                | 520             |
|           |                   | Sulfuros                     | mg/kg               | -        | 12,65         | 77,36              | 31,85           |
|           |                   | Calcio                       | %                   | -        | 1220,60       | 1097,10            | 218,10          |
|           | Interés Sanitario | Cadmio                       | mg/Kg               | <0,040   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Cromo VI                     | mg/Kg               | <0,0072  | N.D.          | N.D.               | 0,0211          |
|           |                   | Cromo III                    | mg/Kg               | <0,050   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Cromo Total                  | mg/Kg               | <0,050   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Cobre                        | mg/Kg               | <0,126   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Estaño                       | mg/Kg               | <0,002   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Mercurio                     | mg/Kg               | <0,00088 | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Plomo                        | mg/Kg               | <0,1     | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Zinc                         | mg/Kg               | <0,034   | N.D.          | 0,050              | 0,611           |
|           |                   | Organofosforados             | mg/Kg               | <0,001   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |
|           |                   | Organoclorados               | mg/Kg               | <0,001   | N.D.          | N.D.               | N.D.            |

N.D. = No detectable por el método usado.

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2.50. Comparación de resultados con la norma para sedimento marino

|                   |             |                     |          | Ciénaga Honda | Bahía de C/gena | NORMA       |       |        |        |
|-------------------|-------------|---------------------|----------|---------------|-----------------|-------------|-------|--------|--------|
|                   |             |                     |          | Est. No. 1    | Est. No. 2      | NOAA        |       |        |        |
| Parámetros        | Unidades    | Limite de Detección |          | 67666         | 67667           | Background  | TEL   | PEL    | AET    |
| Interés Sanitario | Cadmio      | mg/Kg               | <0,040   | N.D.          | N.D.            | 0,1-0,3     | 0,676 | 4,2    | 3,0 N  |
|                   | Cobre       | mg/Kg               | <0,126   | N.D.          | N.D.            | 10,0-25,0   | 18,7  | 108,2  | 390 MO |
|                   | Cromo Total | mg/Kg               | <0,050   | N.D.          | N.D.            | 7,0-13,0    | 52,3  | 160,4  | 62,0 N |
|                   | Estaño      | mg/Kg               | <0,002   | N.D.          | N.D.            | 5,0         | 0,048 | -      | 3,4 N  |
|                   | Mercurio    | mg/Kg               | <0,00088 | N.D.          | N.D.            | 0,004-0,051 | 0,13  | 0,696  | 0,41 M |
|                   | Plomo       | mg/Kg               | <0,1     | N.D.          | N.D.            | 4,0-17,0    | 30,24 | 112,18 | 400,0  |



|          |       |        |       |       |          |     |     |        |   |
|----------|-------|--------|-------|-------|----------|-----|-----|--------|---|
|          |       |        |       |       |          |     |     |        | B |
| Zinc     | mg/Kg | <0,002 | N.D.  | 0,05  | 7,0-38,0 | 124 | 271 | 410 I  |   |
| Sulfuros | mg/kg | -      | 12,65 | 77,36 | -        | -   | -   | 4,5 MO |   |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2.51.Comparación de resultados con la norma para sedimento de agua dulce

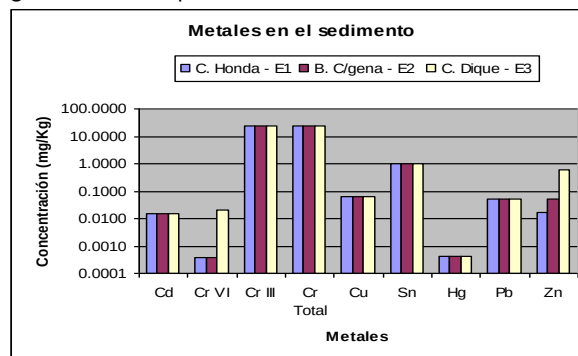
|                   |             |                     | Canal del Dique | NORMA     |             |       |       |         |
|-------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------|-------------|-------|-------|---------|
|                   |             |                     | Est. No. 5      | NOAA      |             |       |       |         |
| Parámetros        | Unidades    | Limite de Detección | 67665           | Backgrond | TEL         | PEL   | UET   |         |
| Interés Sanitario | Cadmio      | mg/Kg               | <0,040          | N.D.      | 0,1-0,3     | 0,596 | 3,53  | 3,0 I   |
|                   | Cobre       | mg/Kg               | <0,125          | N.D.      | 10,0-25,0   | 35,7  | 197   | 86,0 I  |
|                   | Cromo Total | mg/Kg               | <0,050          | N.D.      | 7,0-13,0    | 37,3  | 90    | 95,0 H  |
|                   | Estaño      | mg/Kg               | <0,002          | N.D.      | 5,0         | -     | -     | -       |
|                   | Mercurio    | mg/Kg               | <0,00088        | N.D.      | 0,004-0,051 | 0,174 | 0,486 | 0,56    |
|                   | Plomo       | mg/Kg               | <0,1            | N.D.      | 4,0-17,0    | 35    | 91,3  | 127,0 H |
|                   | Zinc        | mg/Kg               | <0,002          | 0,611     | 7,0-38,0    | 98    | 315   | 520 M   |
|                   | Sulfuros    | mg/kg               | -               | 31,85     | -           | -     | -     | 130 M   |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

## Metales

El cadmio, cromo trivalente, cobre, estaño, mercurio y plomo presentaron concentraciones (Figura 3.2.69) por debajo del límite de detección del método usado. El cromo hexavalente se detectó solo en la E5, en el canal del Dique (0,0211 mg/Kg), estando esta concentración por debajo del valor estipulado por la NOAA como línea base (7,0 – 13,0 mg/Kg como cromo total). El Zn solo se detectó en bajas concentraciones en las estaciones E2 (0,05 mg/Kg) y E5 (0,611 mg/Kg), las que están muy por debajo del valor estipulado por la NOAA como línea base (7,0–38,0 mg/Kg ). A pesar que las características presentadas por el sedimento evaluado son favorables para la retención de metales pesados, las concentraciones de éstos en su mayoría estuvieron por debajo del límite de detección, encontrándose solo cromo hexavalente y zinc en bajas concentraciones.

Figura 3.2.69. Comportamiento de los metales en el sedimento



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Al verificar los resultados obtenidos en el análisis de calidad del agua y sedimento, se observa que la estación ubicada en el canal del Dique presentó las mayores concentraciones de metales estudiados tanto en agua como en sedimento.

### 3.2.9.10 Campaña de Hidrocaribe Ltda, 2011

La fase de campo para la toma de muestras de sedimentos fue realizada entre los días 19 y 25 de abril de 2011. Las estaciones muestreadas fueron las mismas empleadas para los muestreos de calidad de agua, ver el numeral 1.2.5.4, Campaña de Hidrocaribe Ltda 2011.

#### 3.2.9.10.1 Metodología

##### Variables consideradas

-Sedimentos: Los parámetros físicos y químicos analizados en el sedimento fueron: granulometría, carbono orgánico total (COT), cadmio, cobre, cromo hexavalente y total, mercurio, plomo y zinc.

##### Fase de campo

Los días 19 y 25 de abril de 2011 entre las 08:00 y las 16:00 horas, se llevaron a cabo la toma de muestra en las estaciones antes descritas, utilizando como medio de transporte una lancha con motor fuera de borda. El día 19 se tomó muestras en las estaciones CH-1, CH-2 y BC-3 y el día 25 de abril se tomó muestras en las estaciones BC-2, BC-4, CD-1 y CD-2.

Para evaluar los parámetros físicos y químicos del sedimento se hizo toma de muestras utilizando una draga tipo Ponar de acero inoxidable. Las muestras fueron envasadas en frascos de vidrio boca ancha y preservadas mediante refrigeración para su traslado al laboratorio.

Figura 3.2.70. Toma de muestras de sedimentos para fisicoquímicos y granulometría



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

## Resultados

De las siete (7) muestras evaluadas se le hizo análisis granulométrico por tamiz a tres (3) muestras: CH-1, CD-1 y CD-2, y por el método del hidrómetro las cuatro (4) restantes: CH-2, BC-2, BC-3 y BC-4, debido a que el mayor porcentaje de la muestra pasó por el tamiz No. 200. Ver Tabla No. 6 y Anexo 3.1. Dentro de la clasificación granulométrica de las partículas del suelo o sedimento, estas se dividen principalmente en cuatro (4) grupos: gravas, arenas, limos y arcillas. El tamaño de las partículas sedimentarias está expresado en términos del diámetro nominal, el cual es el diámetro de la esfera que tiene el mismo volumen que la partícula. La escala más usada en América es la de Udden-Wentworth, la cual fue diseñada originalmente por Udden en 1898 y luego modificada por Wentworth, basándose en una unidad central de 1 mm y un multiplicador o divisor de 2 mm. [2]. La Tabla 3.2.52 muestra la clasificación general de los sedimentos según Udden-Wentworth. La Tabla 3.2.53 muestra un resumen del análisis granulométrico realizado a las siete muestras colectadas. En la Tabla 3.2.54 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del análisis por tamiz, realizado a las muestras de las estaciones: CH-1, CD-2 y CD-3.

Tabla 3.2.52. Clasificación de los sedimentos según Udden-Wentworth

| Nombre de la Fracción | Rangos de escala (mm) |
|-----------------------|-----------------------|
| Grava                 | $\geq 2$              |
| Arenas Gruesas        | $< 2 - > 0,5$         |
| Arenas Medias         | $< 0,5 - > 0,25$      |
| Arenas Finas          | $< 0,25 - > 0,0625$   |
| Limo                  | $< 0,0625 - > 0,0039$ |
| Arcilla               | $< 0,0039$            |

Tabla 3.2.53. Resultados del análisis granulométrico de las muestras analizadas.

| Muestra | Método     | % Arena ( $> 74 \mu\text{m}$ ) | % Lodo ( $< 74 \mu\text{m}$ ) |
|---------|------------|--------------------------------|-------------------------------|
| CH-1    | Tamiz      | 63,10                          | 36,90                         |
| CH-2    | Hidrómetro | 21,78                          | 78,22                         |
| BC-2    | Hidrómetro | 17,75                          | 82,25                         |
| BC-3    | Hidrómetro | 8,28                           | 91,72                         |
| BC-4    | Hidrómetro | 27,22                          | 72,78                         |
| CD-1    | Tamiz      | 90,00                          | 10,00                         |
| CD-2    | Tamiz      | 93,30                          | 6,70                          |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.54. Resumen resultados obtenidos del Análisis Granulométrico por tamiz.

| CLASIFICACIÓN  | RANGO (mm)          | PORCENTAJE (%) |            |            |
|----------------|---------------------|----------------|------------|------------|
|                |                     | MUESTRAS       |            |            |
|                |                     | CH-1           | CD-1       | CD-2       |
| Arenas Gruesas | $< 2 - > 0,5$       | 8,8            | 2,0        | 0,3        |
| Arenas Medias  | $< 0,5 - > 0,25$    | 7,0            | 3,0        | 0,4        |
| Arenas Finas   | $< 0,25 - > 0,0625$ | 47,3           | 85,0       | 92,6       |
| Lodos          | $< 0,0625$          | 36,9           | 10,0       | 6,70       |
|                | <b>TOTAL</b>        | <b>100</b>     | <b>100</b> | <b>100</b> |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

En la Tabla 3.2.55 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del análisis por hidrómetro realizado a las muestras colectadas en las estaciones: CH-2, BC-2, BC-3 y BC-4. En la Tabla 3.2.56 se comparan los resultados del análisis granulométrico total con la escala de Udden-Wentworth. Como en los rangos del tamaño de granos que se obtuvieron usando el método del Hidrómetro no incluye el valor límite (0,0039 mm) entre limos y arcillas, se tomó 0,0044mm como un valor equivalente para obtener los porcentajes de cada uno de los tipos de granos presentes en las muestras. Fisicoquímicos: En la Tabla 3.2.57 se presentan los resultados de los análisis realizados a los sedimentos

Tabla 3.2.55. Resumen resultados obtenidos del Análisis Granulométrico por Hidrómetro.

| RANGO (mm)          | PORCENTAJE (%) |            |            |            |
|---------------------|----------------|------------|------------|------------|
|                     | MUESTRAS       |            |            |            |
|                     | CH-2           | BC-2       | BC-3       | BC-4       |
| > 0,0625            | 21,78          | 17,75      | 8,28       | 27,22      |
| < 0,0625 - > 0,0044 | 61,80          | 69,46      | 82,09      | 60,00      |
| <0,0044             | 16,42          | 12,79      | 9,63       | 12,78      |
| <b>TOTAL</b>        | <b>100</b>     | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.56. Comparación de los resultados de los sedimentos con la escala de Wentworth

| FRACCION | RANGO ESCALA (mm) | CH-1  | CH-2  | BC-2  | BC-3  | BC-4  | CD-1  | CD-2 |
|----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|          |                   | %     |       |       |       |       |       |      |
| Grava    | >2,0              | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 |
| Arena    | <2,0 - 0,0625     | 63,10 | 21,78 | 17,75 | 8,28  | 27,22 | 90,00 | 93,3 |
| Limo     | <0,0625 – 0,0039  | 36,90 | 61,80 | 69,46 | 82,09 | 60,00 | 10,00 | 6,70 |
| Arcilla  | < 0,0039          |       | 16,42 | 12,79 | 9,63  | 12,78 |       |      |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.57. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los sedimentos, muestreo de abril 19 y 25 de 2011.

| MA-TRIZ   | PARAMETROS  | UNIDADES | LIMITE DETECCION | ESTACIONES    |        |                    |         |         |                 |
|-----------|-------------|----------|------------------|---------------|--------|--------------------|---------|---------|-----------------|
|           |             |          |                  | Ciénaga Honda |        | Bahía de Cartagena |         |         | Canal del Dique |
|           |             |          |                  | CH-1          | CH-2   | BC-2               | BC-3    | BC-4    | CD-1            |
|           |             |          |                  | 131890        | 131891 | 131895             | 131892  | 131896  | 131893          |
| Sedimento | Hora        | Hora     | -                |               |        |                    |         |         |                 |
|           | Cadmio      | mg/Kg    | <0,040           | N.D.          | N.D.   | N.D.               | N.D.    | N.D.    | N.D.            |
|           | Cromo VI    | mg/Kg    | <0,001           | N.D.          | N.D.   | N.D.               | N.D.    | N.D.    | N.D.            |
|           | Cromo Total | mg/Kg    | -                | 7,528         | 56,561 | 26,017             | 49,286  | 30,939  | 23,816          |
|           | Cobre       | mg/Kg    | <0,05            | N.D.          | 38,177 | 35,878             | 39,505  | 41,249  | N.D.            |
|           | Mercurio    | mg/Kg    | <0,0011          | N.D.          | N.D.   | N.D.               | N.D.    | N.D.    | N.D.            |
|           | Plomo       | mg/Kg    | <0,1             | N.D.          | N.D.   | N.D.               | N.D.    | N.D.    | N.D.            |
|           | Zinc        | mg/Kg    | -                | 21,19         | 134,36 | 129,94             | 144,980 | 282,64  | 84,99           |
|           | COT         | mg/Kg    | -                | 48,3          | 910,6  | 1545,0             | 947,4   | 1883,60 | 220,4           |

N.D. = Por debajo del límite de detección del método usado

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### 3.2.9.10.2 Comparación de los resultados con la norma

Para la evaluación de las concentraciones de sedimento, igualmente se comparan éstas con los estipulados por la NOAA, reportados en las Screening Quick Reference Tables (SQRT):

**BACKGROUND:** Línea base o fondo.

**THRESHOLD EFFECTS LEVELS (TEL):** Representa la concentración por debajo de la cual rara vez se espera que ocurran efectos adversos.

**PROBABLE EFFECTS LEVELS (PELs):** Es el nivel por encima del cual, frecuentemente se espera que ocurran efectos adversos.

**THE APPARENT EFFECT THRESHOLDS (AETs):** Concentración por encima de la cual siempre se esperan efectos adversos a un indicador biológico, debido a la exposición a un contaminante, de una compilación.

Tabla 3.2.58.Comparación de resultados del sedimento con la norma.

|                   |             |          | ESTACIONES |               |               |                |               |         |         | NORMA       |       |        |         |
|-------------------|-------------|----------|------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------|---------|-------------|-------|--------|---------|
|                   |             |          | CH-1       | CH-2          | BC-2          | BC-3           | BC-4          | CD-1    | CD-2    | NOAA (SQRT) |       |        |         |
| Parámetros        |             | Unidades | 131890     | 131891        | 131895        | 131892         | 131896        | 131893  | 131894  | Background  | TEL   | PEL    | AET     |
| Interés Sanitario | Cadmio      | mg/Kg    | <0,040     | <0,040        | <0,040        | <0,040         | <0,040        | <0,040  | <0,040  | 0,1-0,3     | 0,676 | 4,21   | 3,0 N   |
|                   | Cobre       | mg/Kg    | <0,05      | 38,177        | 35,878        | 39,505         | 41,249        | <0,05   | <0,05   | 10,0-25,0   | 18,7  | 108,2  | 390 MO  |
|                   | Cromo VI    | mg/Kg    | <0,001     | <0,001        | <0,001        | <0,001         | <0,001        | <0,001  | <0,001  | -           | -     | -      | -       |
|                   | Cromo Total | mg/Kg    | 7,528      | <u>56,561</u> | 26,017        | 49,286         | 30,939        | 23,816  | 22,644  | 7,0-13,0    | 52,3  | 160,4  | 62,0 N  |
|                   | Mercurio    | mg/Kg    | <0,0011    | <0,0011       | <0,0011       | <0,0011        | <0,0011       | <0,0011 | <0,0011 | 0,004-0,051 | 0,13  | 0,696  | 0,410 N |
|                   | Plomo       | mg/Kg    | <0,1       | <0,1          | <0,1          | <0,1           | <0,1          | <0,1    | <0,1    | 4,0-7,0     | 30,24 | 112,18 | 400 B   |
|                   | Zinc        | mg/Kg    | 21,19      | <u>134,36</u> | <u>129,94</u> | <u>144,980</u> | <u>282,64</u> | 84,99   | 80,521  | 7,0-38,0    | 124,0 | 271,0  | 410,0 I |
|                   | Sulfuros    | mg/Kg    | < 1,0      | < 1,0         | < 1,0         | < 1,0          | < 1,0         | < 1,0   | < 1,0   | -           | -     | -      | 4,5 O   |

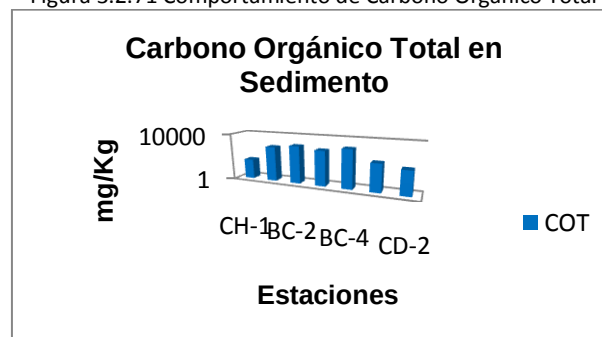
B: Bioensayos con Bivalvos; N: Bioensayos con el género Neanthes; M: Bioensayo Microtox; O: Bioensayos con Larvas de Ostra; I: Impacto sobre la comunidad infaunal

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### Parámetros de campo

En los sedimentos el COT presentó un comportamiento ligado a la granulometría de las muestras evaluadas. Las muestras que presentaron mayor tamaño de partícula: CD-1, CD-2 y CH-1, presentaron los menores valores de COT y las muestras con menor tamaño de partícula: CH-2, BC-2, BC-3, BC-4, las mayores concentraciones de COT. Todas las concentraciones de COT estuvieron por debajo del 0.2 %.

Figura 3.2.71 Comportamiento de Carbono Orgánico Total



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



## Discusión de resultados

-Las muestras de sedimento evaluadas presentaron bajas concentraciones de Carbono Orgánico Total (<0.2%) y concentraciones no detectables de sulfuros.

-El análisis granulométrico realizado al sedimento, mostró que las muestras tomadas en las estaciones CH-1, CD-1 y CD-2 son sustratos arenosos con bajo porcentaje de limos y arcillas, por el contrario las muestras tomadas en CH-2, BC-2, BC-3 y BC-4 presentan porcentajes altos de lodos (arcillas y limos) y bajos porcentajes de arenas.

## 3.2.10Atmósfera

### 3.2.10.1 Clima

La Bahía de Cartagena posee un clima que se caracteriza como tropical semiárido. Tiene una humedad promedio de 90%, con la estación lluviosa típicamente entre abril-mayo y septiembre-noviembre.

Por su situación geográfica en el área Suroeste del Caribe, el régimen climático de la región donde se encuentra la Bahía de Cartagena, está bajo la influencia de los desplazamientos Norte - Sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.).

La Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.), es un cinturón semicontinuo de bajas presiones localizado entre las regiones Subtropicales de los hemisferios Norte y Sur; este cinturón es conocido igualmente como Cresta Ecuatorial, Frente Intertropical y Frente Ecuatorial.

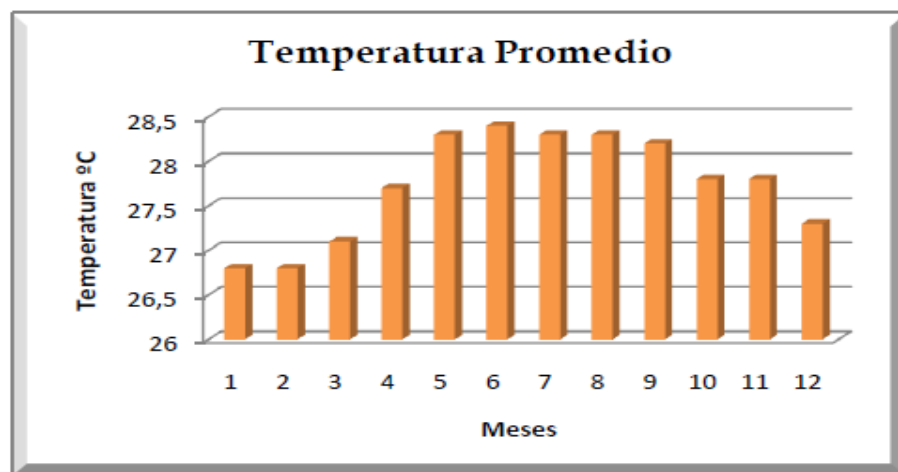
El movimiento de la Z.C.I., en dirección Norte o Sur es una resultante de los fenómenos físicos Subtropicales, además, el sector está influenciado por las circulaciones atmosféricas de los vientos Alisios (vientos del N y NE), procedentes de los Centros de Alta Presión del Atlántico Nororiental. La incidencia de los vientos de Este - Sureste, también es notable en determinada época del año.

Como ya fue mencionado anteriormente, en el área se identifican dos períodos climáticos principales, llamados Época Seca (Verano) y Época Húmeda (Invierno) y una época de Transición. Es de resaltar, que aunque el clima tiende a ser caluroso durante todo el año, el régimen de vientos se mantiene, siendo un factor importante para que el clima sea soportable e incluso confortable en determinadas épocas.

#### 3.2.10.1.1 Temperatura

Las temperaturas máximas en la ciudad de Cartagena registraron un promedio multianual de 31.5°C, presentando sus mayores valores en los meses de Junio, Julio y Agosto con promedios entre 31.9°C y 32.0°C, y sus mínimos valores entre meses de enero a marzo, con promedios entre 31.0°C y 31.1°C. Así mismo, la temperatura promedio presenta sus mayores valores entre los meses de mayo a junio, con promedios entre 28.3°C y 28.4°C, de igual manera los valores mínimos de la temperatura promedio se presentan durante los meses de enero, febrero y marzo, oscilando entre 26.8°C y 27.1°C. En la Figura 3.2.72, se presenta el promedio multianual de temperatura promedio, (CIOH, 2009).

Figura 3.2.72 Promedio multianual de temperatura.



Fuente: CIOH, 2009.

### 3.2.10.1.2 Presión atmosférica

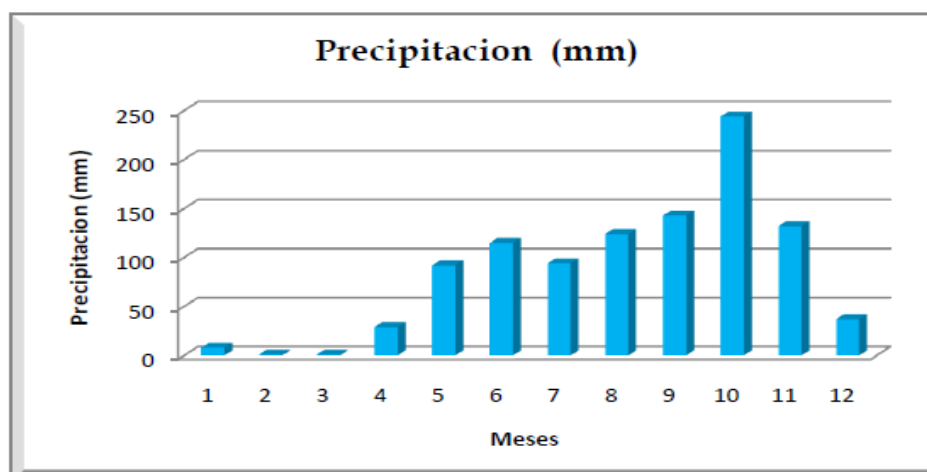
La presión atmosférica varía entre 1016 y 1003 mb y el promedio mutianual es de 1008.4 mb.

### 3.2.10.1.3 Precipitación

En la ciudad de Cartagena la época humedad va desde el mes de abril al de noviembre, incluso en ocasiones se extiende hasta la segunda semana del mes de diciembre, y los índices de precipitaciones oscilan entre 29 y 244 mm/mes, presentándose este último en el mes de Octubre. El período seco transcurre entre los meses de diciembre hasta marzo, con promedios entre 1.0 y 37 mm/mes.

Así mismo, el número de días con precipitación oscila a lo largo del año entre 0.0 y 17.0 días. En la Figura 3.2.73, se presenta el promedio multianual de precipitación en la Bahía de Cartagena, (CIOH, 2009).

Figura 3.2.73 Promedio multianual de precipitación.



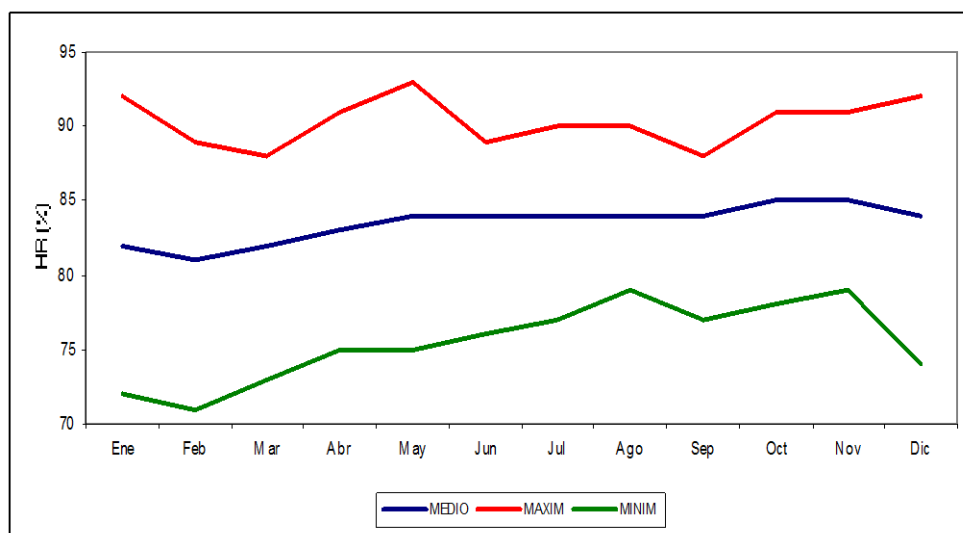
Fuente: CIOH, 2009.

### 3.2.10.1.4 Humedad relativa

La Humedad Relativa de la región es alta presentando un promedio de 83%, con máximas del 93% y mínimas del 71% (

Figura 3.2.74) (CIOH & CARDIQUE, 1998). Las amplitudes diarias son considerables durante los meses secos (50% de día y 98% de noche) y de menor magnitud en los meses de lluvia (70% y 79%) (Modificado de INVEMAR, 2003).

Figura 3.2.74 Variación mensual de la humedad relativa



Fuente: INCOPLAN S.A, 2009. Datos IDEAM.

### 3.2.10.1.5 Vientos

El régimen de vientos varía a lo largo de tres épocas climáticas presentes en la Bahía de Cartagena. A continuación se hace una descripción resumida de este comportamiento.

**-Época seca.** Durante esta época, que inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, predomina el flujo de los vientos alisios del noreste, que se producen por el descenso del sistema de altas presiones de las azores, las cuales interactúan con la Zona de Convergencia Intertropical, los vientos oscilan entre 5 y 12 m/s de intensidad y en ocasiones sobrepasan estos valores alcanzando hasta los 20 m/s de intensidad. En la Figura 3.2.75 se presentan los promedios diarios para los meses de diciembre a marzo, a partir del análisis de la serie de datos Quikscat, medidas en un punto cercano a la Bahía de Cartagena.

**-Época húmeda.** La época húmeda sobre la ciudad de Cartagena inicia cada año desde el mes de agosto, extendiéndose hasta el mes de noviembre y primeros días del mes de diciembre. Durante este lapso de tiempo las condiciones atmosféricas se ven influenciadas por la disminución de los vientos de manera considerable oscilando entre 4 y 7 m/s de intensidad y en pocas ocasiones sobrepasando los 10 m/s. La dirección es muy variable. En la Figura 3.2.16 se presentan los promedios diarios de agosto a noviembre.

**-Época de transición.** Durante este período que inicia a finales del mes de abril hasta el mes de julio, se presenta una disminución de la intensidad del viento, oscilando entre valores 5 y 10 m/s. La dirección del viento

co-mienza siendo de dirección noreste y luego a finales de esta época ya comienzan a presentarse direcciones de los cuadrantes SE y SW. En la Figura 3.2.77 se presentan los promedios diarios para los meses de abril a julio.

Figura 3.2.75 Rosa de viento con los promedios diarios para los meses de la época seca.

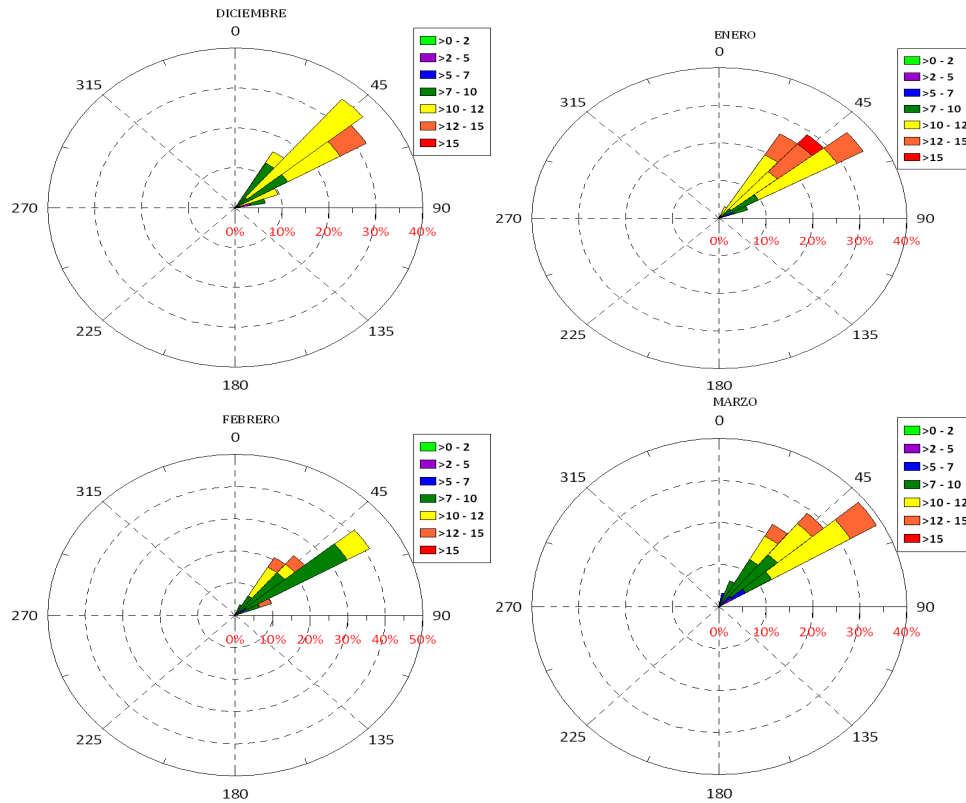


Figura 3.2.76 Rosa de viento con los promedios diarios para los meses de la época húmeda.

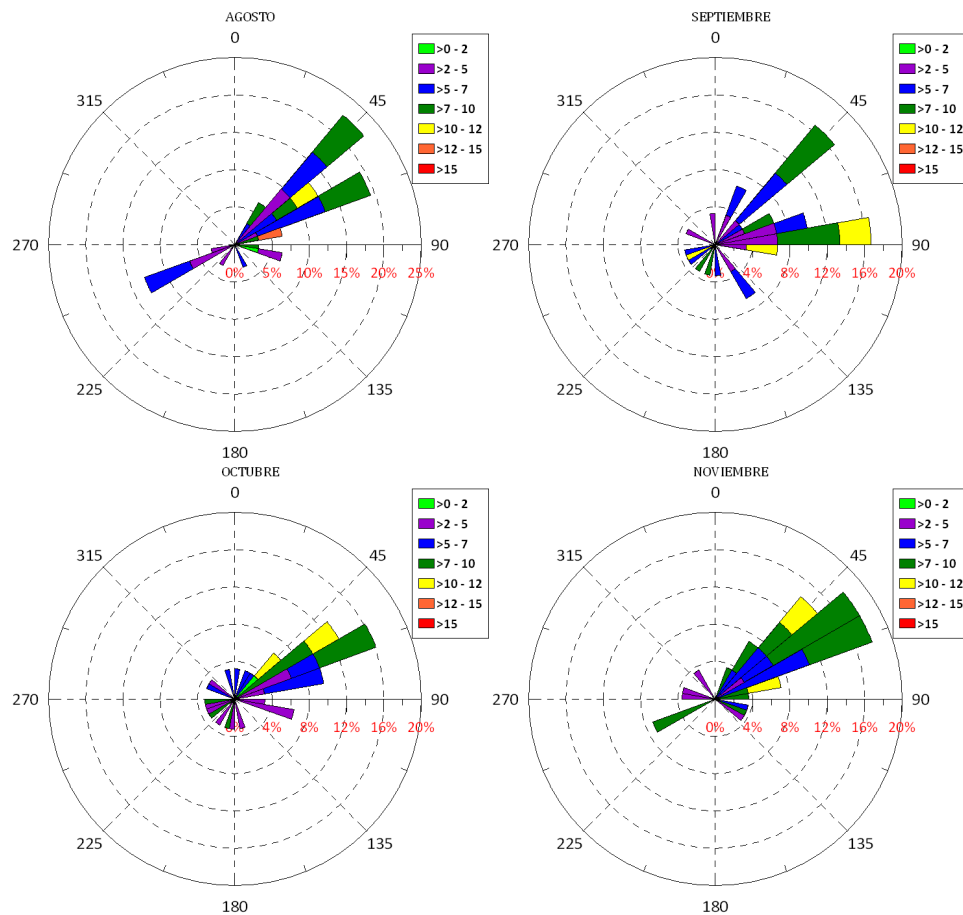
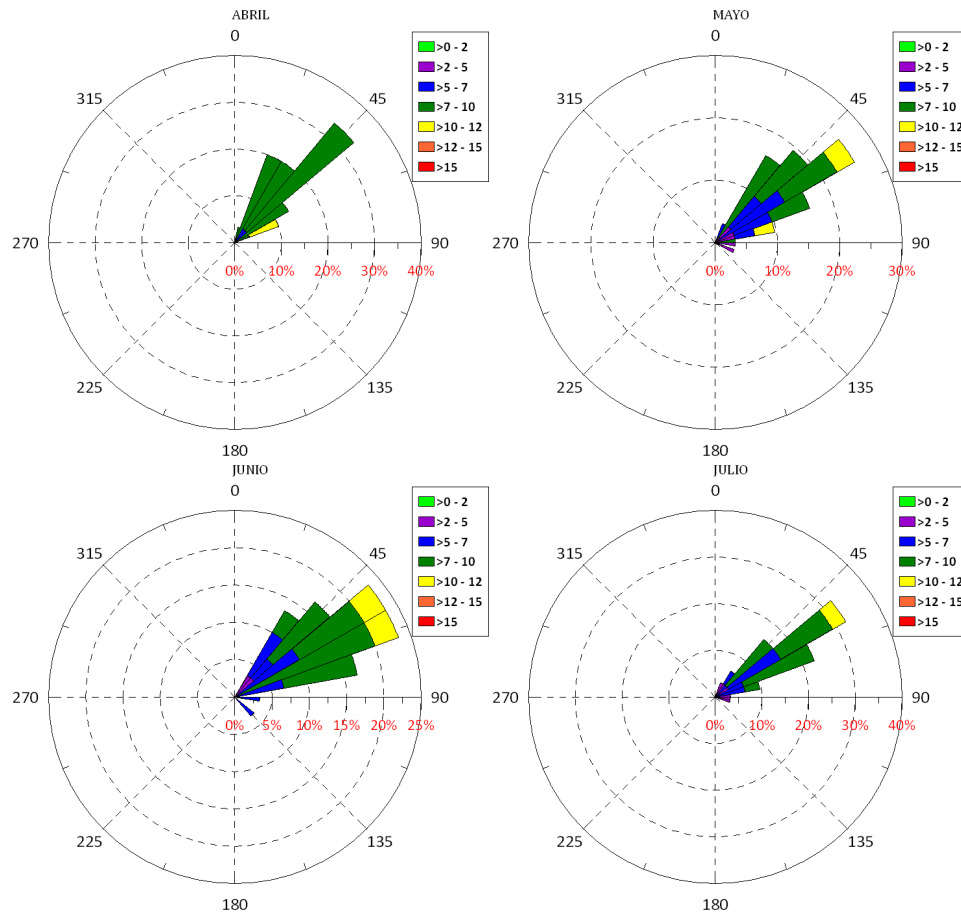




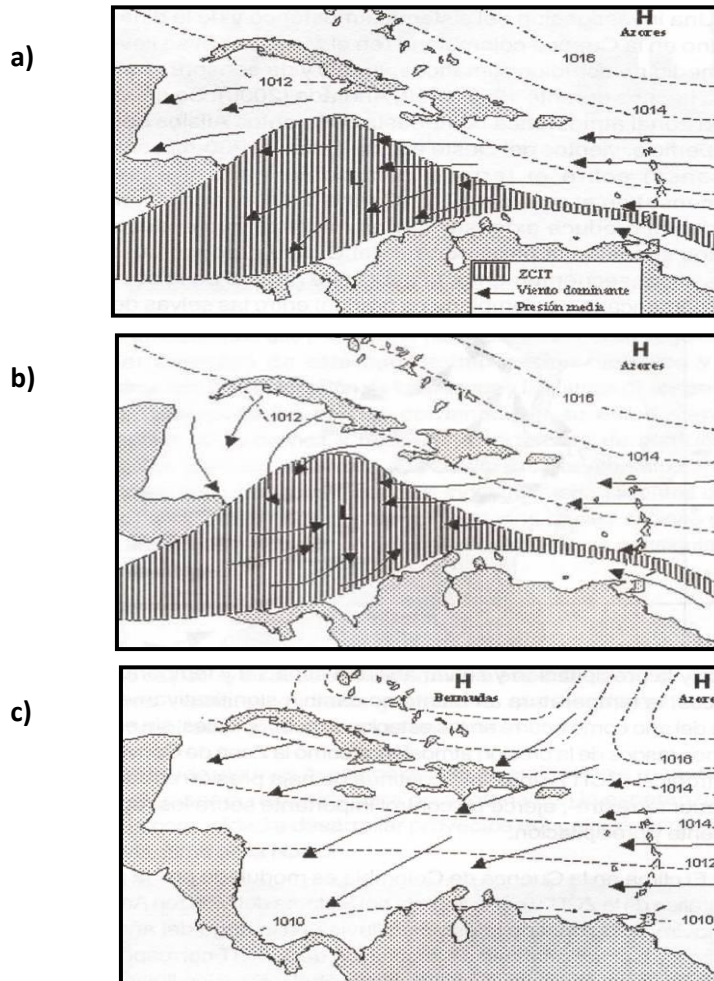
Figura 3.2.77 Rosa de viento con los promedios diarios para los meses de la época transición.



### 3.2.10.1.6 Radiación solar

La insolación o brillo solar es el tiempo durante el cual no hay interferencia a los rayos solares por efecto de la nubosidad. El promedio es de 2.503 horas al año, lo que representa una media mensual de 215 horas y una media diaria de 7,15 horas. La distribución dentro del año de la situación promedia mensual sigue una tendencia inversa a la precipitación, alcanzando los máximos valores en el primer semestre del año (266,8 horas en Enero) y los más bajos a mediados del segundo semestre (Septiembre con 174 horas), en plena época lluviosa (INCOPLAN, 2009) (ver.Figura 3.2.78).

Figura 3.2.78 Posición de la zona de convergencia inter-tropical



Para a) estación de vientos; b) época de transición y c) estación de lluvias (adaptada de Andrade, 2001)

Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE

### 3.2.10.1.7 Nubosidad

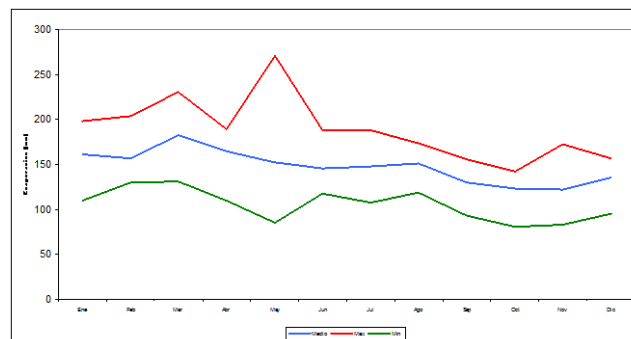
De febrero a julio, el porcentaje está entre 12 y 25, para aumentar de agosto a octubre, donde alcanza el 50% y disminuye al 12% de noviembre a enero.

### 3.2.10.1.8 Evaporación

La evaporación media anual es de 1887,8 mm. Los máximos valores se alcanzan en el primer semestre del año (en marzo con 190,3 mm) como consecuencia del tiempo anticiclónico de esta temporada, soleado, con

baja nubosidad y baja precipitación; en el segundo semestre del año se producen bajos valores de evaporación cuando se invierte la situación climática antes descrita por efecto del segundo tránsito de la ZCIT por el Ecuador. El valor mínimo se presenta en la época lluviosa cuando llega a 129 mm en el mes de noviembre. El máximo valor mensual registrado alcanza los 222mm en el mes de marzo, lo que representa una evaporación máxima diaria de 7,4mm (INCOPLAN, 2009) (ver Figura 3.2.79).

Figura 3.2.79 Variación mensual de la evaporación



Fuente: INCOPLAN S.A 2009. Datos IDEAM

### 3.2.10.2 Calidad del aire

Las mediciones de calidad de aire, se desarrollaron durante el periodo comprendido entre el 31 de agosto al 11 de septiembre de 2011, siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 1– Generalidades.

El monitoreo de calidad, se llevó a cabo en tres (3) puntos predeterminados, ubicados estratégicamente para obtener un resultado confiable, durante el 10 días consecutivos por 24 horas. En cada punto seleccionado, se instaló una estación de monitoreo, consistente en un (1) equipo High – Vol. para partículas menores de 10 micras, un equipo High - Vol. Para PST, Equipo Rack para monitoreo de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y equipo Multi-Rae para medición de CO y COV's. (Ver Tabla 3.2.59 y Anexo 3.2).

Tabla 3.2.59. Ubicación exacta de los puntos monitoreados y parámetros evaluados

| PUNTO   | UBICACIÓN                                      | MUESTREOS                                                      |
|---------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Punto 1 | Lote SPPB (Antiguo Tk Almacenamiento Combusti- | PM10, PST,<br>NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO,<br>COV's |
| Punto 2 | Estación de Policía Comunidad de Santa Ana.    |                                                                |
| Punto 3 | Ararca (Colegio)                               |                                                                |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

- **Legislación ambiental aplicada**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la Resolución No.601 del 4 de abril de 2006, Capítulo 2, Niveles Permisibles en el Aire, establece las Normas para Calidad del Aire, en lo referente a Partículas en Suspensión (PM10) En el Artículo 4º, se determinan los valores máximos permisibles por contaminantes de la siguiente manera: "Artículo 4º. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio. Se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio,

contemplados en la Tabla 2 de la presente Resolución, los cuales se calcularán con el promedio geométrico para TPS y aritmético para los demás contaminantes:

Tabla 3.2.60. Norma anual

| Parámetro                             | Norma Local mg/m <sup>3</sup> |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Partículas Menores de 10 Micras(PM10) | 50 Promedio Geométrico        |
| Partículas Suspendidas Totales        | 100 Promedio Geométrico       |
| NO <sub>2</sub>                       | 100                           |
| SO <sub>2</sub>                       | 80                            |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Nota: mg/ m<sup>3</sup> o Ug/ m<sup>3</sup> a las condiciones de 298.15 OK y 101,325 K Pa. (25 OC y 760 mm Hg).

Tabla 3.2.61. Norma Local Promedio en 24 horas

| Parámetro                             | Norma Local mg/m <sup>3</sup> |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Partículas Menores de 10 Micras(PM10) | 150 Promedio Geométrico       |
| Partículas Suspendidas Totales        | 300 Promedio Geométrico       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.62. Norma 8 horas

| Parámetro | Norma Local ppm |
|-----------|-----------------|
| CO        | 8.8 ppm         |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.63. Norma 1 hora

| Parámetro | Norma Local ppm |
|-----------|-----------------|
| CO        | 35 ppm          |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Para Compuesto Orgánicos Volátiles no existe legislación nacional que reglamente los niveles máximos permisibles de exposición. Para efectos de este informe se ha tomado como referencia la norma internacional OSHA el cual establece un límite máximo permisible de 100 ppm para 8 horas de exposición.

La resolución 610 de marzo del 2010, modificó los valores límites permisibles para PM10, haciendo este parámetro cada vez más restrictivo, por lo tanto en el año 2010 se encontraba la norma local para PM10 en 70 µg/m<sup>3</sup>, con la entrada en vigor de la norma bajó a 60 µg/m<sup>3</sup>, y actualmente (desde enero del 2011) se encuentra en 50 µg/m<sup>3</sup>.

## • Resultados

Las tablas de resultados de cada muestreador contienen todos los datos obtenidos durante el trabajo de campo y los cálculos correspondientes a la calidad del aire, para cada uno de los días del muestreo, cada tabla también indica el valor mínimo y máximo obtenido además del promedio aritmético para PM10.

Tabla 3.2.64 Resultados calidad de aire en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

| Fecha                                        | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011                                   | 47,28   | -       | -       |
| 01/09/2011                                   | 24,56   | 69,76   | 53,84   |
| 02/09/2011                                   | 50,95   | 48,27   | 49,37   |
| 03/09/2011                                   | 52,72   | 30,89   | 76,03   |
| 04/09/2011                                   | 31,62   | 61,35   | 45,8    |
| 05/09/2011                                   | 35,27   | 34,72   | 33,72   |
| 06/09/2011                                   | 68,79   | 40,69   | 51,26   |
| 07/09/2011                                   | 42,55   | 47,67   | 32,13   |
| 08/09/2011                                   | 41,72   | 34,04   | 44,57   |
| 09/09/2011                                   | 62,07   | 50,76   | 48,52   |
| 10/09/2011                                   | -       | 30,2    | 46,68   |
| PROMEDIO ARITMÉTICO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 45,75   | 44,84   | 48,19   |
| MAXIMO PERMISIBLE $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | 50      | 50      | 50      |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.65 Resultados Calidad de aire en PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

| Fecha                                        | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011                                   | 78,89   | -       | -       |
| 01/09/2011                                   | 46,96   | 97,25   | 51,73   |
| 02/09/2011                                   | 67,38   | 64,84   | 72,55   |
| 03/09/2011                                   | 40,06   | 37,1    | 49,98   |
| 04/09/2011                                   | 89,3    | 47,23   | 47,53   |
| 05/09/2011                                   | 77,43   | 77      | 51,5    |
| 06/09/2011                                   | 95,84   | 56,79   | 50,01   |
| 07/09/2011                                   | 47,43   | 30,4    | 36,85   |
| 08/09/2011                                   | 62,29   | 46,3    | 46,51   |
| 09/09/2011                                   | 73,36   | 51,23   | 49,19   |
| 10/09/2011                                   | -       | 54,3    | 52,18   |
| PROMEDIO GEOMETRICO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 65,42   | 53,42   | 50,17   |
| MAXIMO PERMISIBLE $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | 100     | 100     | 100     |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011



Tabla 3.2.66 Calidad de aire en SO<sub>2</sub> (µg /m<sup>3</sup>).

| Fecha                        | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|------------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011                   | 0,02    | -       | -       |
| 01/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 02/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 03/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 04/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 05/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,01    |
| 06/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 07/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,01    |
| 08/09/2011                   | 0,02    | 0,01    | 0,01    |
| 09/09/2011                   | 0,02    | 0,02    | 0,01    |
| 10/09/2011                   | -       | 0,02    | 0,02    |
| PROMEDIO Aritmético<br>µg/m3 | 0,016   | 0,016   | 16      |
| MAXIMO PERMISIBLE<br>µg/m3   | 80      | 80      | 80      |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.67 Resultados calidad de aire en NO<sub>2</sub> (µg /m<sup>3</sup>).

| Fecha                           | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|---------------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011                      | 0,02    | -       | -       |
| 01/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 02/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 03/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,02    |
| 04/09/2011                      | 0,5     | 0,02    | 0,02    |
| 05/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,28    |
| 06/09/2011                      | 0,28    | 0,02    | 0,55    |
| 07/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,31    |
| 08/09/2011                      | 0,02    | 0,01    | 0,01    |
| 09/09/2011                      | 0,02    | 0,02    | 0,34    |
| 10/09/2011                      | -       | 0,02    | 0,31    |
| PROMEDIO<br>ARITMÉTICO<br>µg/m3 | 0,09    | 0,02    | 0,19    |
| MAXIMO<br>PERMISIBLE<br>µg/m3   | 100     | 1000    | 100     |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.68 Resultados calidad de aire en CO (ppm).

| Fecha                   | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|-------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,00    |
| 01/09/2011              | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 02/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,00    |
| 03/09/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,10    |
| 04/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,10    |
| 05/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,10    |
| 06/09/2011              | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 07/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,00    |
| 08/09/2011              | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 09/09/2011              | 0,00    | 0,20    | 0,00    |
| PROMEDIO ARITMÉTICO ppm | 0,01    | 0,08    | 0,03    |
| MAXIMO PERMISIBLE ppm   | 8,80    | 8,80    | 8,80    |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.69 Resultados calidad de aire en COVs (ppm).

| Fecha                   | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 |
|-------------------------|---------|---------|---------|
| 31/08/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,10    |
| 01/09/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,10    |
| 02/09/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,10    |
| 03/09/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,10    |
| 04/09/2011              | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 05/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,20    |
| 06/09/2011              | 0,10    | 0,20    | 0,20    |
| 07/09/2011              | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 08/09/2011              | 0,00    | 0,10    | 0,00    |
| 09/09/2011              | 0,10    | 0,10    | 0,20    |
| PROMEDIO ARITMÉTICO ppm | 0,06    | 0,09    | 0,10    |
| MAXIMO PERMISIBLE ppm   | 100,00  | 100,00  | 100,00  |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

- Resultados y comparación con la norma de calidad anual

Tabla 3.2.70 Resultados PST Vs Norma

| Material particulado (PST) | Resultados ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                    | 45,74                                      | 50                                    | SI                       |
| Punto 2                    | 44,84                                      | 50                                    | SI                       |
| Punto 3                    | 48,19                                      | 50                                    | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.71 Resultados PM10 Vs Norma

| Material particulado (PM10) | Resultados ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                     | 65,42                                      | 100                                   | SI                       |
| Punto 2                     | 53,42                                      | 100                                   | SI                       |
| Punto 3                     | 50,17                                      | 100                                   | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.72 Resultados NO<sub>2</sub> Vs Norma

| Material particulado (PM10) | Resultados ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                     | 0,09                                       | 100                                   | SI                       |
| Punto 2                     | 0,02                                       | 100                                   | SI                       |
| Punto 3                     | 0,19                                       | 100                                   | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.73 Resultados SO<sub>2</sub> Vs Norma

| Material particulado (PM10) | Resultados ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                     | 0,016                                      | 80                                    | SI                       |
| Punto 2                     | 0,016                                      | 80                                    | SI                       |
| Punto 3                     | 0,016                                      | 80                                    | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.74 Resultados CO Vs Norma

| Material particulado (PM10) | Resultados ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                     | 0,01                                       | 8,80                                  | SI                       |
| Punto 2                     | 0,08                                       | 8,80                                  | SI                       |
| Punto 3                     | 0,03                                       | 8,80                                  | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

Tabla 3.2.75 Resultados COVs Vs Norma

| Material particulado (PM10) | Resultados ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). | Norma ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). | Cumplimiento de la norma |
|-----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Punto 1                     | 0,06                                     | 100                                 | SI                       |
| Punto 2                     | 0,09                                     | 100                                 | SI                       |
| Punto 3                     | 0,010                                    | 100                                 | SI                       |

Fuente: DLG Ingenieros S.A.S, 2011

- **Análisis de resultados**

Se presenta a continuación la relación de resultados por parámetros medidos en cada Estación de Monitoreo (PM10).

- PUNTO 1: Lote Sociedad Portuaria Puerto Bahía

Partículas Menores de 10 Micras (PM10)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 45,75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 91,5% de la Norma Local de Calidad de Aire (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 68,79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 45,86% del valor máximo a condiciones locales (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 20,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo de la norma en un 79,99%.

Partículas Suspendedas Totales

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 65,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 65,42% de la Norma Local de Calidad de Aire (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 95,84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 31,94% del valor máximo a condiciones locales (300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 40,06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo de la norma en un 59,94%.

Gases Dióxidos de Nitrógeno (NO2)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 0,09% de la Norma Local de Calidad de Aire (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

El valor más alto fue de 0,50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

Gases Dióxidos de Azufre (SO2)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,016  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 0,02% de la Norma Local de Calidad de Aire (80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

El valor más alto fue de 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

#### Gases: Monóxidos de carbono (CO)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,1 ppm, equivalente al 0,11% de la Norma Local de Calidad de Aire (8,8 ppm.)

El valor más alto fue de 0,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

Los resultados de Óxidos de Carbono para este punto se consideran casi imperceptibles.

#### Gases Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,06 ppm, equivalente al 0,06% de la Norma Local de Calidad de Aire (100 ppm.)

El valor más alto fue de 0,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

Los resultados Compuestos Orgánicos Volátiles para este punto se consideran casi imperceptibles.

### - PUNTO 2: Estación de policía población Ararca

#### Partículas Menores de 10 Micras (PM10)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 44,84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 89,68% de la Norma Local de Calidad de Aire (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 69,76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 46,5% del valor máximo a condiciones locales (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 30,20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo de la norma en un 69,80%.

#### Partículas Suspendidas Totales

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 53,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 53,42% de la Norma Local de Calidad de Aire (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 97,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 32,41% del valor máximo a condiciones locales (300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 30,40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo de la norma en un 89,60%.



### Gases Dióxidos de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,02 µg/m<sup>3</sup>, equivalente al 0,02% de la Norma Local de Calidad de Aire (100 µg/m<sup>3</sup>.)

El valor más alto fue de 0,02 µg/m<sup>3</sup> mientras que el más bajo fue de 0,01 µg/m<sup>3</sup>, encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

### Gases: Dióxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,016 µg/m<sup>3</sup>, equivalente al 0,02% de la Norma Local de Calidad de Aire (80 µg/m<sup>3</sup>.)

El valor más alto fue de 0,02 µg/m<sup>3</sup> mientras que el más bajo fue de 0,01 µg/m<sup>3</sup>, encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

### Gases: Monóxidos de carbono (CO)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,08 ppm, equivalente al 0,90% de la Norma Local de Calidad de Aire (8,8 ppm.)

El valor más alto fue de 0,2 µg/m<sup>3</sup> mientras que el más bajo fue de 0,0 µg/m<sup>3</sup>, encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

Los resultados de Óxidos de Carbono para este punto se consideran casi imperceptibles.

### Gases: Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,09 ppm, equivalente al 0,09% de la Norma Local de Calidad de Aire (100 ppm.)

El valor más alto fue de 0,2 µg/m<sup>3</sup> mientras que el más bajo fue de 0,0 µg/m<sup>3</sup>, encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

Los resultados Compuestos Orgánicos Volátiles para este punto se consideran casi imperceptibles.

- PUNTO 3: Población de Ararca (colegio)

### Partículas Menores de 10 Micras (PM<sub>10</sub>)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 48,19 µg/m<sup>3</sup>, equivalente al 96,38% de la Norma Local de Calidad de Aire (50 µg/m<sup>3</sup>.)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 76,03 µg/m<sup>3</sup>, equivalente al 50,68% del valor máximo a condiciones locales (150 µg/m<sup>3</sup>), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 32,13 µg/m<sup>3</sup>, encontrándose por debajo de la norma en un 67,87%.

#### Partículas Suspensas Totales

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 50,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 50,17% de la Norma Local de Calidad de Aire (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

La concentración en 24 horas más elevada, durante el período evaluado, fue de 72,55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 24,18% del valor máximo a condiciones locales (300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en resolución número 610 del 24 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se modifica la resolución 601 del 04 de abril de 2006.

El valor más bajo fue de 36,85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo de la norma en un 63,15%.

#### Gases: Dióxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,019  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 0,019% de la Norma Local de Calidad de Aire (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

El valor más alto fue de 0,55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

#### Gases: Dióxidos de Azufre ( $\text{SO}_2$ )

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,016  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 0,02% de la Norma Local de Calidad de Aire (80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .)

El valor más alto fue de 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 98%.

#### Gases: Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,03 ppm, equivalente al 0,34% de la Norma Local de Calidad de Aire (8,8 ppm.)

El valor más alto fue de 0,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

#### Gases: Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)

El promedio geométrico de las concentraciones acumuladas durante el muestreo fue de 0,10 ppm, equivalente al 0,10% de la Norma Local de Calidad de Aire (100 ppm.)

El valor más alto fue de 0,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue de 0,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose ambos por debajo de la norma por encima del 99%.

Los resultados Compuestos Orgánicos Volátiles para este punto se consideran casi Imperceptibles.

### 3.2.10.3 Ruido

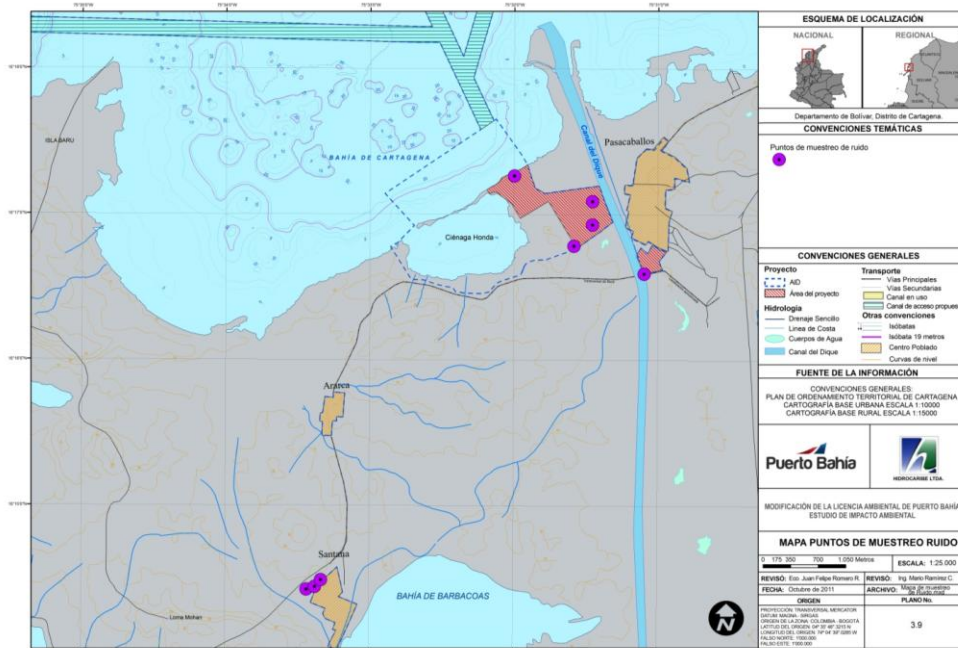
El monitoreo de ruido ambiental se desarrolló con base a la normatividad del MAVDT (Resol. 0627 de abril 7 de 2006) para lo cual se realizó un barrido, con el sonómetro en ponderación rápida en las poblaciones de Santa Ana, Puerto Bahía, y Lote de Pasacaballos, durante los días 22,23 y 24 de junio de 2011, realizando recorridos diurnos y nocturnos; cuyos resultados y la ubicación de los puntos pueden apreciarse en el capítulo 1 – Generalidades y en el anexo 3.3 se pueden ver las hojas de campo, reporte del sonómetro y calibración de los equipos empleados. En la Tabla 3.2.76, se realiza una descripción de la ubicación de los mismos.

Tabla 3.2.76. Localización de los puntos de muestreo

| Población de Santana |                     |                    |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| Punto No.            | Georeferencia Norte | Georeferencia Este | Ubicación                |
| 1                    | 10°14'25.4"N        | 75°33'25.9"O       | Casa Señora Motorel      |
| 2                    | 10°14'26.5"N        | 75°33'22.4"O       | Esquina Colegio Santana  |
| 3                    | 10°14'29.3"N        | 75°33'19.9"O       | Casa Familia Rocha Salas |
| Puerto Bahía         |                     |                    |                          |
| 1                    | 10°16'55.8"N        | 75°31'20.4"O       | Entrada Principal        |
| 2                    | 10°17'05.4"N        | 75°31'27.1"O       | Lateral Hacia el Dique   |
| 3                    | 10°17'15.9"N        | 75°31'59.7"O       | Muelle                   |
| 4                    | 10°16'47.0"N        | 75°31'34.8"O       | Entrada de Volteos       |
| 5                    | 10°16'47.0"N        | 75°31'34.8"O       | Salida                   |
| Lote Pasacaballos    |                     |                    |                          |
| 1                    | 10°16'35.6"N        | 75°31'05.5"O       | Entrada a Lote           |

Fuente: HIDROCARIBE LTDA, 2011

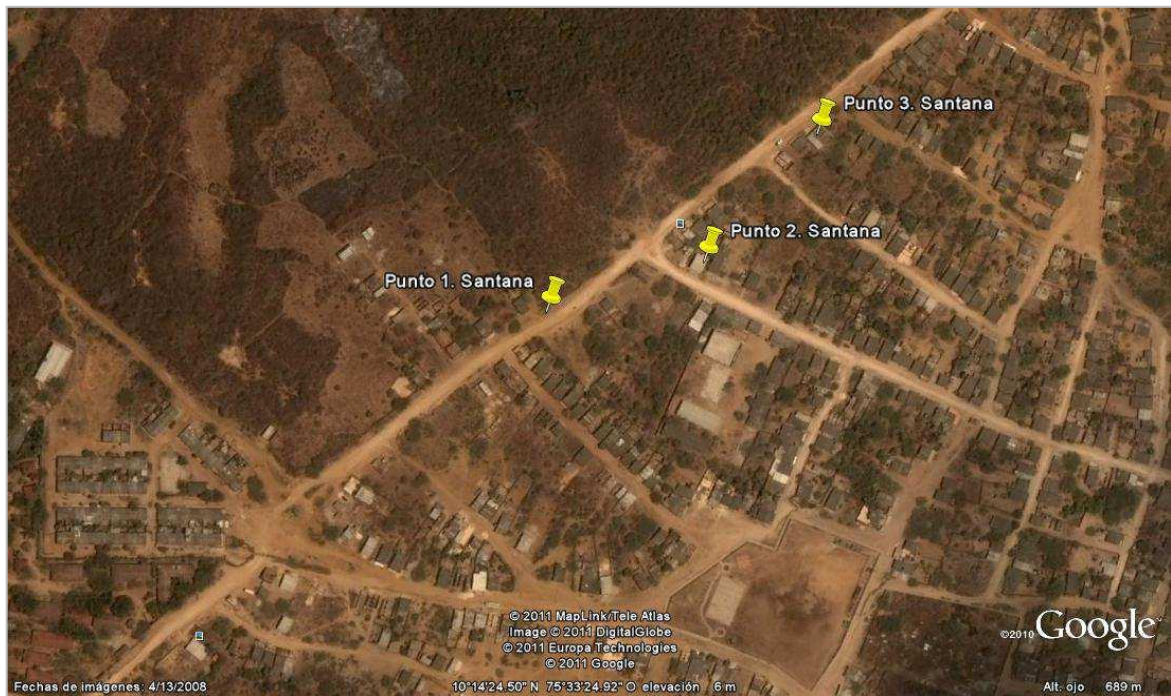
Figura 3.2.80 Localización general de las estaciones de monitoreo



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Figura 3.2.81 Localización de las estaciones de monitoreo Santa Ana



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

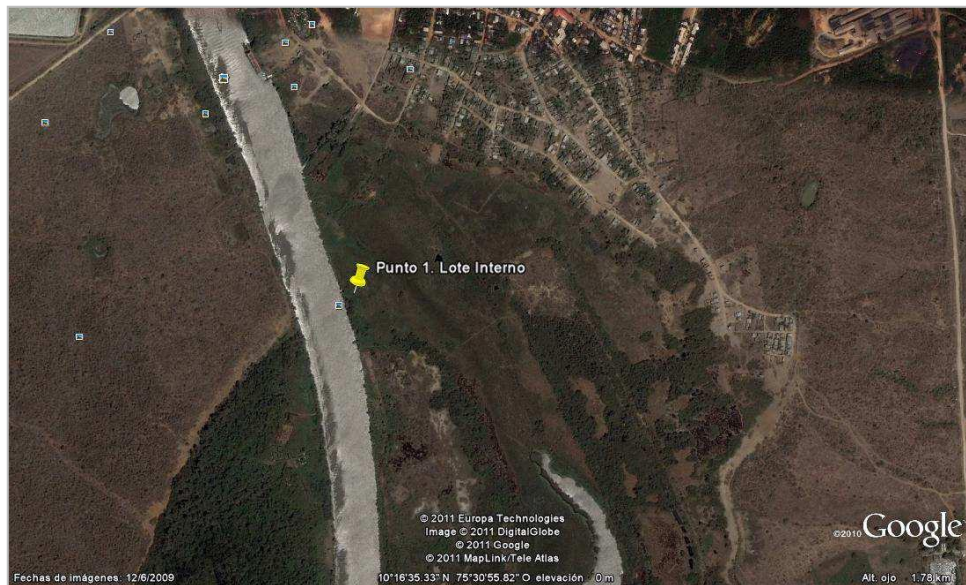
Figura 3.2.82 Localización de las estaciones de monitoreo Puerto Bahía



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Figura 3.2.83 Localización de las estaciones de monitoreo Pasacaballos



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### 3.2.10.3.1 Resultados numéricos y comparación con la normatividad

Para efectos de evaluación de ruido ambiental la zona de influencia del Proyecto, se realizaron los cálculos con el equipo en ponderación lenta (SLOW) y se tomó en cuenta el Nivel Sonoro Equivalente (LAeq), que representa la energía sonora total y real en un período de tiempo, expresada en dB, permitiendo el proceso de ruido discontinuo o fluctuante con un solo valor. La buena correlación encontrada entre la energía sonora recibida y la respuesta comunitaria permite utilizar el Leq como descriptor del ruido ambiental. (Ver Tabla 3.2.77 y Tabla 3.2.78).

Tabla 3.2.77. Resultados del muestreo de ruido año 2011 periodo diurno, Población de Santa Ana

|                             | LEQ RUIDO AMBIENTAL |             |           |         |             |        |                  |                            |            |        |
|-----------------------------|---------------------|-------------|-----------|---------|-------------|--------|------------------|----------------------------|------------|--------|
|                             | POBLACION SANTANA   |             |           |         |             |        |                  |                            |            |        |
| IDENTIFICACION DEL PUNTO    | ME-DIC No.          | FECHA MEDIC | Punto No. | PERIODO | Hora inicio | LAeq,T | LAeq,T, Residual | LAeq,T - LAeq, T, Residual | Leqemisión | CUMPLE |
| Casa señora Matarel         | S12                 | 22/06/2011  | 1         | DIURNO  | 12:57:25    | 63,8   | 50,3             | 13,5                       | 63,6       | SI     |
| Esquina Colegio Santana     | S12                 | 22/06/2011  | 2         | DIURNO  | 15:48:19    | 62,5   | 56,2             | 6,3                        | 61,3       | SI     |
| Familia Rocha Salas         | S12                 | 22/06/2011  | 3         | DIURNO  | 18:55:33    | 64,3   | 42,5             | 21,8                       | 64,3       | SI     |
| Norma Diurno Leq - dB (A)   |                     |             |           | 65      |             | 63,5   |                  |                            | Cumple     |        |
| Casa señora Matarel         | S12                 | 22/06/2011  | 1         | NOCTUR  | 21:10:09    | 54,2   | 39,5             | 14,7                       | 54,1       | NO     |
| Esquina Colegio Santana     | S12                 | 22/06/2011  | 2         | NOCTUR  | 22:15:14    | 52,8   | 37,5             | 15,3                       | 52,7       | NO     |
| Familia Rocha Salas         | S12                 | 22/06/2011  | 3         | NOCTUR  | 23:24:38    | 53,9   | 40,7             | 13,2                       | 53,7       | NO     |
| Norma Nocturno Leq - dB (A) |                     |             |           | 50      |             | 53,6   |                  |                            | Cumple     |        |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.



Tabla 3.2.78. Resultados del muestreo de ruido año 2011, Puerto Bahía

| LEQ RUIDO AMBIENTAL         |           |             |           |         |             |        |                  |                            |             |        |
|-----------------------------|-----------|-------------|-----------|---------|-------------|--------|------------------|----------------------------|-------------|--------|
| LOTE PUERTO BAHIA           |           |             |           |         |             |        |                  |                            |             |        |
| IDENTIFICACION DEL PUNTO    | MEDIC No. | FECHA MEDIC | Punto No. | PERIODO | Hora inicio | LAeq,T | LAeq,T, Residual | LAeq,T - LAeq, T, Residual | Leqemi-sión | CUMPLE |
| Entrada Principal           | S128      | 23/06/2011  | 1         | DIURNO  | 13:04:25    | 64,2   | 42,8             | 21,4                       | 64,2        | SI     |
| Laterla Hacia Dique         | S129      | 23/06/2011  | 2         | DIURNO  | 14:10:33    | 62,1   | 43,1             | 19,0                       | 62,0        | SI     |
| Muelle                      | S130      | 23/06/2011  | 3         | DIURNO  | 15:16:28    | 60,5   | 40,0             | 20,5                       | 60,5        | SI     |
| Entrada Volteos             | S131      | 23/06/2011  | 4         | DIURNO  | 16:22:42    | 62,3   | 40,9             | 21,4                       | 62,3        | SI     |
| Salida Volteos              | S132      | 23/06/2011  | 5         | DIURNO  | 17:30:29    | 60,5   | 41,5             | 19,0                       | 60,4        | SI     |
| Norma Diurno Leq - dB (A)   |           |             |           | 75      |             | 62,3   |                  |                            | Cumple      |        |
| Entrada Principal           | S133      | 23/06/2011  | 1         | NOCTUR  | 01:38:52    | 54,2   | 39,5             | 14,7                       | 54,1        | SI     |
| Laterla Hacia Dique         | S134      | 23/06/2011  | 2         | NOCTUR  | 23:17:45    | 52,8   | 37,5             | 15,3                       | 52,7        | SI     |
| Muelle                      | S135      | 23/06/2011  | 3         | NOCTUR  | 00:19:19    | 53,9   | 38,8             | 15,1                       | 53,8        | SI     |
| Entrada Volteos             | S136      | 23/06/2011  | 4         | NOCTUR  | 22:08:34    | 50,9   | 37,2             | 13,7                       | 50,7        | SI     |
| Salida Volteos              | S137      | 23/06/2011  | 5         | NOCTUR  | 21:18:27    | 51,7   | 36,4             | 15,3                       | 51,6        | SI     |
| Norma Nocturno Leq - dB (A) |           |             |           | 70      |             | 52,3   |                  |                            | Cumple      |        |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

Tabla 3.2.79. Resultados del muestreo de ruido año 2011, Pasacaballos

| LEQ RUIDO AMBIENTAL         |           |             |           |         |             |        |                  |                            |             |        |
|-----------------------------|-----------|-------------|-----------|---------|-------------|--------|------------------|----------------------------|-------------|--------|
| PASACABALLOS                |           |             |           |         |             |        |                  |                            |             |        |
| IDENTIFICACION DEL PUNTO    | MEDIC No. | FECHA MEDIC | Punto No. | PERIODO | Hora inicio | LAeq,T | LAeq,T, Residual | LAeq,T - LAeq, T, Residual | Leqemi-sión | CUMPLE |
| Lote                        | S138      | 22/06/2011  | 1         | DIURNO  | 14:00:25    | 62,8   | 49,3             | 13,5                       | 62,6        | SI     |
| Norma Diurno Leq - dB (A)   |           |             |           | 75      |             |        |                  |                            | Cumple      |        |
| Lote                        | S139      | 22/06/2011  | 1         | NOCTUR  | 21:00:37    | 53,5   | 37,2             | 16,3                       | 53,4        | SI     |
| Norma Nocturno Leq - dB (A) |           |             |           | 70      |             |        |                  |                            | Cumple      |        |

Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

## Ruido específico

El nivel promedio Leq (A) de las mediciones realizadas para la población de Santana durante el periodo diurno dio 63.5 dB(A) por debajo de norma y nocturno en 53.6 dB(A) por encima de norma (65 dB(A) Diurno y 50 dB(A) Nocturno); en Puerto Bahía durante el periodo diurno dio 62.3 dB(A) (75 dB(A) Diurno y 75 dB(A) Nocturno) por debajo de norma y nocturno en 52.3 dB(A) ambos por debajo de norma y en lote interno durante el periodo diurno dio 62.8 dB(A) por debajo de norma y nocturno en 53.5 dB(A) por debajo de norma (75 dB(A) Diurno y 70 dB(A) Nocturno).

### Ruido Residual

No se realizaron mediciones para determinar el ruido residual; sin embargo se tomó el nivel L90.

### Variabilidad de fuentes

Al momento de las mediciones no existían fuentes generadoras de ruido específicas y los únicos generadores de ruido eran los vehículos de toda índole tanto terrestre como fluvial que entran o salen de las poblaciones y del área del proyecto del puerto.

### Descripción de las fuentes de sonidos existentes

Como toda zona urbana se observó que el ruido generado corresponde a las actividades propias de las viviendas, establecimientos comerciales, transporte terrestre tanto público como privado y fluvial. Durante las mediciones no se realizaba ninguna actividad del proyecto.

### Datos Cualitativos

Hay que tener en cuenta que los ruidos que se generan provienen principalmente del ruido de los motores de lanchas, motos, estaderos y establecimientos comerciales, vehículos entre otros.

### Análisis de los resultados

Las mediciones de ruido realizadas durante los días 22, 23 y 24 de Junio de 2011 en la zona de influencia del Proyecto Puerto Bahía; se compararon con la Norma de Ruido Ambiental de la Resolución 0627 de abril 07 de 2006, Tabla 2. Sector C (Ruido Intermedio Restringido) y Sector B (Tranquilidad y Ruido Moderado). Ver tablas siguientes.

|                                                |                                                                                                                                   |           |           |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| <b>Sector C. Ruido Intermedio Restringido</b>  | <b>Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.</b> | <b>75</b> | <b>70</b> |
| <b>Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado</b> | <b>Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.</b>                      | <b>65</b> | <b>50</b> |

Los resultados del estudio de ruido ambiental realizado la zona de influencia del proyecto PUERTO BAHIA, indican que durante el período diurno los valores están por debajo de los estándares máximos permisibles Leq, pero en el periodo nocturno todos los valores la superan, de acuerdo con las mediciones realizadas, de acuerdo a la Resolución 0627 del MAVDT. El ruido que se genera en la zona proviene principalmente de las actividades propias de las comunidades, viviendas y escuelas, establecimientos comerciales, movimiento de motos, lanchas, y barcos.

### 3.2.11 Paisaje

De acuerdo con el POT de Cartagena (2001), el territorio distrital es una franja angosta a orillas del mar Caribe con 193 kilómetros de costa, desde los límites con Galerazamba al Norte hasta Boca Flamenquito, al Sur, límite con el departamento de Sucre. Esta franja tiene su mayor ancho de 17 kilómetros en el área urbana y en la zona Norte (Punta Canoas – Bayunca) y el menor, de menos de un (1) kilómetro, entre los caños de Matunilla y Lequerica.

La ciudad ha modificado su morfología original consistente de varias islas, que formaban varias lagunas pequeñas y caños. Hoy se presenta como una franja continua de tierra al borde de la Bahía, pero mantiene un sistema de cuerpos de agua interiores entre esta y la Ciénaga de La Virgen, hoy en malas condiciones por la falta de circulación y por el recibo de aguas pluviales y negras de la ciudad. Al sur se encuentra la bahía de Barbacoas, que muestra sus aguas completamente afectadas por los sedimentos arrojados por el canal del Dique, razón por la cual el fondo de la bahía es lodoso.

El paisaje estratégico de Cartagena de Indias es el agua, elemento natural que define la morfología de su territorio: el mar Caribe, que conforma el borde de la ciudad; el acuífero de Arroyo Grande; la ciénaga de La Virgen; la bahía de Cartagena; el Parque natural Corales del Rosario e islas de San Bernardo; la bahía de Barbacoas y el canal del Dique. Ellos, en su conjunto, le dan a la ciudad su carácter e identidad.

Al sur se encuentra la bahía de Barbacoas, que muestra sus aguas completamente afectadas por los sedimentos arrojados por el canal del Dique, razón por la cual el fondo de la bahía es lodoso. En el espacio ocupado por el Distrito se diferencian varios paisajes que conforman la fisiografía general y que tomando como base para la observación la ciudad de Cartagena, puede describirse el territorio en el área de estudio de la siguiente manera:

Las planicies costeras aledañas a Cartagena constituyen la plataforma en la cual se desarrollan actividades de producción agrícola. Las coberturas naturales en especial de manglar han sido alteradas por el cambio de uso del suelo, especialmente la explotación agropecuaria, donde pequeñas áreas localizadas en puntos aislados han sido utilizadas para cultivos de subsistencia o pequeñas parcelas de pastos utilizadas para la ganadería. Las playas constituyen el paisaje principal que proyecta Cartagena por su uso para la recreación y el turismo. Sin embargo, a pesar de su estabilidad, las playas se encuentran sometidas a la contaminación por basuras y sobre uso por densificación de turismo. La zona urbana se mezcla diferentes tipos de usos en los que se conjugan el uso residencial, turístico y comercial, institucional e industrial, este último localizado hacia el sur del casco urbano de Cartagena en el área conocida como Mamonal. En esta zona, además se localiza el centro antiguo de la ciudad, el cual es un importante punto de confluencia tanto local por su ubicación estratégica, como turística por la belleza e historia que representa. El área marítima representa un escenario visual importante dada su ubicación estratégica, hacia la cual ocurren diferentes tipos de embarcaciones de transporte de insumos y materiales, embarcaciones turísticas y de carácter militar que transitan continuamente la zona.

#### 3.2.11.1 Unidades de paisaje-Área de influencia indirecta

- Paisaje de Ciénaga

Hacia el norte adyacente a la ciudad domina la presencia del cuerpo de agua de la Ciénaga de La Virgen, es una laguna rodeada de planicies inclinadas hacia ella, delimitada hacia el mar por un cordón de arena ocupada por

desarrollos residenciales, turísticos y el centro poblado de pescadores de La Boquilla, lugar en donde se abre una boca del mismo nombre que comunica la Ciénaga con el Mar. En la Isla de Barú, son 6 las ciénagas costeras (Ciénaga Los Vásquez, Portonaito, Cholón, Pelao, Barú y Mohan) que determinan gran parte del paisaje. Estas, están bordeadas por Mangle.

- Paisaje de Colinas

En el extremo norte de la ciudad se encuentra, en sentido este-oeste, una formación de lomas conocida como la Cuchilla de Canalete, que remata en la costa en el sitio conocido como Los Morros. Desde aquí hacia el límite norte del Distrito, el paisaje es dominado por un conjunto de lomas y colinas, con algunos valles y planicies más o menos extensas intercaladas.

La mayor parte de la zona está cubierta de pastos para ganadería pero se observan algunos sectores de bosque seco típico principalmente en los alrededores de los arroyos. También se observa pequeña agricultura y casas de recreo y edificios dedicados al turismo, algunos terminados, otros en desarrollo aún, que se localizan hacia las playas.

- Paisaje de Zonas Costeras

La franja de playas y el litoral está caracterizado por ser una zona de sedimentación y traslado de arenas hacia el sur, formando en algunas partes playas anchas en permanente movimiento.

- Paisaje Urbano

El sector urbanizado de la ciudad está dominado por el paisaje urbano que ocupa en sentido norte-sur la totalidad del terreno entre la Ciénaga de la Virgen y el corregimiento de Pasacaballos y en profundidad hasta los límites de Santa Rosa, Turbaco y Turbana, que corren cerca a la Vía de la Cordialidad y a las Variantes Cartagena y mamonal - Gambote. La Ciudad ha incorporado en su desarrollo el sistema de colinas del Cerro de la Popa, los Cerros de Marión, Zaragocilla y los Cerros de Albornoz, de formación coralina, hoy casi completamente ocupados.

- Paisaje Fluvio-marino

Dominado por la influencia del canal del Dique con apariencia fluvio-marina. Los terrenos se observan rodeados principalmente de manglar y, en las partes más altas, de bosque seco bajo, propio de la zona. En la Isla del Covado hay un desarrollo importante de instalaciones o fincas para el cultivo de camarón, ocupando prácticamente toda la porción de la isla dentro de los límites del Distrito, aproximadamente 2.000 has., con excepción de los bordes del Canal; aguas más abajo, también se encuentran instalaciones de éstas aunque de menor magnitud. Además de esta actividad se observa pequeña agricultura y ganadería, incluyendo las áreas bajas de sedimentación a la orilla del Dique y de los caños donde se siembra arroz. Otra actividad observada es la pesca artesanal, aunque ocasionalmente se han observado faenas de pesca industrial en la zona profunda de la bahía.

- Paisaje de zona marina

Característico de zonas marinas de arrecifes de coral, con aguas claras marinas típicas, frente a la Isla de Barú, en el costado orientado al mar. Hacia el oeste y frente a la punta sur de la Isla de Barú se presenta el archipiélago de las Islas del Rosario, conjunto numeroso de pequeñas islas o terrazas coralinas, rodeadas de pastos marinos y arrecifes de coral. En las islas se observa manglar; las concentraciones importantes, aunque de porte bajo, típico de manglares de zonas saladas, se presentan en las más grandes.

Las islas se encuentran ocupadas por viviendas de recreo y algunas instalaciones para el turismo. En el mar se practica la pesca artesanal.

### 3.2.11.2 Clasificación del paisaje-Área de influencia directa

Identificados los elementos estructurantes y modeladores del paisaje, a continuación se clasifica, el área de influencia directa, en unidades de paisaje como: Natural, Cultural y Cultural/natural.

- La Unidad Natural: se define como áreas donde predominan los elementos moderadores naturales que no intervenidos o que han sido poco intervenidos, donde se conservan los elementos del paisaje casi o en su totalidad, inalterados.
- La Unidad Cultural se caracteriza porque el uso del suelo es de tipo urbano o donde las actividades antrópicas han modificado por completo el paisaje, integrando elementos ajenos al medio natural como edificaciones, vías, amoblamientos urbanos, entre otros.
- La Unidad Cultural/Natural es una mezcla de las dos anteriores, en donde existen asentamientos humanos, se ha modificado el paisaje natural pero esta modificación armoniza con el entorno natural y se conservan elementos naturales.

#### Calificación del Paisaje

A estas unidades de paisaje se les puede categorizar su valor escénico como ALTO, MEDIO Y BAJO basados en los siguientes criterios, descritos en el capítulo 1-metodología:

- Visibilidad: se refiere a la claridad o grado de percepción óptica que un observador tiene dentro de cada unidad.
- Grado de intervención humana o grado de modificación de cada unidad.
- Calidad Visual: se refiere a la sensación de agrado o desagrado que el conjunto de elementos de cada unidad produce a la percepción visual.

#### Descripción del Paisaje Área de Influencia directa

Al realizar una observación del área de estudio se determina que se encuentra en su mayoría sobre superficie marina en la que sobresalen dos islas, y una cobertura de manglar al sur y un centro poblado al norte. Como elementos modeladores se registran:

Naturales: está representado por la vegetación y el mar

- **Vegetación:** Con predominio de vegetación de manglar, subxerofítica y en bajo grado, vegetación de pantano en el sector del Canal.
- **Cuerpos de agua:** Es considerado el elemento modelador del paisaje para el área de influencia directa por la presencia del canal del Dique y la bahía de Cartagena. Con respecto a los naturales, son zonas inundables ocasionales que constituyen albergue; la zona que más peso como modeladora del paisaje es la bahía, que por su gran extensión que llama la atención de cualquier persona sin excepción (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Artificiales: Esta representado por dos edificaciones culturales hispánicas y un centro poblado.



## Clasificación y calificación del Paisaje

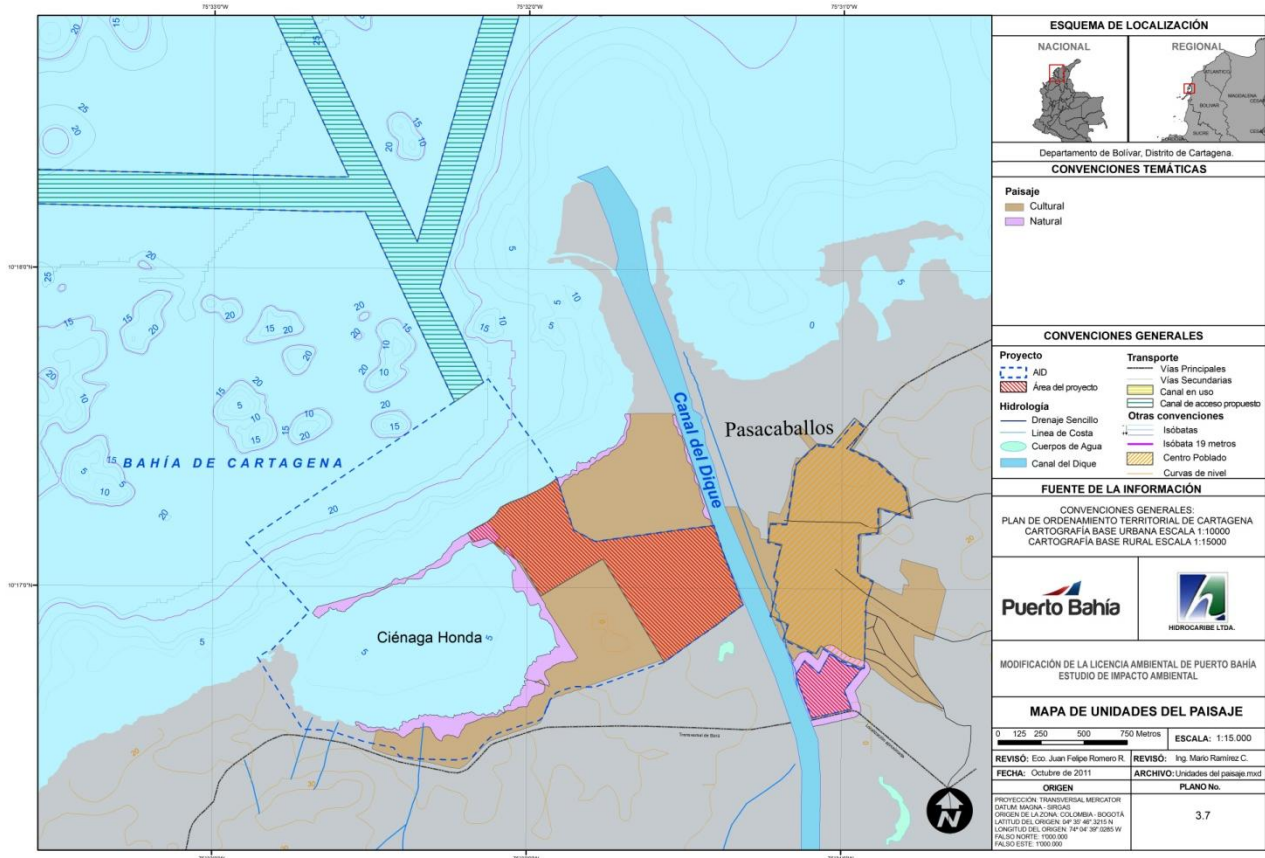
En la Tabla 3.2.80 se clasifican las unidades de paisaje para el área, de acuerdo a la metodología establecida, se plasman las diferentes unidades presentes en el área de influencia directa físico-biótica.

Tabla 3.2.80. Unidades de paisaje del AID

| Unidad de Paisaje  | Visibilidad | Grado de Intervención | Calidad Visual | Valor Escénico | Observaciones                                                                                                                                           |
|--------------------|-------------|-----------------------|----------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natural            | ALTA        | MEDIA                 | ALTA           | ALTO           | En el área, se presenta un grado de alteración a las unidades naturales por intervención antrópica, tanto en la vegetación como en los cuerpos de agua. |
| Natural / cultural | MEDIA       | MEDIA                 | MEDIA          | MEDIO          | Incluye las piscinas camaroneras abandonadas                                                                                                            |
| Cultural           | BAJA        | ALTA                  | BAJA           | BAJO           | Se presentan estructuras viales, infraestructura portuaria y edificaciones                                                                              |

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Figura 3.2.84. Unidades de paisaje en el AID



Fuente: Hidrocaribe Ltda, 2011.

### 3.2.12 Bibliografía

Andersen O. B., Woodworth, P., Flather, R., (1995). Intercomparison of recent ocean tide models. Journal of Geophysical Research 100, 25261-25282.

Andrade, C. y Thomas, F. (1988). Sedimentos en suspensión e hidrodinámica al sureste del delta del río Magdalena, Mar Caribe (Colombia). Boletín Científico CIOH, N. 8, Cartagena, pp. 27-34.

Andrade, C. Yv-F. Thomas, S. Lonin, C. Parra, L. Menanteau, M. Cesaraccio, S. Kunesch, A. Andreau, S. Velasco, C. Piñeres. (2004). Aspectos morfodinámicos de la bahía de Cartagena de Indias. Boletín Científico CIOH, N. 22, p. 90-104.

Andrade, C., Arias F., y Thomas, F. (1988). Nota sobre la turbidez, circulación y erosión en la región de Cartagena (Colombia). Boletín Científico CIOH, N. 8, Cartagena, pp. 71-81.

[1] APHA, AWWA & WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition.[2] MARQUEZ V. MELISSA, 2008. Clasificación de sedimentos clásticos mediante máquinas de vectores de soporte. Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela.

Arias, F & Duran. 1984. Variación anual del fitoplancton en la Bahía de Cartagena. En: Boletín CIOH. N°5. Pág. 61-116.

U.S-EPA, 2006. National Recommended Water Quality Criteria. United States Office Water

Backhaus, J, (1985). A three dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. Dt. Hydrogr.Z., 38, 165-187.

Boudreau B.P, (1997). A one dimensional model for bed-boundary layer particle exchange, Journal of Marine Systems 11:279-303.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME, 2007. Canadian Guidance Framework for the Management of Nutrients in Nearshore Marine Systems. ISBN 978-1-896997-70-4.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT- CCME, 2005. Application and Testing of the CCME Water Quality Index for Selected Water Bodies in Atlantic Canada, Canadian Council of Ministers for the Environment Water Quality Task Group.

CANADIAN WATER QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE, 2001. CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual. Canadian Council of Ministers of the Environmental.

CIOH, 2004. Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques tráfico internacional (fase III). En Informe final Grupo de investigación Área de Protección del medio ambiente marino – grupo de aguas de lastre. Centro de investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Caribe. Cartagena – Colombia.

CIOH, 2009. Climatología de los principales puertos del Caribe colombiano - Cartagena de Indias, D.T. y C. Centro de investigaciones Oceanográficas e 106 hidrográficas del Caribe. Cartagena – Colombia. Consultado el 07 de diciembre de 2010 en: [www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co).

Fisher, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H., (1979). Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press Inc., San Diego, 483pp.

- Fletcher, C.A.J., (1991). Computational techniques for fluid dynamics. Volume I. 2nd Edition. Springer Series in Computational Physics, Springer Verlag, 401 pp., New York.
- Hayter E J, Pakala C V, (1989). Transport of inorganic contaminants in estuarial waters, Journal of Coastal Research. Special Issue 5: 217/230.
- Hess, K.W. (1989). MECCA Programs Documentation. NESDIS, NOAA.
- Jay, D. J., D. A. Jay & J. Musiak. 1996. Salt transport from Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and Conductivity-Temperature-Depth (CTD) data: A methodological study. In: Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics, Coastal and Estuarine Studies volume 53, AGU Ed., pp. 195-212.
- Kjerfve, B., I. H. Stevenson, J. Proehl, T. H. Chrzanowski & W. Kitchens. 1981. Estimation of material fluxes in an estuarine cross section: A critical analysis of spatial measurement density and errors. Limnology and Oceanography, 26(2): 325- 335.
- Krone, R. B. (1962). Flume studies on the transport of sediment in estuarine shoaling processes. Hydr. Eng. Laboratory, Univ. of Berkeley, California, USA.
- LA GREGA, BUCKINGHAM & EVANS. 1996. Gestión de Residuos Tóxicos. Mc Graw Hill. 1316 pp.
- Leendertsee, J.J., (1967). Aspects of a computational model for long water wave propagation. Rand Corporation, Memorandum RM-6230-RC, Santa Monica, 1970.
- Lonin, S. (1994). Simulación de la Circulación y la Dinámica de los Sedimentos en Suspensión en la Zona Somera del Mar Negro. Tesis Ph.D. Universidad Estatal de Hidrometeorología de Rusia, San Petersburgo.
- Lonin, S. (1995). Influence of Suspended Matter on Shallow Water Dynamics. Atmospheric and Oceanic Physics, AGU. Vol. 31, N. 4, pp. 577-586.
- Lonin, S. (1997a). Cálculo de la Transparencia del Agua en la Bahía de Cartagena, Boletín Científico CIOH, N. 18, Cartagena, pp. 85-92.
- Lonin, S. (1997b). Hydrodynamic Modelling and the Problem of Oil Spills on the Colombian Caribbean Shoreline. Spill Technology Newsletter, Vol.22(1-4), pp.1-6.
- Lonin, S. (1999). Lagrangian model for oil spill diffusion at sea. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 5, N. 5/5-6, pp. 331-336.
- Lonin, S. y Giraldo L. (1995). Circulación de las aguas y transporte de contaminantes en la Bahía Interna de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 16, Cartagena, pp. 25-56.
- Lonin, S. y Giraldo L. (1996a). Resultados Preliminares del Estudio de la Dinámica del sistema de Caños y Lagunas de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 17, Cartagena, pp. 17-26.
- Lonin, S., C. Parra, Andrade, C. Yv-F. Thomas, (2004). Patrones de la Pluma turbia del canal del Dique en la Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 22, p. 77-89.
- Lonin, S., y Giraldo L. (1996b). Influencia de los Efectos Térmicos en la Circulación de la Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 17, Cartagena, pp. 47-56.
- Lozano. & Parra. 1993. Análisis armónico y predicción de la marea para la Bahía de Cartagena., Cartagena de Indias, 1993., 120p. Trabajo de grado (Oceanografía Física), Escuela naval de Cadetes Almirante Padilla. Facultad de Oceanografía

- Mehta, A.J., (1988). Laboratory Studies on Cohesive Sediment Deposition and Erosion, Physical Processes in Estuaries, Job Dronkers and Wim Van Leussen (Editors), Springer-Verlag.
- Mellor, G. and Yamada T. (1974). A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. J. Atmos. Sci., 31, 1791-1806.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930 de Octubre 25 de 2010.
- Molares, R. 2004. Clasificación e identificación de las componentes de marea del Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH No. 22, ISSN 0120-0542, Cartagena de Indias, Colombia, pp. 105-114, diciembre de 2004.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA, 2006. Screening Quick Reference Tables.
- Pagliardini J.L., Gómez M., Gutiérrez T., Zapata S., Jurado A., Garay J., Vernet G. (1982). Síntesis del Proyecto Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 4. pp. 49-110.
- Partheniades, E., (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. J. Hydr. Div., ASCE 91 \_HY1., 105–139.
- SHOM. (1984). Table des marées des grands ports du monde. Paris, SHOM Ed.
- Tuchkovenko, Yu.S. and Lonin, S.A. (2003). Mathematical Model of the Oxygen Regime of Cartagena Bay. Ecological Modelling, Vol. 165/1, pp. 91-106.
- Tuchkovenko, Yu.S., Lonin, S.A. y Calero, L.A. (2000) Modelación Ecológica de las Bahías de Cartagena y Barbacoas bajo la Influencia del Canal del Dique. Avances en Recursos Hidráulicos, N. 7, pp. 76-94.
- Tuchkovenko, Yu.S., Lonin, S.A. y Calero, L.A. (2002). Modelo de eutroficación de la bahía de Cartagena y su aplicación práctica. Boletín Científico CIOH, N. 20, Cartagena, pp. 28-44.
- UNAL, 2007. Informe Final Proyecto “Estudios e Investigaciones de las Obras de Restauración Ambiental y de Navegación del Canal del Dique”.
- Urbano, J., Thomas, F., Parra, C, y Genet P. (1992). Dinámica de la pluma de turbidez del canal del Dique en la bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH, N. 11, Cartagena, pp. 3-14.

**Anexo 3.1 Informe y acreditación del laboratorio**  
**Muestreo de calidad de agua**



**Anexo 3.2 Informe y acreditación del laboratorio**  
**Muestreo de calidad de aire**

### **Anexo 3.3 Informe y acreditación del laboratorio**

#### **Muestreo de ruido**