

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 el informe preliminar elaborado por la Pontificia Universidad Javeriana (2007), al cual se le hicieron ajustes basados en la ejecución de actividades de campo adicionales y en la complementación y actualización de la información, que serán detalladas a lo largo del documento.

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:

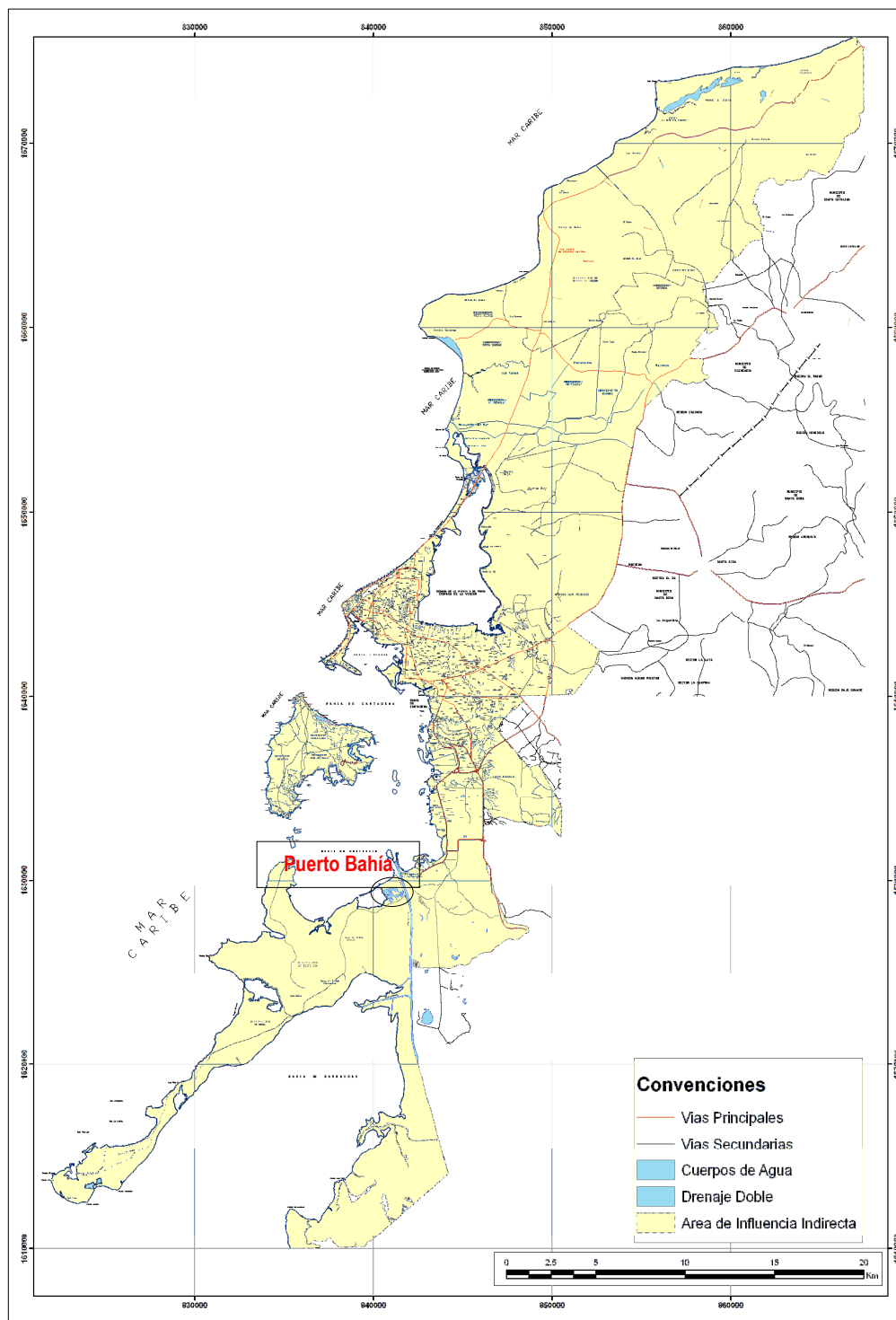
- Áreas de posible afectación por incremento del ruido o por material particulado aerotransportado
- Áreas de origen de la mano de obra no calificada para construcción y operación del puerto
- Área con posible afectación en la pesca artesanal o de subsistencia
- Sector turístico de posible afectación

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 (Figura 3.1-1, ver Plano 3-1 en Anexo Cartográfico), 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 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).

Figura 3.1-1. Localización del proyecto en el área de influencia indirecta (AII)



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

3.1.2 Área de influencia directa (AID)

Para el presente estudio se identificaron dos delimitaciones del área de influencia directa. La primera corresponde al enfoque social, definido contemplando que las comunidades asentadas en inmediaciones de la Bahía presentan usos en ésta así como en el canal del Dique.

Éste área, localizada en la bahía de Cartagena (Figura 3.1-3, ver Anexo Cartográfico), comprende los centros poblados de los corregimientos de Pasacaballos, Santana (incluye centro poblado Ararca), Bocachica y Caño del Oro.

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 la proyección de lo que será la carretera que unirá Pasacaballos y Ararca incluyendo el puente que atravesará el canal del Dique en tal sentido. Hacia el Suroeste está delimitada por la población de Ararca, incluyendo la zona de manglar adyacente al pueblo e igualmente el área de manglar denominada Polonia. Finalmente está delimitada 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.

Como se observa en la Figura 3.1-2, 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 (cuatrecocas), lo que llevó desde comienzos de la década de los ochenta, a que el INDERENA recomendara en repetidas ocasiones a la Alcaldía, el cierre definitivo de las playas del Laguito y de Castillo Grande puesto que mostraban altos niveles de coliformes que sobrepasaban entonces las concentraciones permisibles para contacto primario. 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 por demás, de las grandes y repetidas mortalidades de peces en la ciénaga de la Virgen a causa del agotamiento del oxígeno y la alta carga de DBO y nutrientes de las aguas servidas.

Como segundo factor relevante del deterioro de la calidad ambiental de la Bahía se encuentran los vertimientos arrojados por las industrias de Mamonal, los cuales incluyen diversos químicos, hidrocarburos y materia orgánica. No es un secreto 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.

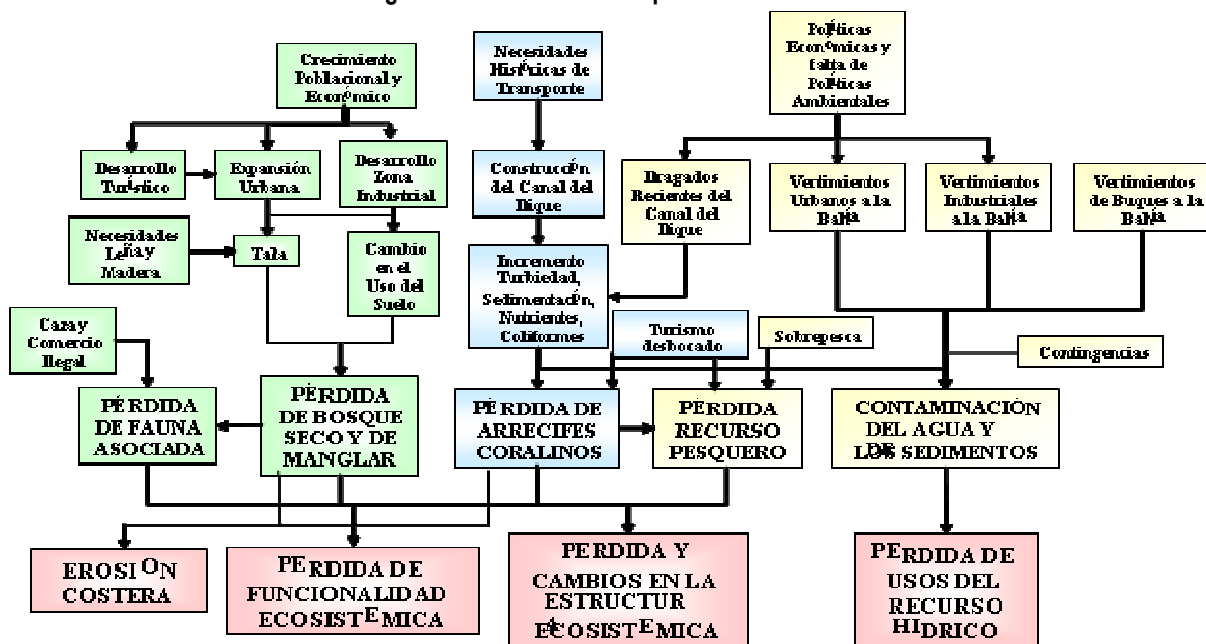
Como tercer factor se encuentra el canal del Dique el cual ha mostrado desde el Ministerio de Transportes la necesidad de su navegabilidad constituyéndose en política permanente de Estado. Numerosos estudios, incluido el actual, han demostrado una inmensa pérdida de calidad de las aguas de la bahía,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

Además, otro copioso número de estudios ha demostrado que los sedimentos, la turbiedad y los nutrientes provenientes del canal del Dique alcanzan el Parque Natural de islas del Rosario, tanto por la bahía de Barbacoas como de Cartagena, condición abiótica causante de la mortalidad coralina en grandes extensiones del Parque.

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.

Como último factor de deterioro ecosistémico de la Bahía y sus alrededores, cabe citar a las actividades turísticas que han ocurrido de forma desbocada y sin control estatal, produciendo daños importantes en los arrecifes del Rosario. Anclas, buzos, botes, esquís, arpones y souvenirs, entre otros, han puesto su grano de arena, amén de los vertimientos líquidos y la disposición inadecuada de residuos sólidos.

Figura 3.1-2. Síntesis de la problemática actual

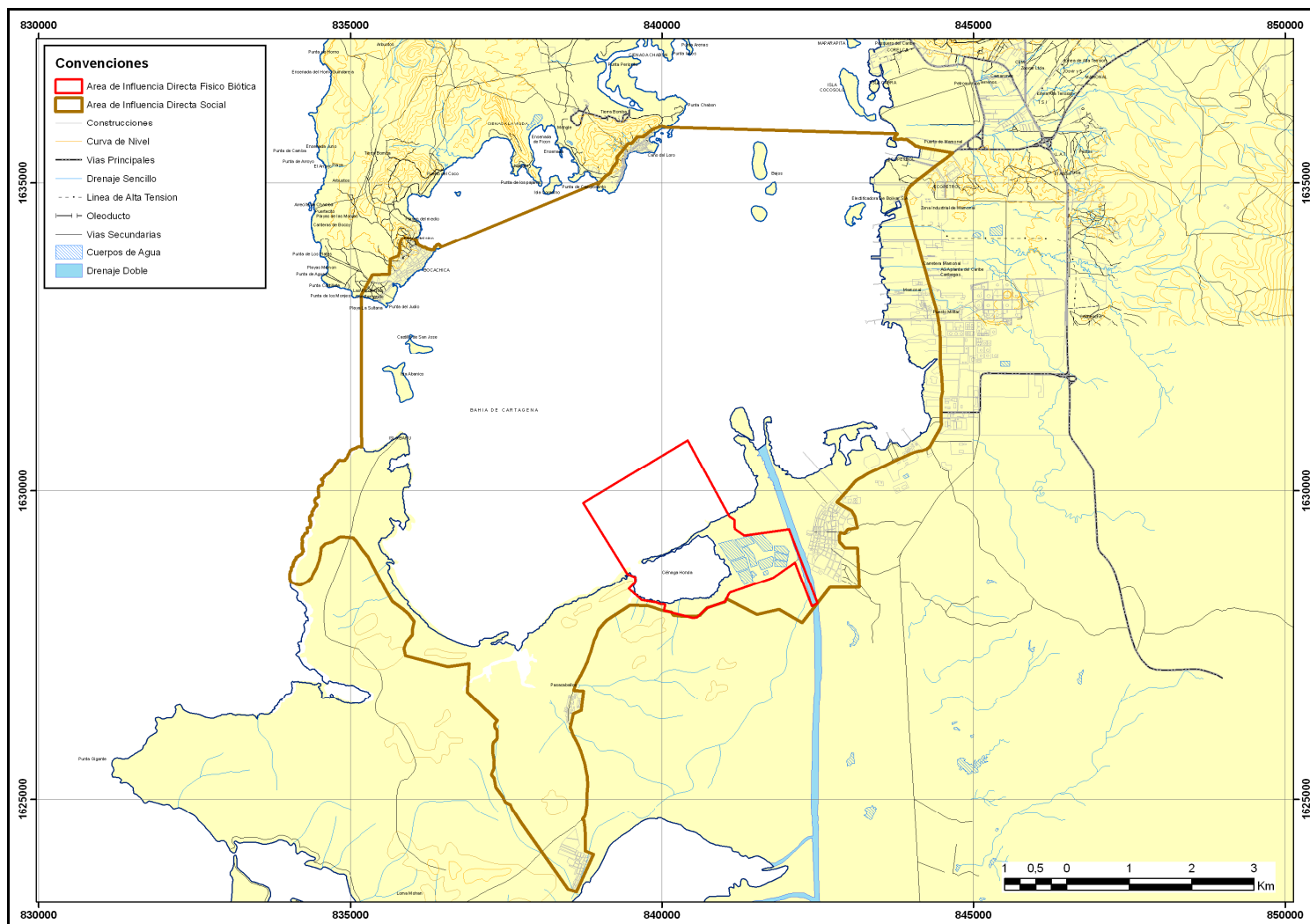


Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

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 ecosistema terrestre, marino y fluvial. En el medio marino se define desde la línea de costa hasta 1000 m 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. En el costado Suroeste, se incluye el área conformada por ciénaga Honda, por ser un ecosistema estratégico en el área. (Ver Figura 3.1-3 y Plano 1-1 Anexo Cartográfico).

Figura 3.1-3 Localización del proyecto en el área de influencia directa (AID)



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

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; Plano 3-2. Geología Anexo Cartográfico).

3.2.1.1 Unidades litoestratigráficas

Formación San Cayetano (Pgcs)

Esta unidad está constituida de capas y bancos de 0,3 a 2 m de espesor de conglomerados de bloques, areniscas conglomeráticas, areniscas de grano fino color gris verdoso y de composición cuarzo feldespático, con intercalaciones locales de arcillolitas grises oscuras y lodolitas silíceas y chert en capas del orden de los 60 cm, aunque localmente se encuentran niveles de 15 - 20 m de limolita silícea y chert, además de nódulos de caliza de 20 cm. Aflora hacia la parte noroccidental de la cuenca del Canal del Dique, en las estribaciones de la serranía de San Jacinto.

Formación Maco (Pgm - Pgma)

Esta formación tiene aproximadamente 500 m de espesor y se compone de bancos de conglomerados arenosos de 1-2 m de espesor con capas de areniscas conglomeráticas a finas con cemento silíceo y de colores grises y amarillos. Los clastos de los conglomerados son de rocas ígneas y de rocas sedimentarias tipo chert con tamaños de 3 a 50 cm (Reyes et al., 1996). Particularmente hacia la parte superior y gradando lateralmente, se presenta una alternancia de capas de limolitas y areniscas arcillolitas amarillas en capas del orden de 10 a 50 cm.

Formación Arjona (PgNga)

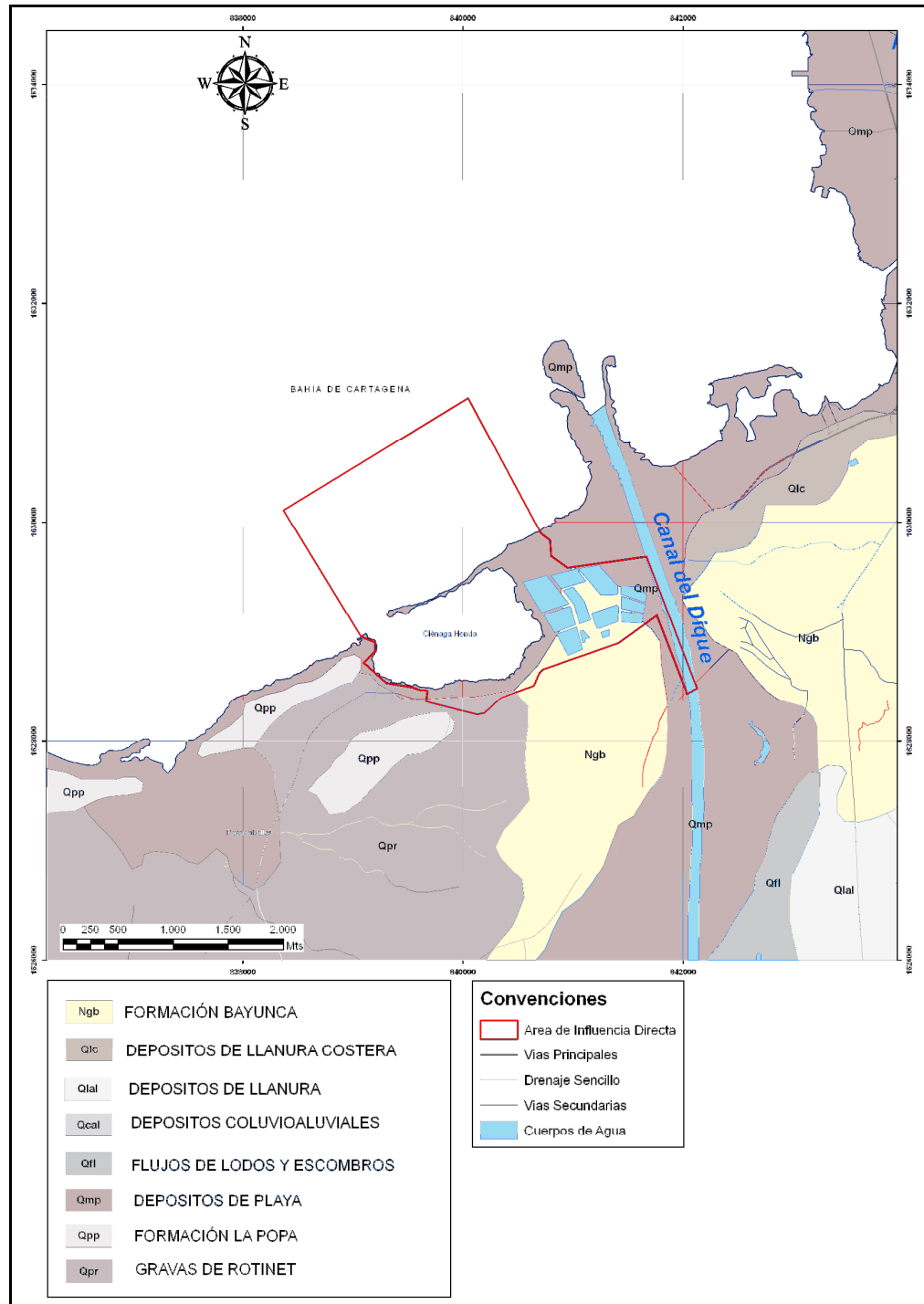
La Formación Arjona alcanza espesores del orden de 1.200 m y está constituida por una secuencia de arcillolitas y limolitas interestratificadas con areniscas cuarzofeldespáticas en capas gruesas y medianas (0,2 a 3 m de espesor) de color pardo amarillento. Localmente se presentan hacia la base niveles de chert radiolarítico y niveles delgados de calizas micriticas, además de concreciones métricas de composición calcárea y también arcillolítica.

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; está constituida por una secuencia de lodolitas gris oscuras, claras y negras, con niveles de oxidación de color 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, flaser, 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: 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, esta 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 de Manglar (Qmm):** Los depósitos de manglar están localizados al suroccidente del departamento de Bolívar y están relacionados con zonas de manglar. Están constituidos por arenas finas, limos y lodos. Se considera como acuitardo.

- **Depósitos Fluviolacustres (Qfl):** Los depósitos fluviolacustres 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 escorrentía. 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 Coluvio-Aluviales (Qcal):** Los depósitos coluvio-aluviales agrupan la sedimentación fluvial reciente y actual, y la generada por coluviones igualmente recientes, relacionados con arroyos y con los piedemontes. Están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, y cubren a las unidades rocosas y a los depósitos cuaternarios más antiguos. Se considera un acuífero de porosidad primaria.

- **Depositos 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 Ternerá.

- **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 clara, 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 dómica 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 continúa 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 disten-

sión 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 Geotecnia

De acuerdo con los estudios geotécnicos realizados en este estudio 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 a que se terminaron los sondeos a 10 metros por debajo del nivel existente de terreno, el nivel freático no se detectó en ninguna de las perforaciones realizadas como lo muestran los perfiles estratigráficos en el Anexo 3-18.

3.2.1.4 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

3.2.1.5 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 sureste 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 GEOGRAFICA	COORDENADA S X , Y	MATSERIAL EXPLOTAD O	PRODUCT O USO	SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	PLAN DE EXPLOTACIÓN		UNIDAD GEOLÓGICA EXPLOTADA	
						SI	NO		
1	Hacienda Casa Loma	Carret. Arjona-Rocha Km 12.1	X : 1.618.400 Y : 864.400	Caliza Silícea Chert	Recebo Afirmado	Ciclo abierto Climatizado		X	Formación Arjona
2	Buenos Aires	Carretera Arjona Rocha Km 17.5	X : 1.613.200 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 Y : 850.500	Chert	Recebo Afirmado	Ciclo abierto Macanizado abandonado		X	Formación Arjona
4	El Limón	Carretera Malagana - María la Baja - Caserío el Limón 4 Km al Sur.	X : 1.604.900 Y : 874.800	Conglomerado	Recebo Afirmado	Ciclo abierto Macanizado		X	Formación Maco
5	Palenque	San Basilio de Palenque	X : 1.608.300 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 bulldozer, 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 (Ver Tabla 3.2-2 a la Tabla 3.2-5). Esta zona se localiza al noreste de la línea imaginaria que une la región Mamellal con el caserío El Recreo, en ella se han inventariado 39 canteras, algunas con alto desarrollo técnico y otras con una explotación muy rudimentaria.

Tabla 3.2-2. Localización de Canteras Zona II

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

Fuente: INGEOMINAS, 2001.

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.

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 bulldozer, 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		UNIDAD GEOLÓGICA EXPLOTADA
							SI	NO	
1	La Esperanza	Cartagena vía Turbaco	X: 1.638.800 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 Y: 844.500	Caliza	Cemento	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación La Popa
3	Ladrillera la Clay	Pasacaballos	X: 1.629.300 Y: 843.400	Arcilla	Ladrillo	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación Bayunca
4	La Legua	Pasacaballos 2 Km al N-E	X: 1.629.200 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 Y: 850.600	Arena	Concretos	Cielo Abierto Manual		X	Formación Rotinet
6	Puente Hondo (2)	Cartagena vía Turbaco Km 3	X: 1.635.125 Y: 855.050	Arena	Concretos	Cielo Abierto Manual		X	Formación Rotinet
7	Cimaco	Km 3 al N-W de Turbaco	X: 1.635.520 Y: 851.040	Caliza	Concretos	Cielo Abierto Manual	X		Formación La Popa
8	Alcalis Ltda	Turbaco vía Mamonal Km 3	X: 1.634.100 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 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 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 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 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 Y : 855.700	Caliza	Recebo	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación La Popa
14	Movicon	Turbaco vía Arjona Km 3	X : 1.632.700 Y : 856.000	Caliza	Recebo	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación La Popa
15	Bonanza	Turbaco vía Arjona Km 2.5	X : 1.632.000 Y : 854.800	Caliza	Bloques	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación La Popa
16	La Constancia	Turbaco vía Arjona Km 3	X : 1.631.950 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 Y : 856.325	Caliza	Recebo	Cielo Abierto Mecanizado		X	Formación La Popa
18	Cañaveral	N.E de Cañaveral	X : 1.639.000 Y : 863.150	Caliza	Recebo	Cielo Abierto		X	Formación La Popa
19	Paricuita (1)	Pasacaballos vía Pto Badel Km 5.5	X : 1.624.000 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 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 Y : 851.400	Caliza	Recebo	Cielo Abierto		X	Formación La Popa
22	Pasacaballos	Pasacaballos vía el Chorro	X : 1.628.200 Y : 846.300	Caliza	Materiales de Construcción	Cielo Abierto		X	Formación La Popa
23	Albornoz	Albornos	X : 1.638.000 Y : 843.800	Caliza	Bloques Concretos	Cielo Abierto		X	Formación La Popa
24	Basurero	Basurero de Cartagena	X : 1.638.800 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 Mioce-

no 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 promedio de 2 km. Hacia el oeste está labrada sobre calizas conformando la loma Estancia Vieja, donde se presenta formando paleoacantilados 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. (INVEMAR, 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 (INVEMAR, 2003).

3.2.2.1 Unidades geomorfológicas

Teniendo en cuenta la información encontrada en el POT de Cartagena 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 Plano 3-3. Geomorfología Anexo Cartográfico).

Unidades geomorfológicas bajas

Ubicadas en la franja mas 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, presentandose 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; Cienagas y lagunas Costeras de baja profundidad.

Unidades geomorfológicas prominentes (relieve estructural)

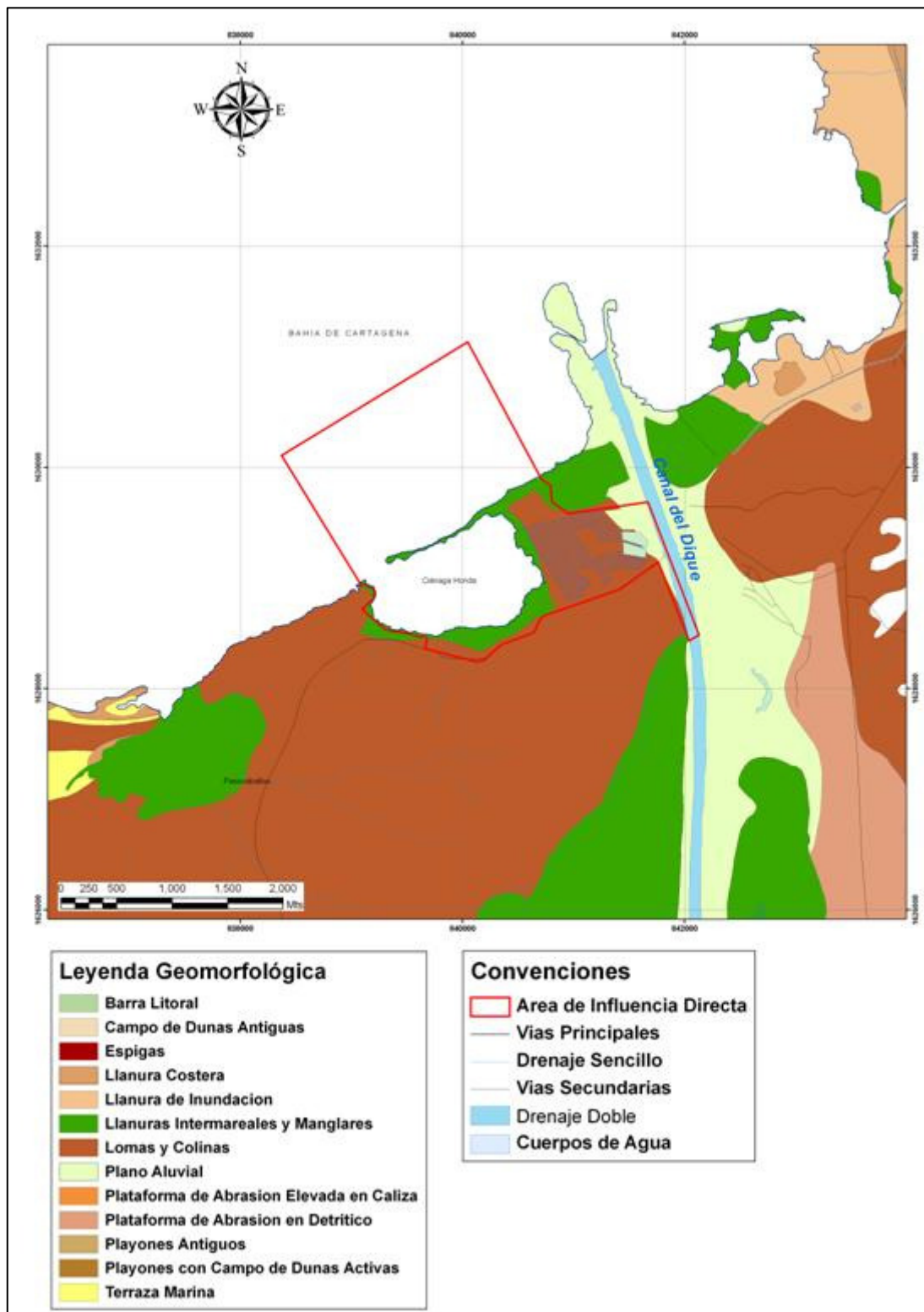
Corresponden a expresiones topográficas elevadas con respecto al nivel del mar actual, entre las cuales se destacan: las colinas y lomas, que son ondulaciones a con alturas variables entre 10 y 150 m, en Barú se presentan la Loma de Coquito, Loma Mohan y la Cuchilla El Barranco y en Tierrabomba los cerros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

Figura 3.2-2. Mapa geomorfológico



Fuente: POT Cartagena, 2001.

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 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 de 1935 de los 80 m que la separaban en ese año a los 1600 de 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 m	Variación anual 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 m	Variación anual 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 periodo de análisis 2000-2002 el ritmo de avance anual disminuye.

La isóbata de 5 metros tuvo un importante avance en los periodos evaluados siendo mayor la variación anual en el periodo 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 multianual m	Variación anual 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 isóbatas 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 km²) y un perímetro de 12,5 Km.

El volumen acumulado dentro de esta área fue de 3'671.858 m³, para una tasa de cambio de 3'147.307 m³/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 m³/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 m ³)	Tasa de avance de sedimentación (m ³ /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 m³/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. Los resultados de este análisis se presentan en la 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 ³ /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 ³)	Tasa de avance de Sedimentación (m ³ /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 doblan 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.

3.2.2.4 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 - COR-MAGDALENA (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 implica involucrar los siguientes elementos: 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 información primaria y secundaria así como los análisis previos realizados en este sector están descritos de manera acertada dentro 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 3.2-3, 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 3.2-4) 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 3.2-3. 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 3.2-5), 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.

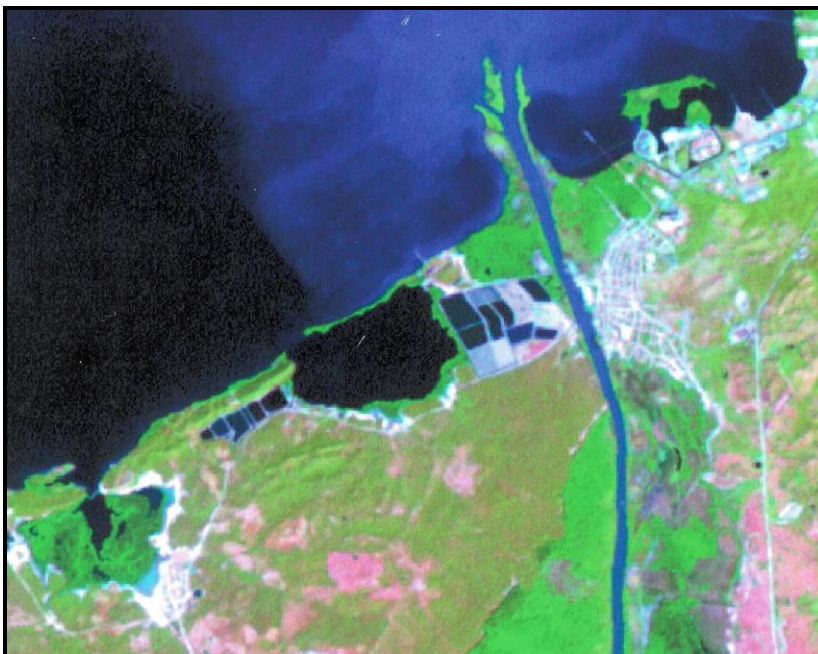
En el documento “Manejo de los sedimentos en la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena” de CORMAGDALENA 2000, se hace un análisis comparativo entre líneas de costa de 1935, 1954, 1961, 1974, 1992 y 1998. El resultado de este análisis se puede sintetizar en la Tabla 3.2-12.

Figura 3.2-4. 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 3.2-5. 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 reacomodan 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

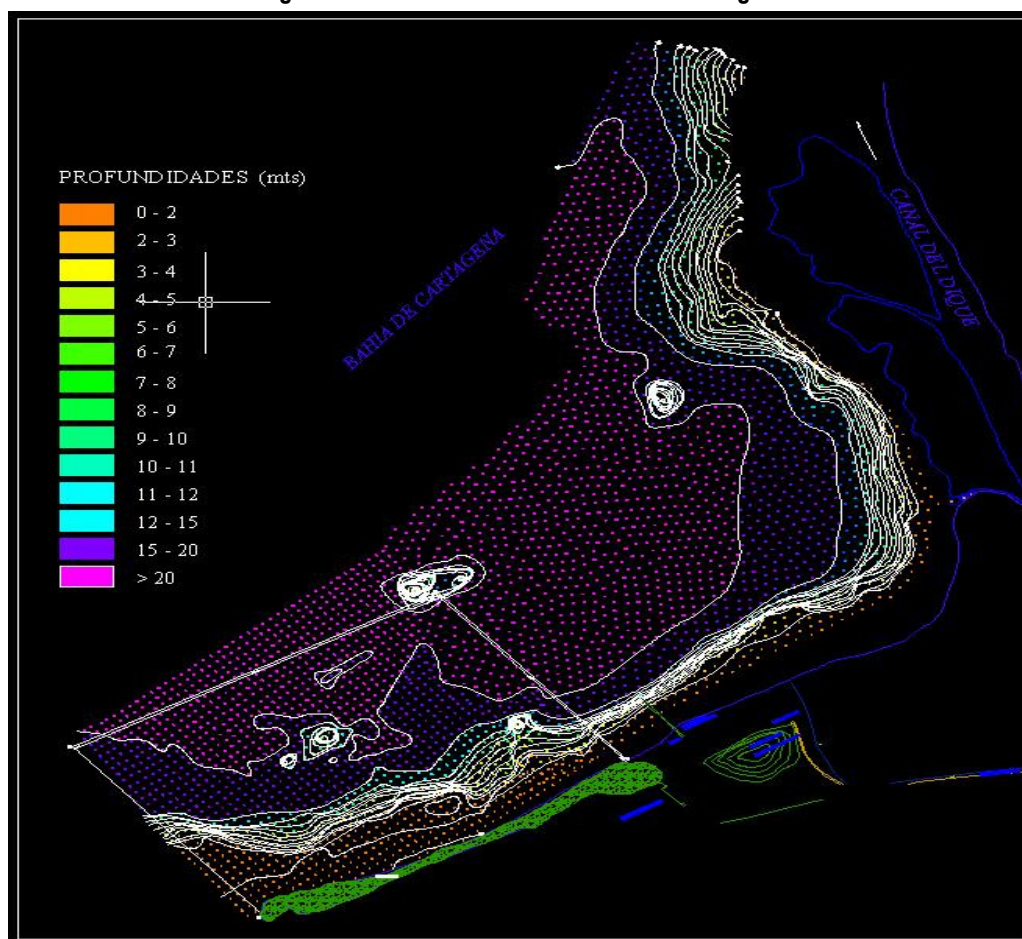
Fuente: Universidad de Cartagena

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.

3.2.2.5 Batimetría

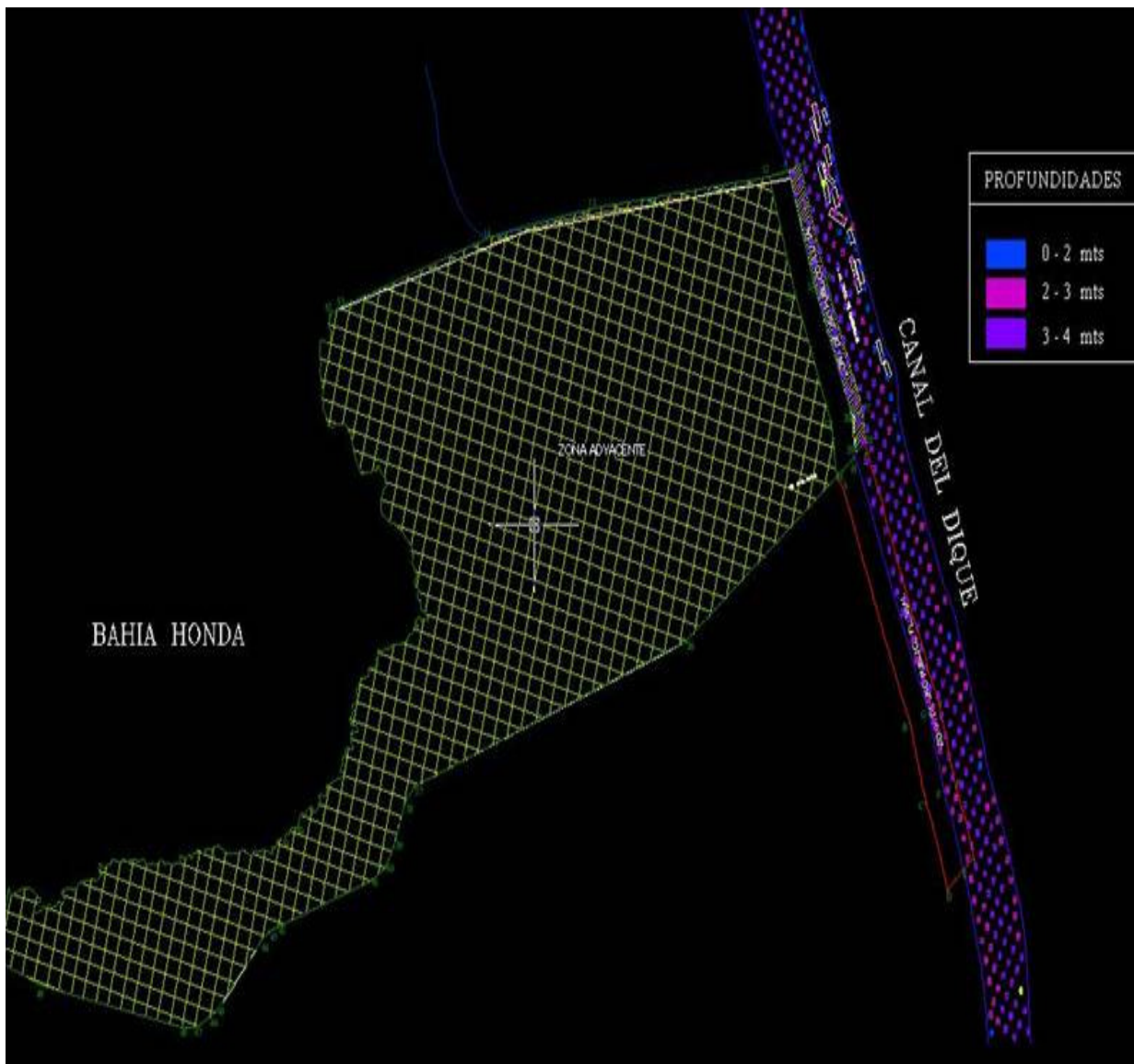
Las profundidades analizadas fueron tomadas de los levantamientos realizados por la firma HYSER Ltda en Julio de 2008. En la Figura 3.2-6 y en la Figura 3.2-7 se presentan las batimetrías de las zonas de la bahía de Cartagena y el canal del Dique relacionadas con el proyecto. En donde la profundidad máxima encontrada asciende a -24,0 metros en la bahía de Cartagena y -3,8 mts en el canal del Dique.

Figura 3.2-6. Batimetría zona Bahía de Cartagena



Fuente: HYSER Ltda, 2008

Figura 3.2-7. Batimetría zona del canal del Dique



Fuente: HYSER Ltda, 2008

3.2.2.6 Facies sedimentarias

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), presentó en 1990 un estudio de sedimentos relacionado con la morfología del suelo en la zona del Caribe Colombiano¹, que analiza la distribución de las facies sedimentarias de la plataforma continental del Caribe señalando dos provincias sedimentarias de dominio bioclástico, la provincia arrecifal de islas del Rosario y San Bernardo y la de La Guajira y un resto de dominio de provincias litoclástico.

¹ CIOH, 1990. Estudio Sedimentológico de la Plataforma Continental del Caribe Colombiano.

En la bahía de Cartagena la sedimentación es favorecida por dos estructuras antrópicas: la escollera de Bocagrande y el canal del Dique. Los lodos provenientes de este último están, en la mayoría de los fondos, en las partes profundas, ocupando sitios donde antes habían arenas; a lo largo de las costas y en la parte sur de la bahía predominan los limos y parcialmente las arcillas, en los sedimentos del fondos. Los limos se depositan en la desembocadura del canal, mientras que las arcillas ocupan la parte central de la bahía. Las arenas finas provienen de la deriva litoral desde el norte de la costa caribeña y predominan en los sedimentos a lo largo de la playa de Bocagrande.

3.2.2.7 Erosión costera

Las tormentas asociadas a los períodos invernales, o la temporada de huracanes del Caribe, pueden producir un oleaje más alto que erosiona las playas dejando como evidencia escarpes de erosión entre 10 y 50 cm en promedio; en muchas ocasiones, la playas logran recuperarse y volver a su morfología inicial. La corriente del litoral, por su parte, tiene en la costa Caribe colombiana un componente principal hacia el SW que predomina durante la época de los alisios del NE.

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 (Niño² 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 hálco)	Suelos derivados de sedimentos de arena fina que dan la sensación de material limoso en los sustratos. 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

² Niño, 2001. Caracterización biofísica. Lineamientos para el Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de indias. IDEAE. PUJ

	CLASE DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
		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 Hálico)	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.
	Consociación Piñuelas (PI) (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 FLUVIO- MARINA SUBRECIENTE	Consociación Pasacaballos (PA) (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) (Fluvaquent tropical)	Son suelos derivados de aluviones fluvio marinos recientes. Una de sus características principales es la del alto contenido de sales sódicas Las propiedades físicas varían ampliamente.
	Consociación "El Recreo" (RE) (Ustrophept 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) (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) (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 P ₂ O ₅ 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" (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 (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" (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" (AQ) (Ustrophept 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" (FR) (Haplustoll éntico)	Suelos de terrazas media marina, desarrollados de sedimentos gruesos que descansa sobre medianos. En sectores se encuentra material gravilloso. Se localizan en la parte Norte. Químicamente son suelos normales con alto contenido de p ₂ o ₅ .

	CLASE DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
	Consociación "Arroyo de Piedras" (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) (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 superficiales, nivel freático alto y alto contenido de arcilla.
	Consociación Ziruma (ZI) (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) 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) Ustropept vértico 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 expansibles 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) (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) (Ustropept vértico)	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) (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) (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) (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) (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) (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) (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) (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) (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) (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) (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) (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, interstratificado con lutitas. Son muy susceptibles a la erosión. Químicamente presentan problemas de sales y sodio desde el segundo horizonte. Se ubica en los alrededores de Bayunca y Clemencia principalmente.

	CLASE DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
	Consociación Sabana Larga (SL) (Chromustert éntico)	Con pendientes de 7-12-25, 50% y más, generalmente erosionados. Se desarrollan a partir de materiales de areniscas y lutitas estratificados de la formación SABANALARGA. Se extienden desde Bayunca hacia la parte Norte y Noreste de 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 Galera-zamba. 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 cascajo-so, lo cual hace que los suelos presenten profundidad efectiva superficial. Drenaje natural excesivo.
	Consociación Katanga (KA) (Ustropept plintico)	Suelos derivados de areniscas no calcáreas de grano fino, estratificadas con lutitas. Se ubican al Este de Pasacaballos en zonas limítrofes con lo 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

En el área de influencia directa, se identificaron como principales usos el forestal (presencia de vegetación de manglar, subxerofítica y de pantano), cuerpos de agua, que abarcan las zonas de las antiguas camaroneras que aún conservan espejo de agua y los ecosistemas acuáticos de la bahía de Cartagena, ciénaga Honda y el canal del Dique. Así mismo, se definió la presencia de infraestructura abandonada, que también incluye las piscinas localizadas en el predio y la zona donde se ubicaba el puerto carbonero. Otros usos identificados, en menor proporción, son el agropecuario que incluye zonas de pastizales y el de arenales. (Ver Figura 3.2-8 y Plano 3-4. Uso Actual del suelo Anexo Cartográfico).

3.2.3.2 Usos de la zona costera

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (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).

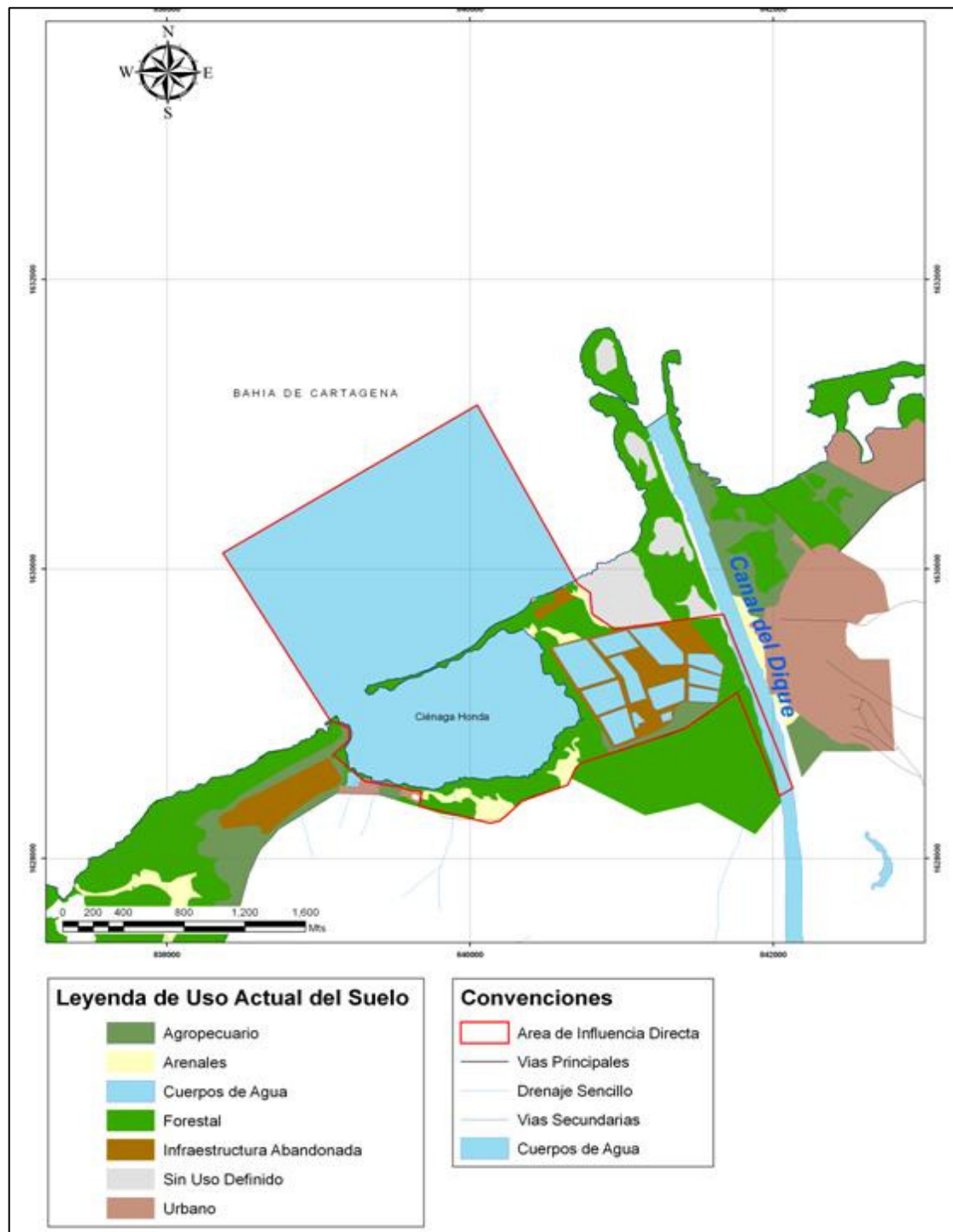
El suelo del territorio del ámbito que rodea la Bahía ha sido dedicado completamente a los usos propios de una ciudad que ha crecido alrededor de las actividades portuaria, turística e industrial, complementadas con actividades sociales e institucionales. El suelo está totalmente urbanizado, con la excepción 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 atravesando 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 la línea litoral desde el Bosque hasta Pasacaballos se encuentran 56 terminales donde se desarrollan diversos tipos de actividades portuarias comerciales e industriales.

Las actividades industriales se localizan al este de la bahía: la industria liviana, desde el Bosque aproximadamente hasta el sector conocido como Bella Vista, poco antes del barrio de Alborno. A partir de este sector se ubica la industria mediana bordeando hacia el sur las lomas de Alborno 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 definida actualmente como de industria mediana existen diferentes núcleos urbanos, asentados algunos hace más de 20 años. Por otro lado, los suelos de la isla de Barú, acogiendo los 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 cuanto a la isla de Tierra Bomba en su conjunto tiene varias vocaciones y acorde con ello, sus lineamientos de política difieren.

Figura 3.2-8. Uso actual del suelo en el área de influencia directa físico-biótica



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009.

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.

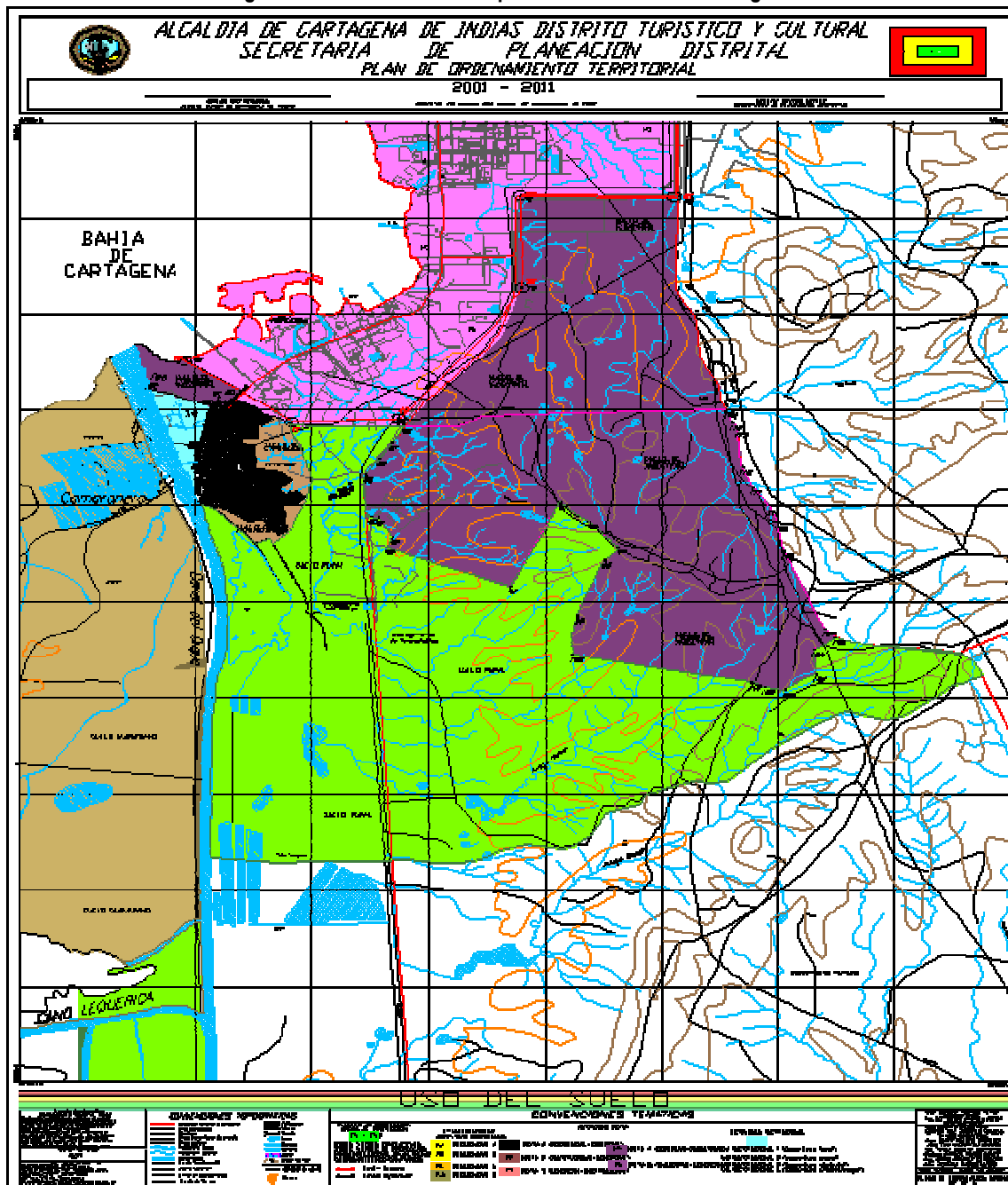
Tabla 3.2-16. Tamaño de unidades de usos del suelo en la Franja Costera de la Bahía de Cartagena.

USOS	Bahía de Cartagena
Agricultura	309,30
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
Totales	7.957,84

Fuente: POT de Cartagena 2001

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 3.2-29, la cual corresponde al plano generado en la Modificación del POT de Cartagena).

Figura 3.2-9. Modificación Mapa uso del suelo POT Cartagena



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

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.

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

Teniendo en cuenta el uso del suelo establecido en el acuerdo No 033 de Octubre 3 de 2007, el área de influencia directa no presenta ningún conflicto de uso del suelo.

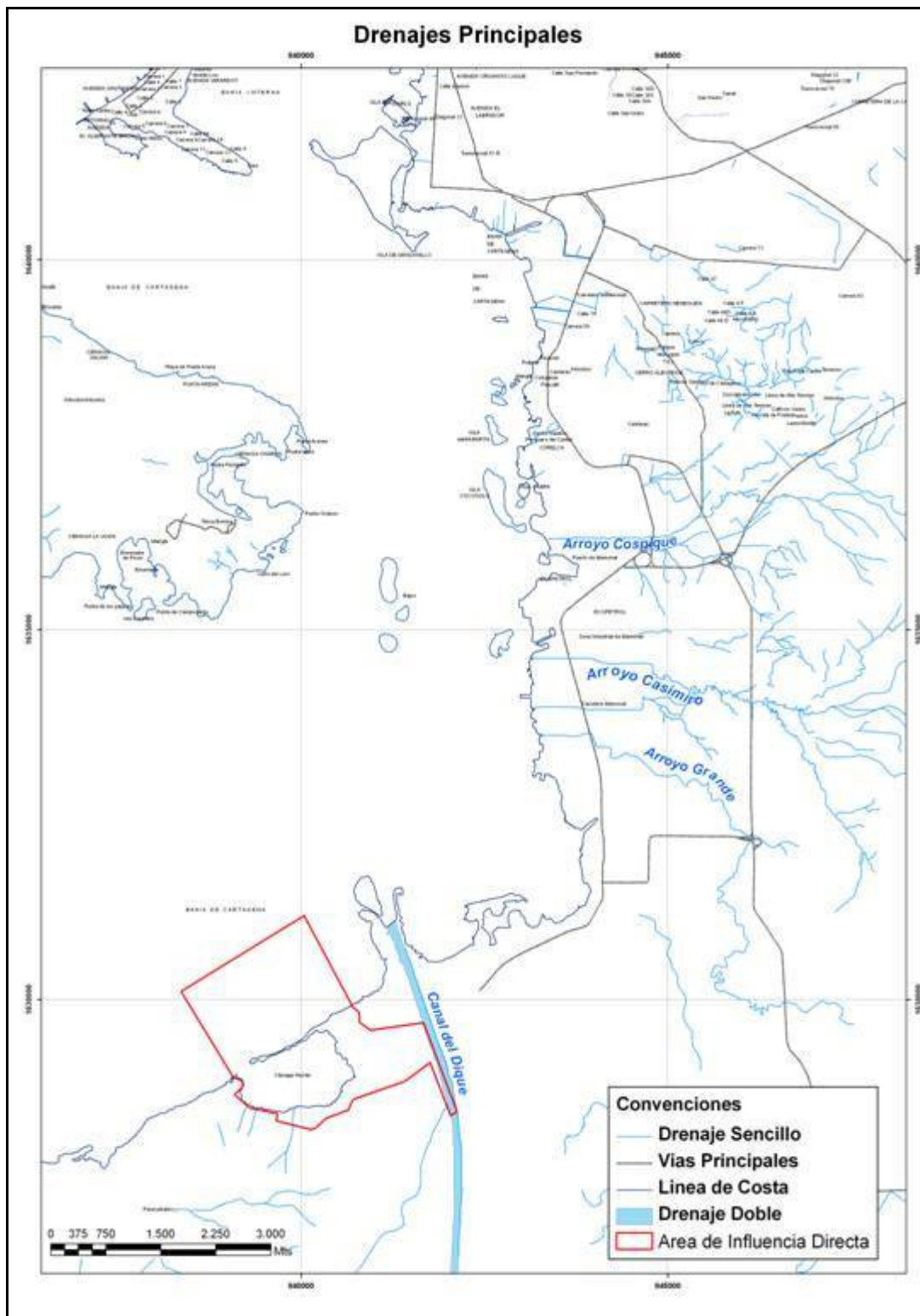
3.2.4 Hidrología

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 3.2-10; Plano 3-5. Hidrología 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. Debido a que el proyecto portuario de Puerto Bahía contempla la construcción y operación de un muelle fluvial sobre el canal del Dique, en este informe 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 física, 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 con posible afectación por el Proyecto y se describen a continuación en el ítem de Calidad del Agua.

Figura 3.2-10. Hidrografía en el área de la Bahía



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

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 existen 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)³.

Siguiendo con el sistema insular de la ciudad están los sectores de Getsemaní (los parqueaderos del Centro de Convenciones y la calle del Arsenal), Manga y la zona portuaria de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena. Después del Puente de Bazurto sigue hacia el sur todo el sector de El Bosque incluyendo las zonas residencial e industrial y portuaria hasta el canal de Ceballos y continúa bordeando la zona industrial de Mamonal hasta el corregimiento de Pasacaballos, junto al canal del Dique. La vertiente colinda con la de la ciénaga de La Virgen. 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 que provienen en su mayoría de la serranía de Turbaco. Como se señaló antes, estos arroyos son conocidos como *arroyos de invierno* debido a que solamente tienen caudal cuando se producen aguaceros en sus cuencas; entre estos arroyos se cuentan el Cospique, Casimiro y arroyo 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 m³/s para el arroyo Cospique o Arroz Barato⁴, de 118 m³/s para el arroyo Casimiro⁵ y 127 m³/s para el arroyo Grande, el cual atraviesa los predios de ECOPETROL en Cartagena⁶.

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 3.2-11)

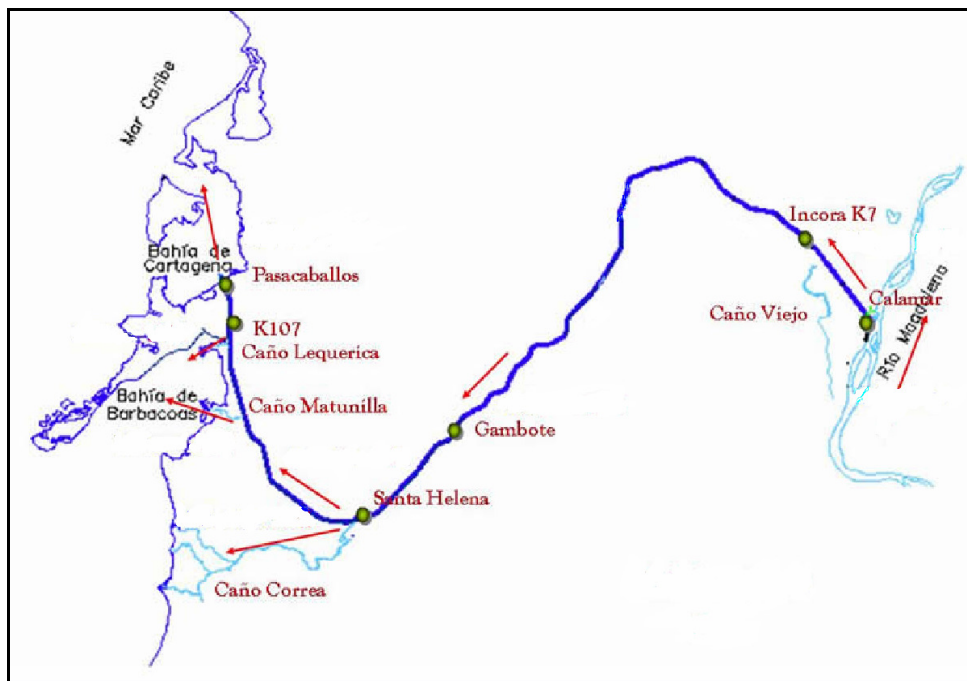
³ RAMIREZ. M. *Desarrollo de gestión y lineamientos para el diseño del plan maestro de drenajes pluviales de Cartagena de Indias*. EDURBE. 2004

⁴ 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.

⁵ RAMIREZ. M. *Estudio de drenajes pluviales para el proyecto Zona Franca La Candelaria*. CARINSA. 1997.

⁶ CARINSA. *Diseño hidráulico del arroyo Grande en predios de ECOPETROL*. ECOPETROL. 1994

Figura 3.2-11. 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).

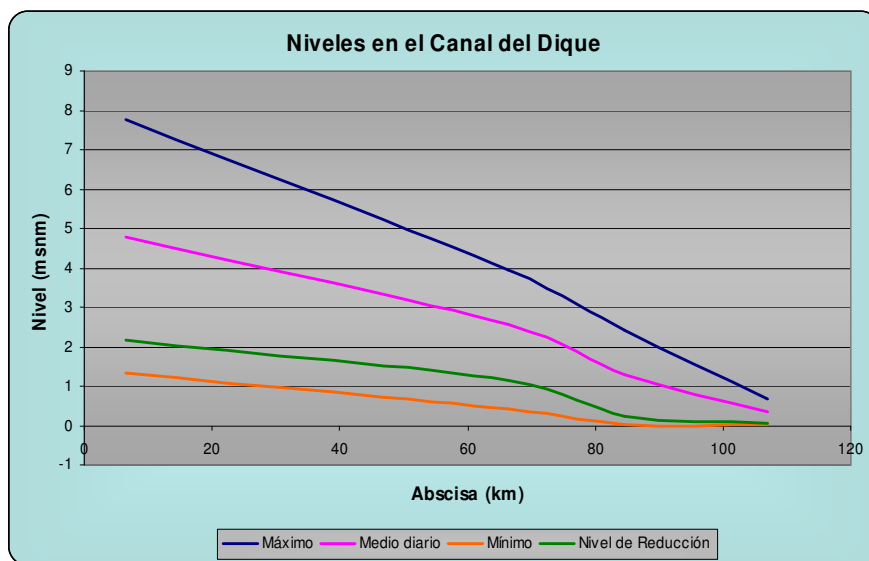
● Régimen de niveles en el canal

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 3.2-12); de acuerdo con Uninorte (2003)⁷, 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 3.2-12. Niveles a lo largo del canal del Dique

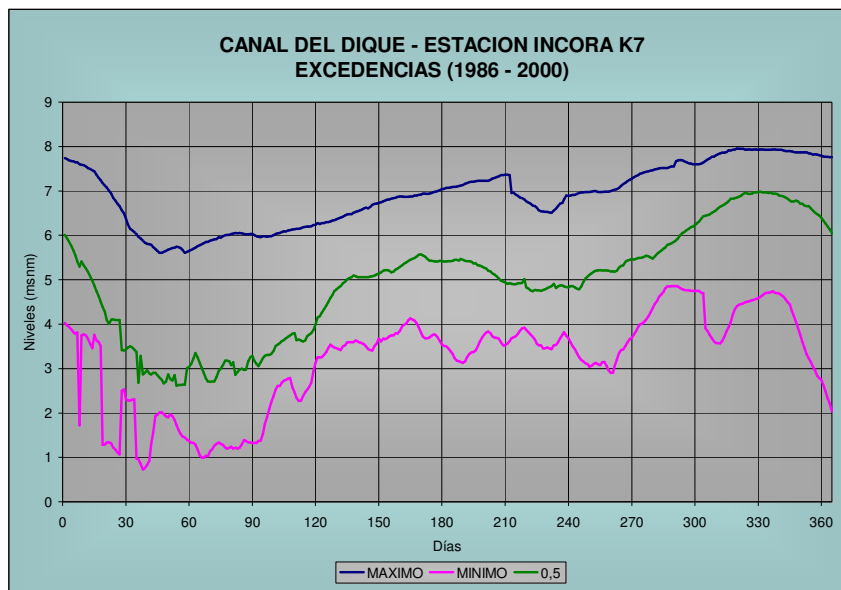


Fuente: Datos tomados de Universidad del Norte, 2003

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 3.2-13 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.

⁷ Universidad del Norte. Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores. *Rio Magdalena y Canal del Dique. Caracterización hidrosedimentológica y geométrica*. CORMAGDALENA. 2003

Figura 3.2-13. 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)⁸, 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 3.2-14) 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).

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).

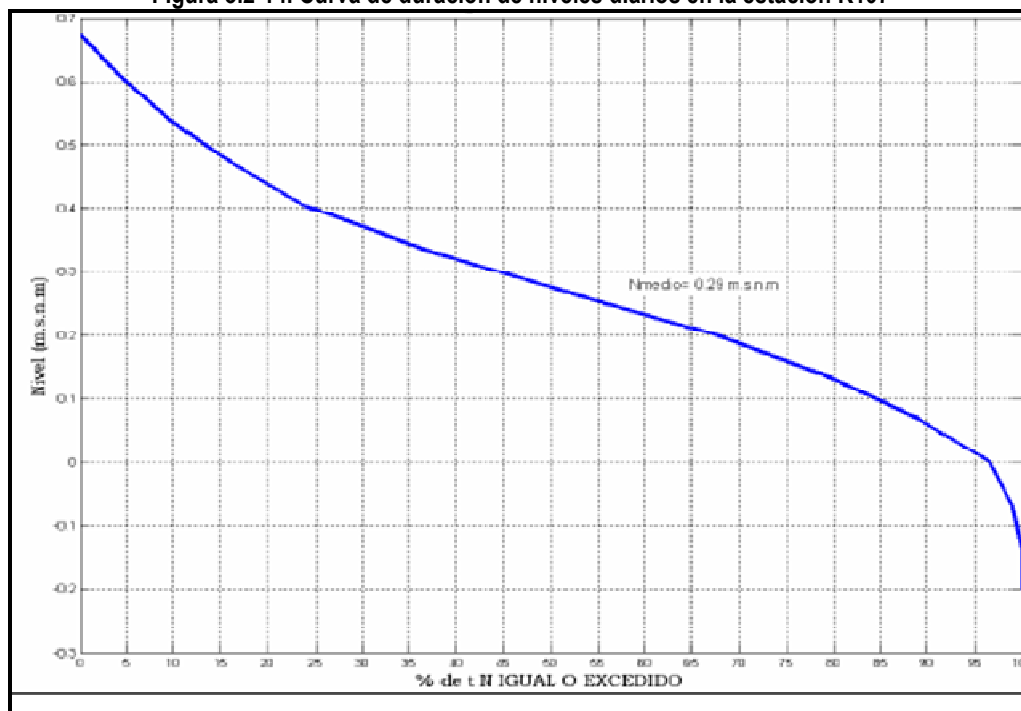
Universidad de Cartagena (2002) preparó una modelación del oleaje en la bahía de Cartagena⁹ con base en el Módulo Hidrodinámico (HD) del MIKE 21, considerando su influencia con el Módulo Nearshore Spectral Wave (NSW) para observar el comportamiento de la corriente por la interacción de viento - oleaje. 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

⁸ 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.

⁹ 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.

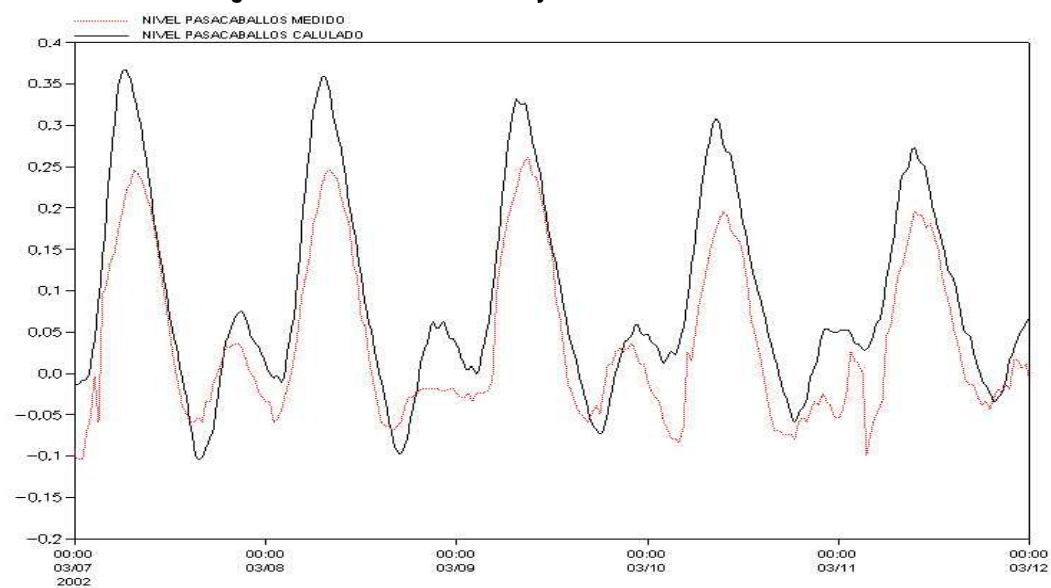
interés para el presente informe es Pasacaballos, en donde la modelación y la medición de niveles de marea se realizaron para los días 6 al 13 de marzo/2002 (Figura 3.2-15) y se observa que las diferencias entre los niveles medidos y calculados no superan los 12 cm.

Figura 3.2-14. Curva de duración de niveles diarios en la estación K107



Fuente: Universidad Nacional, 2007

Figura 3.2-15. 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)¹⁰.

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 Pasacaballo son importantes, pasando de 491 m³/s de caudal medio en la entrada del canal de Calamar, a 138 m³/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 ³ /s)			Máximos y mínimos absolutos (m ³ /s)	
	Q medio	Q max	Q min	Q max	Q min
Incora 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

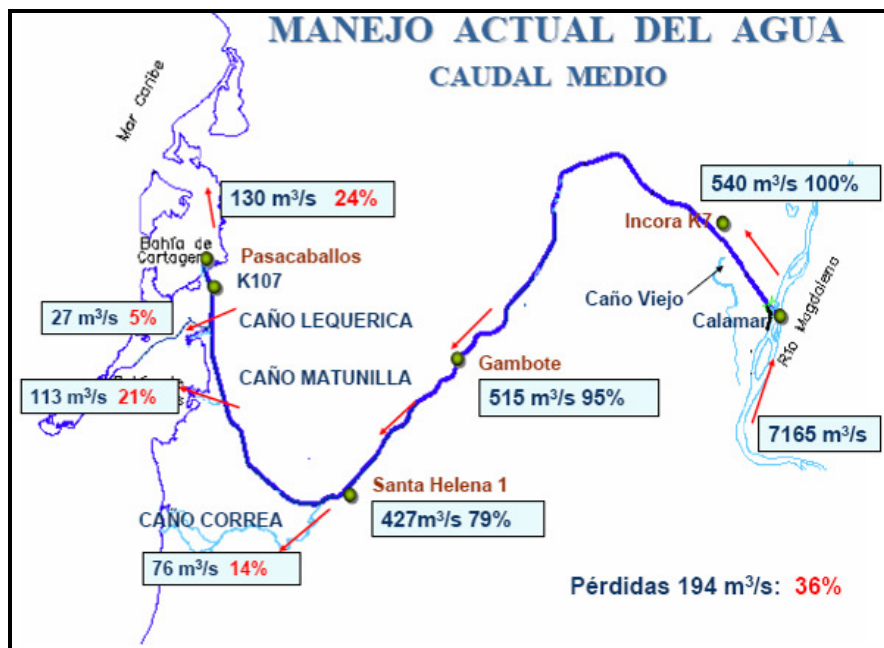
Fuente: Universidad de Cartagena, 2002

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 m³/s (Figura 3.2-16), 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 m³/s, mientras que los mínimos, que son superados el 100% del tiempo, son del orden de los 31 m³/s. Los caudales del 50% del tiempo corresponden a 158 m³/s y los caudales medios son de 164 m³/s.

¹⁰ Conservación Internacional. *Plan de Ordenación de la cuenca hidrográfica del canal del Dique*. CARDIQUE. 2007.

Figura 3.2-16. 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

% tiempo	Caudales (m³/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 (Q_b arenas), la carga de arenas en suspensión (Q_s arenas) y la carga de finos en suspensión (Q_s finos). Con estos tres valores determina el caudal sólido total (Q_s 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	Q_s total (Ton/año)	Q_b arenas (ton/año)	Q_s arenas (Ton/año)	Q_s finos (Ton/año)	Volumen Depositado (m ³ /año)	Volumen que pasa (m ³ /año)
Río Magdalena 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 promedio 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 3.2-17) 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.

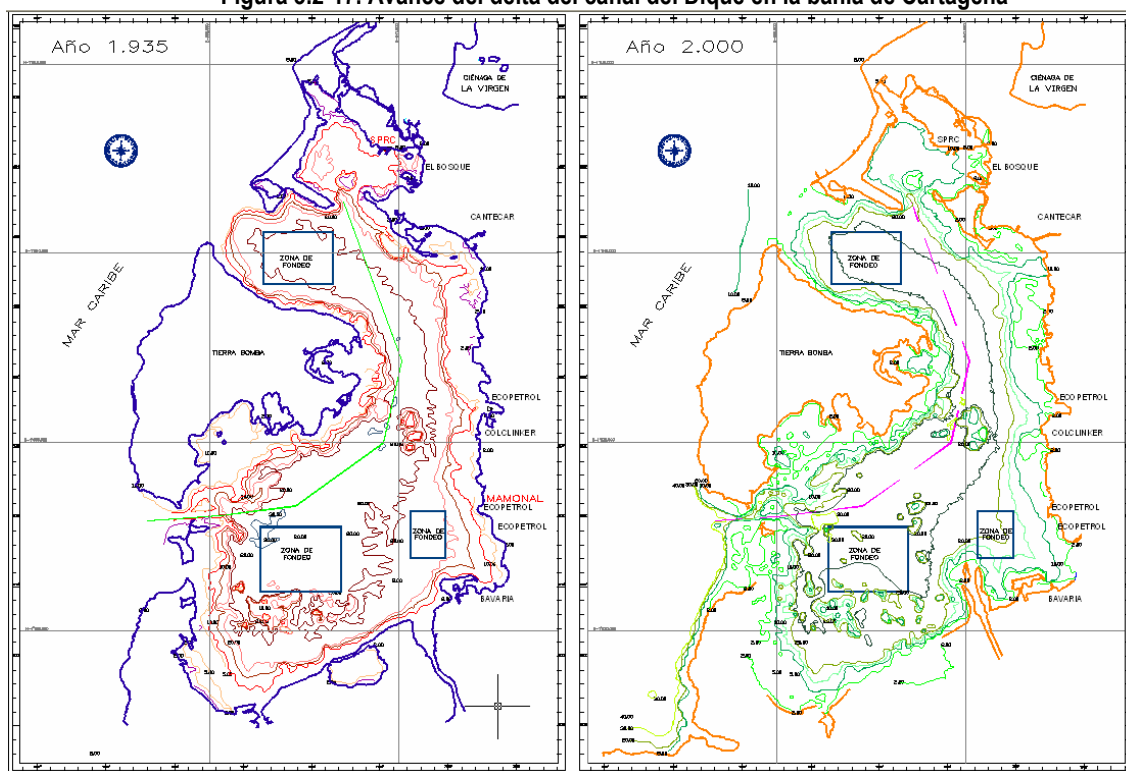
● **Cuña salina**

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 270m³/s en

Pasacaballos, 210 m³/s en Matunilla, 80 m³/s en Lequerica, 100 m³/s en Labarcé, 4 m³/s en Boca Cerrá, y 2 m³/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 m³/s no registró cuña en superficie. En Matunilla con caudales de 182 m³/s avanzó 475 m en media profundidad, y en Lequerica 175 m, también a media profundidad para 60 m³/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).

Para caudales extremadamente bajos en el canal del Dique, del orden de 20 m³/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 m³/s.

Figura 3.2-17. Avance del delta del canal del Dique en la bahía de Cartagena



Fuente: Universidad de Cartagena, 2002

3.2.4.3 Condiciones hidráulicas del canal del Dique en el sitio de proyecto

Dado que el proyecto portuario Puerto Bahía contempla la construcción y operación de un muelle fluvial en el canal del Dique, con la información presentada en los numerales anteriores se presenta una caracterización de las condiciones hidráulicas en el canal y se formula una discusión en relación con las obras que está proyectando el Ministerio de Transporte para el control de los sedimentos en el canal.

- **El canal de navegación**

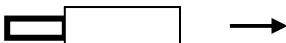
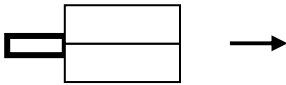
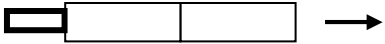
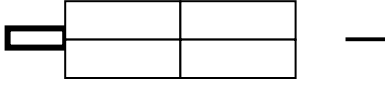
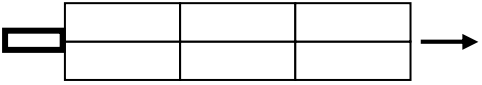
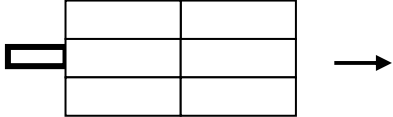
El muelle de Puerto Bahía está localizado aproximadamente entre las abscisas K112+100 y K113+300. El ancho de la sección varía entre 100 y 130 metros y en algunos tramos están estacionados algunos planchones y

remolcadores que dejan un ancho de canal de hasta 70 metros, especialmente frente a la población de Pasacaballos.

El canal de navegación establecido tiene un ancho de base de 65 metros y taludes 1V:2H. La profundidad de diseño es de 2,5 metros, pero generalmente se draga a 3,0 m para dejar espacio sobrante a futuras sedimentaciones. En cuanto a las embarcaciones para el manejo de carga en el canal, se designó el convoy típico bajo el arreglo R-2B-2B-2B, es decir, un remolcador (R) que empuja 6 barcazas o botes (B), o planchones, como se indica en la Tabla 3.2-20, en donde se muestran las conformaciones típicas de los convoyes.

Cada bote tiene dimensiones típicas de 13 metros de ancho por 60 metros de longitud y calan 6 pies (1,8 metros) en promedio. De esta manera, el convoy de diseño tiene, incluyendo el remolcador, una longitud total de 210 metros y 26 metros de ancho. Los 65 metros de base del canal representan dos convoyes circulando en sentido contrario (52 m), más media manga (13 m) entre ellos como medida de seguridad. La Figura 3.2-18a) muestra una sección típica en la abscisa aproximada K112+450 del tramo de canal donde se construirá el muelle fluvial de Puerto Bahía; tiene 110 metros de ancho y profundidad máxima de 3,75 metros; también se presenta la sección del canal navegable y los dos convoyes.

Tabla 3.2-20. Nomenclatura de convoyes de carga

Configuración	Nombre	Forma del convoy
Remolcador + una barcaza	R-B	
Remolcador + dos barcazas en paralelo (pacha)	R-2B	
Remolcador + dos barcazas en serie (puya)	R-B-B	
Remolcador + cuatro barcazas en dos hileras de a dos	R-2B-2B	
Remolcador + seis barcazas en tres hileras de a dos	R-2B-2B-2B	
Remolcador + seis barcazas en dos hileras de a tres	R – 3B – 3B	

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

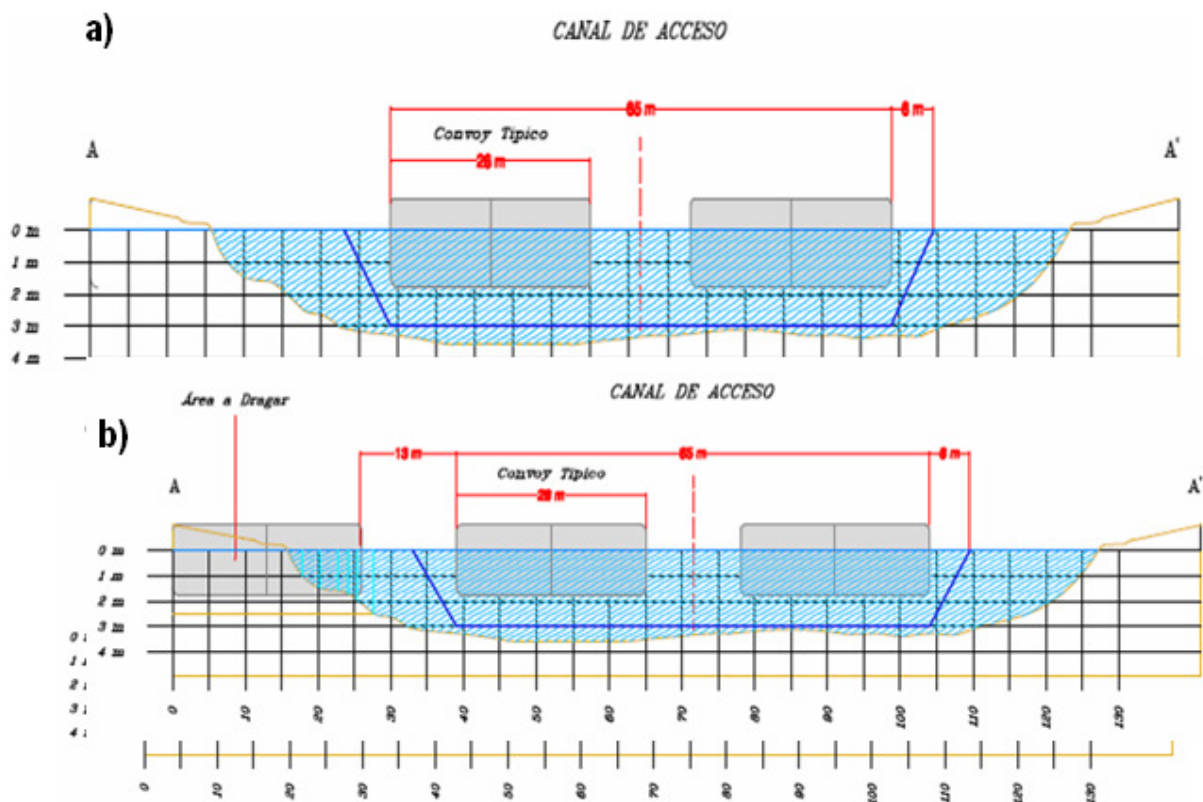
- Condiciones del muelle fluvial proyectado**

El diseño del muelle fluvial que se proyecta en Puerto Bahía considera que el atraque del convoy de diseño debe hacerse por fuera del canal de navegación establecido, es decir, que debe guardar una separación mínima

de media manga (13 m) con los convoyes en circulación por el canal. A partir de estos 13 metros se instala el convoy de diseño de Puerto Bahía, de 26 metros de ancho (Figura 3.2-18b)) y allí será el sitio donde se construya el muelle fluvial.

La construcción del muelle fluvial para esta sección típica del canal implica la excavación de la orilla del canal con una profundidad de 2,5 metros y darle un sobreancho de unos 16 metros en promedio; el área de excavación en la sección es de 78 m², que se considera como área promedio si se tienen en cuenta los anchos variables del canal en el frente del muelle proyectado. El muelle tendrá una longitud de 1.170 metros sobre la margen izquierda del canal.

Figura 3.2-18. Sección típica del canal del Dique en la zona de proyecto



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

• Evaluación hidráulica de la obras del muelle

La excavación del sobreancho en la sección del canal para la construcción de una especie de dársena para el muelle tiene como consecuencia el cambio en las condiciones hidráulicas de flujo de la corriente del Dique, entre las cuales, la velocidad es el factor clave porque está directamente relacionada con el transporte de sedimentos y la formación de barras que interfieren la navegación. Con el fin de verificar estas modificaciones se hizo un análisis de las condiciones hidráulicas de flujo actuales y las que tendría con el sobreancho proyectado.

Por la cercanía con la estación K107, se tomaron algunos factores y parámetros propios como representativos de la sección típica de diseño para el muelle en la abscisa K112+450. Se consideraron situaciones climáticas de aguas medias, máximas y mínimas, tomando como referencia la información reseñada en los numerales anteriores, con el objeto de establecer los cambios de velocidad en la corriente con estas situaciones climáticas y con la sección ampliada de diseño. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2-21.

Tabla 3.2-21. Evaluación de la velocidad de flujo en el canal Dique con la sección ampliada

Sección analizada	Nivel (msnm)	Pendiente	n	Sección (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	Rh ^{2/3}	v (m/s)	Q (m ³ /s)
Secc actual media	0,31	0,00003444	0,02	325,42	162,02	2,01	1,59	0,467	152,0
Secc actual máxima	0,70	0,00007778	0,02	361,07	167,02	2,16	1,67	0,737	266,2
Secc actual mínima	0,02	0,00000222	0,02	294,39	156,02	1,89	1,53	0,114	33,5
Secc ampliada	0,31	0,00003444	0,02	380,42	180,44	2,11	1,64	0,400	152,0

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Se puede observar en la tabla anterior las variaciones de velocidad que se presentan en la corriente con el cambio de la estación climática. Para aguas medias la velocidad de flujo es de 0,467 m/s, con variaciones que indican aumento de la velocidad para la situación climática de aguas altas hasta en un 157% frente a la situación de aguas medias y una disminución de la velocidad para la situación climática de aguas bajas al 25% de la velocidad de aguas medias. El chequeo para la sección ampliada en condiciones de aguas medias refleja una disminución de la velocidad al 86%, la cual se encuentra dentro del rango de variación de la velocidad de flujo en el canal.

• Relación con las obras proyectadas por el Ministerio de Transporte

El Ministerio de Transporte está proyectando obras para controlar el transporte de sedimentos por el canal del Dique, con el objeto de controlar el acelerado avance del delta del canal dentro de la bahía de Cartagena. Dentro de las alternativas contempladas y evaluadas por Universidad Nacional por contrato con CORMAGDALENA, se ha seleccionado un conjunto de obras que se pueden resumir de la siguiente manera, de acuerdo con la presentación del proyecto que se hizo el año pasado ante las autoridades y fuerzas vivas de Cartagena:

- Estrechamientos en sitios seleccionados del alto y medio canal del Dique.
- Exclusa sobre el canal, ubicada entre los caños Matunilla y Lequerica, en el corte del Paricuica.

Los estrechamientos tienen por objeto reducir la cantidad de agua que entra al canal del Dique desde el río Magdalena. Al reducir el caudal sólido se espera una reducción del caudal sólido, dada la alta correlación que existe entre ambos valores.

La esclusa del Paricuica tiene por objeto desviar la totalidad del flujo del canal que llega hasta la derivación del Matunilla por este caño, en dirección hacia la bahía de Barbacoas. La esclusa se abrirá solamente para permitir el paso de las embarcaciones; el resto del tiempo permanecerá cerrada. Esto daría como resultado que habrá libre intercambio de aguas entre las bahías de Cartagena y Barbacoas a través del caño Lequerica.

En estas condiciones, que desde luego debe entrar ahora a una fase de estudios más detallados y de diseño, el libre intercambio dará lugar a unas corrientes de mínimas velocidades entre las dos bahías que dependerán de las diferencias locales entre los tiempos de ocurrencia de los picos de marea, que son también mínimas.

En este orden de ideas, la ampliación de la sección del canal del Dique para la construcción y operación del muelle fluvial de Puerto Bahía tendrá consecuencias irrelevantes en la nueva condición de velocidades que tendrá el canal del Dique entre las dos bahías.

3.2.5 Calidad del agua

Para el análisis de la calidad del agua se consideraron los estudios realizados por INVEMAR (2003) y los de Universidad Javeriana (2007). Adicionalmente, y dado que se modificó la ubicación del desarrollo portuario, se realizaron por el consultor en 2008 muestreos adicionales en puntos estratégicos para complementar esta caracterización 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 3.2-22), 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 3.2-22 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 ³ /s	t/día	t/día	t/día	t/día	Kg/día	g/día	NMP*10 11/día	NMP*10 11/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 3.2-23), se observa que todos los metales muestreados en el canal del Dique, están presentes en los sedimentos de las diferentes zonas evaluadas.

Tabla 3.2-23. 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 a lo largo del Humedal.

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 3.2-24 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 3.2-24. 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

Análisis de componentes principales (PCA)

El 71% de la información (Tabla 3.2-25) 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 Tabla 3.2-26 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:

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.

Tabla 3.2-25. 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 3.2-26. Matriz de correlaciones entre las variables fisicoquímicas en el agua

	S. Sus	NO ₂	NO ₃	NH ₄	P. ino	N. ino	Trans	Cond	Salin	pH	%Ox.	Fe	Zn	Cd	Pb	CTot	C.Ter	DBO5
S. Sus.	1																	
NO ₂	0,16	1																
NO ₃	-0,10	0,93	1															
NH ₄	-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				
Pb	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			
Col.Tot	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		
Col.Ter	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	
DBO5	-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

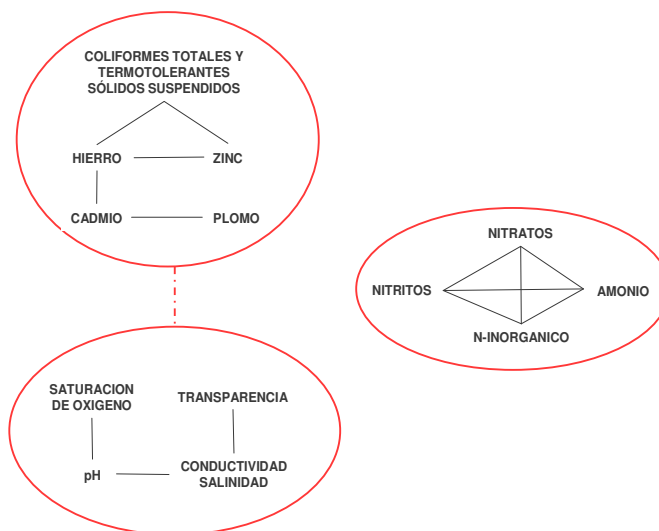
La Figura 3.2-20 exhibe la ubicación de las variables (a) y las estaciones (b) en los dos primeros componentes principales. Esta lectura simultánea indica que el grupo A se corresponde con la estación 3 (canal del Dique), y es este cuerpo de agua el que le incorpora tales contaminantes (metales y coliformes) a la bahía, amén de la condición de aguas dulces. 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 3.2-27 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:

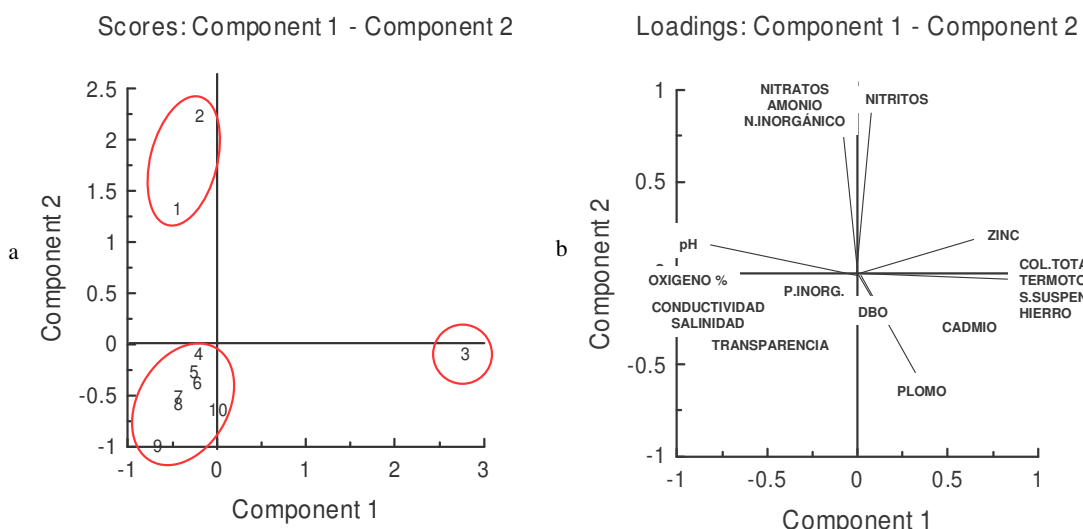
- Los sólidos suspendidos superan los parámetros definidos para aguas marinas (Hawai), situación que denota las condiciones de estuario del área de estudio.
- Los metales Cobre, Mercurio y Cromo se encuentran para todas las estaciones, por debajo de los niveles de detección en el laboratorio, lo que 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 particularmente donde se maximiza el contacto con aguas marinas.

Figura 3.2-19. Relaciones significativas entre las variables fisicoquímicas



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

Figura 3.2-20. Ubicación de las variables en los dos primeros componentes principales



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Tabla 3.2-27. Parámetros de referencia para CONTAMINANTES en agua

PARAMETRO	EPA*11	ANDALUCÍA ¹²	ISRAEL ¹³	HAWAII ¹⁴	REINO UNIDO ¹⁵	COLOMBIA AGUA DULCE CONSUMO
COBRE (µg/l)	3,1	< 40				
CROMO (µg/l)	50	< 75				
MERCURIO (µg/l)	0,94	< 0,2	< 0,16			
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 200					
NITRATOS						10
NITRITOS (D.1594/84)						1

*Como toxicidad crónica.
Fuente: Diversas normas

¹¹ <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/wqcriteria.html>

¹² http://www.ieu.es/publicaciones/boletin/pdfs/bol15/15_523-530.PDF

¹³ <http://isramar.ocean.org.il/Report2.pdf>

¹⁴ http://www.nelha.org/about/seawater_data.html

¹⁵ www.eastbourne.gov.uk

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 3.2-28 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 3.2-28. 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
	Fisicoquímicos	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
		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 ¹	24x10 ⁴	11x10 ¹	11x10 ¹	24x10 ⁴

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

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2-29. 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 Detec- ción	E1	E4	Media	Desv. Est.	E2	E3	Media	Desv. 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	-	-
Fisicoquímicos	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 ⁹⁶ ₅₀	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 ⁹⁶ ₅₀	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 ⁹⁶ ₅₀	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 ⁹⁶ ₅₀	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 ⁹⁶ ₅₀	8,1	210
	Zinc	µg/l	-	67,0	265,0	166	140,01	51,0	29,0	40	15,56	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	81	90,00
Microbio- logos	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 3.2-29 se presenta la aplicación de estadísticos para los resultados en los cuerpos de agua marinos evaluados y los valores de norma; en la Tabla 3.2-30 se presentan para el canal del Dique.

Tabla 3.2-30. 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	-	-	-	-	-
Interés Sanitario	Cadmio	µg/l	<0,00003	N,D,	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	0,25	2,0
	Cromo VI	µg/l	<0072	41,2	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	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 ⁹⁶ ₅₀	9	13
	Mercurio	µg/l	<0,00088	N,D,	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	0,77	1,4
	Plomo	µg/l	<0,00008	0,12	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	2,5	65
	Zinc	µg/l	-	125,0	-	-	0,01CL ⁹⁶ ₅₀	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

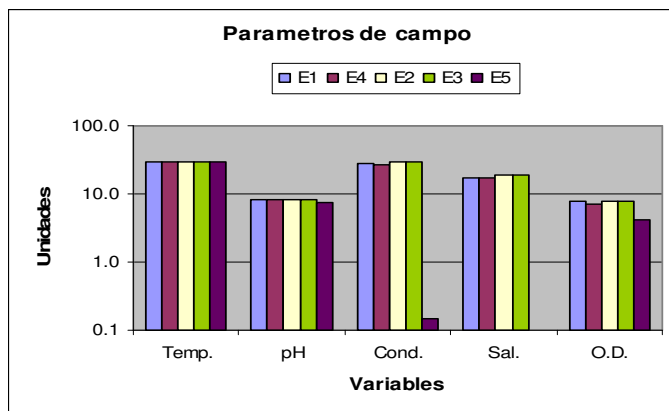
Para el estudio de los parámetros fisicoquímicos, se han generado cuatro grupos: De campo, fisicoquímicos, interés sanitario y microbiológicos. Para hallar la media aritmética en la ciénaga y la bahía de aquellos valores que estuvieron por debajo del límite de detección se tomo la mitad de éste valor.

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



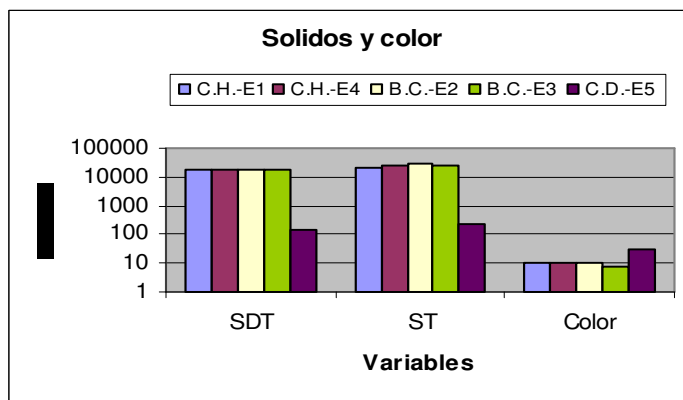
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

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 3.2-29 y Tabla 3.2-30).

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

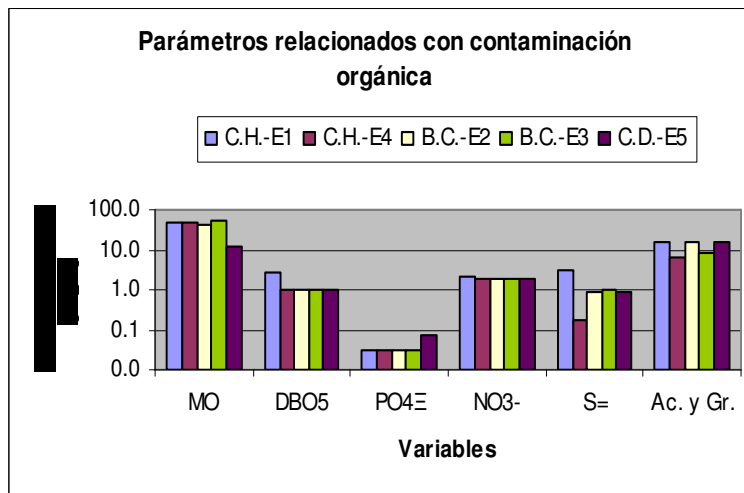


Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

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) (ver Tabla 3.2-28).

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

Las 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 que hay 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.

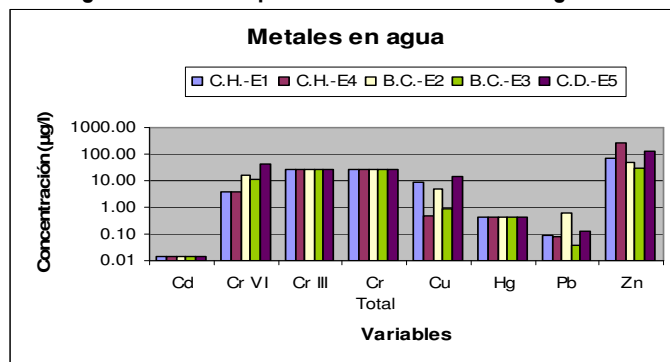
$$\text{Criterio Crónico (CCC)} = \exp\{mC [\ln(\text{dureza})] + bC\} \quad 2.$$

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

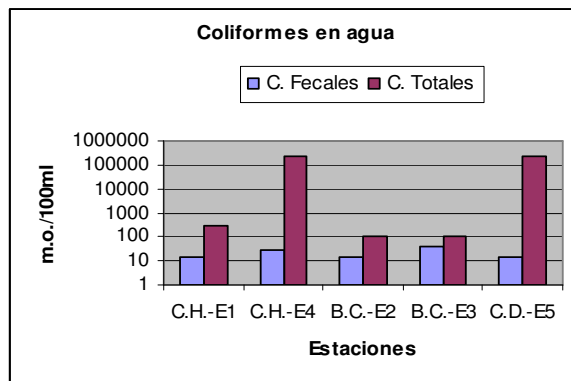
Estos valores se encuentran por debajo de los valores criterios crónicos (CCC) y agudos (CMC) de la NOAA (Tabla 3.2-29 y Tabla 3.2-30). El cobre presentó las mayores concentraciones en la E5 ($14,1 \mu\text{g/l}$) ubicada en el canal del Dique, y promedios de $4,72 \pm 5,96 \mu\text{g/l}$ y $3,02 \pm 2,97 \mu\text{g/l}$ 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 $1 \mu\text{g/l}$ 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 ($265 \mu\text{g/l}$) ubicada en la ciénaga, con promedio de $166 \pm 140 \mu\text{g/l}$ en ésta y $40 \pm 15,5 \mu\text{g/l}$ en la bahía; en el canal se reportaron valores de $125 \mu\text{g/l}$. 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 3.2-29 y Tabla 3.2-30.

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 3.2-31.

Tabla 3.2-31. 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.

3.2.6 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 m³/s, con un mínimo histórico registrado de 55 m³/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 acuícludos (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.

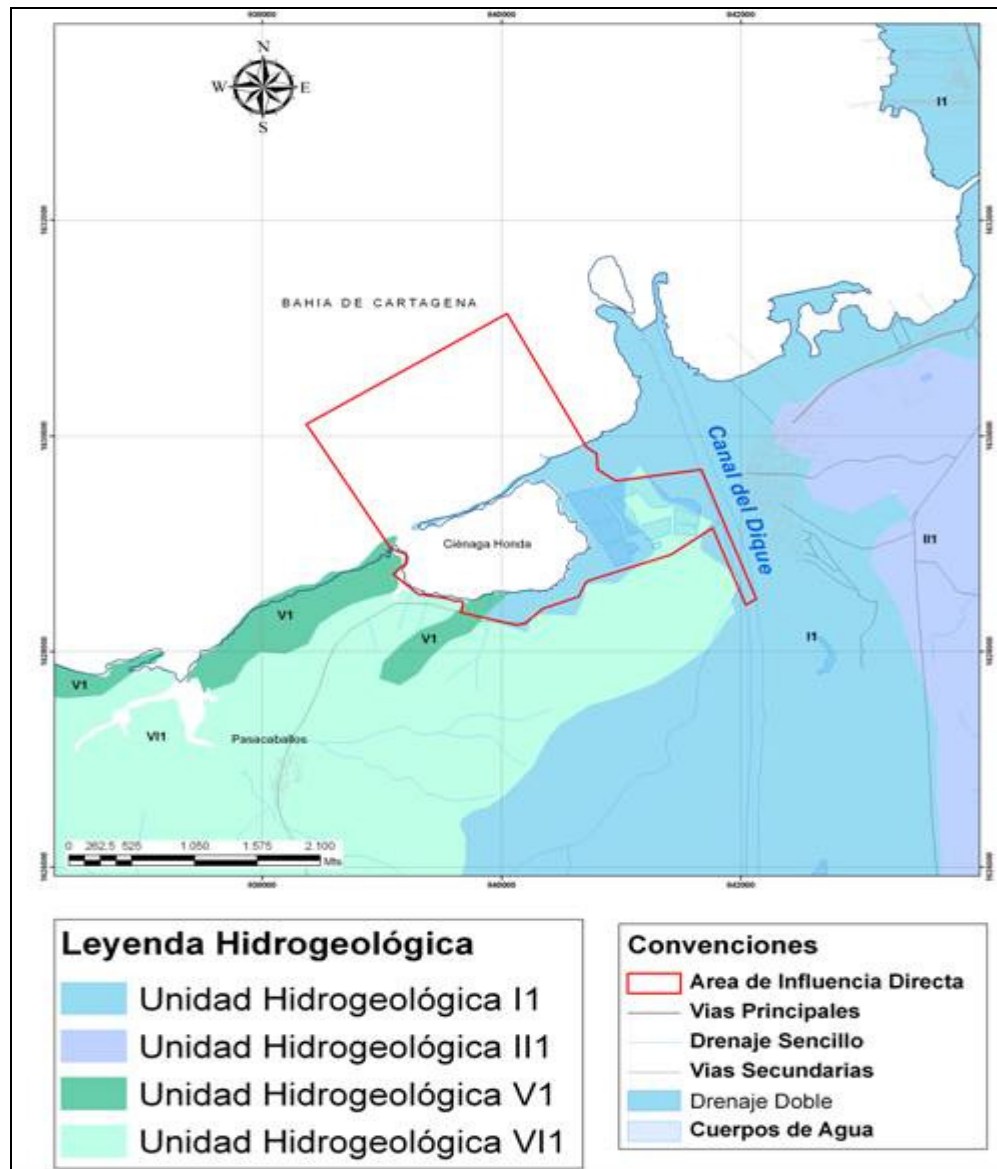
De acuerdo con las observaciones de campo, y con base en el análisis de las aguas subterráneas llevado a cabo por Ingeominas en desarrollo del proyecto hidrogeológico de los departamentos del Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique (Boletín 29, 1988), se pueden indicar las siguientes unidades 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 3.2-26 y Plano 3-6. Hidrogeología Anexo Cartográfico).

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 3.2-26. Mapa hidrogeológico



Fuente: Ingeominas. Boletín 29, 1988

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.

Unidad Hidrogeológica VI1

Esta unidad engloba a un grupo de unidades geológicas que por su carácter litológico impermeables se comportan como acuícludos 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.

Unidad Hidrogeológica 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.

3.2.7.1 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 3.2-27). 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.

3.2.7.2 Susceptibilidad a procesos geodinámicos

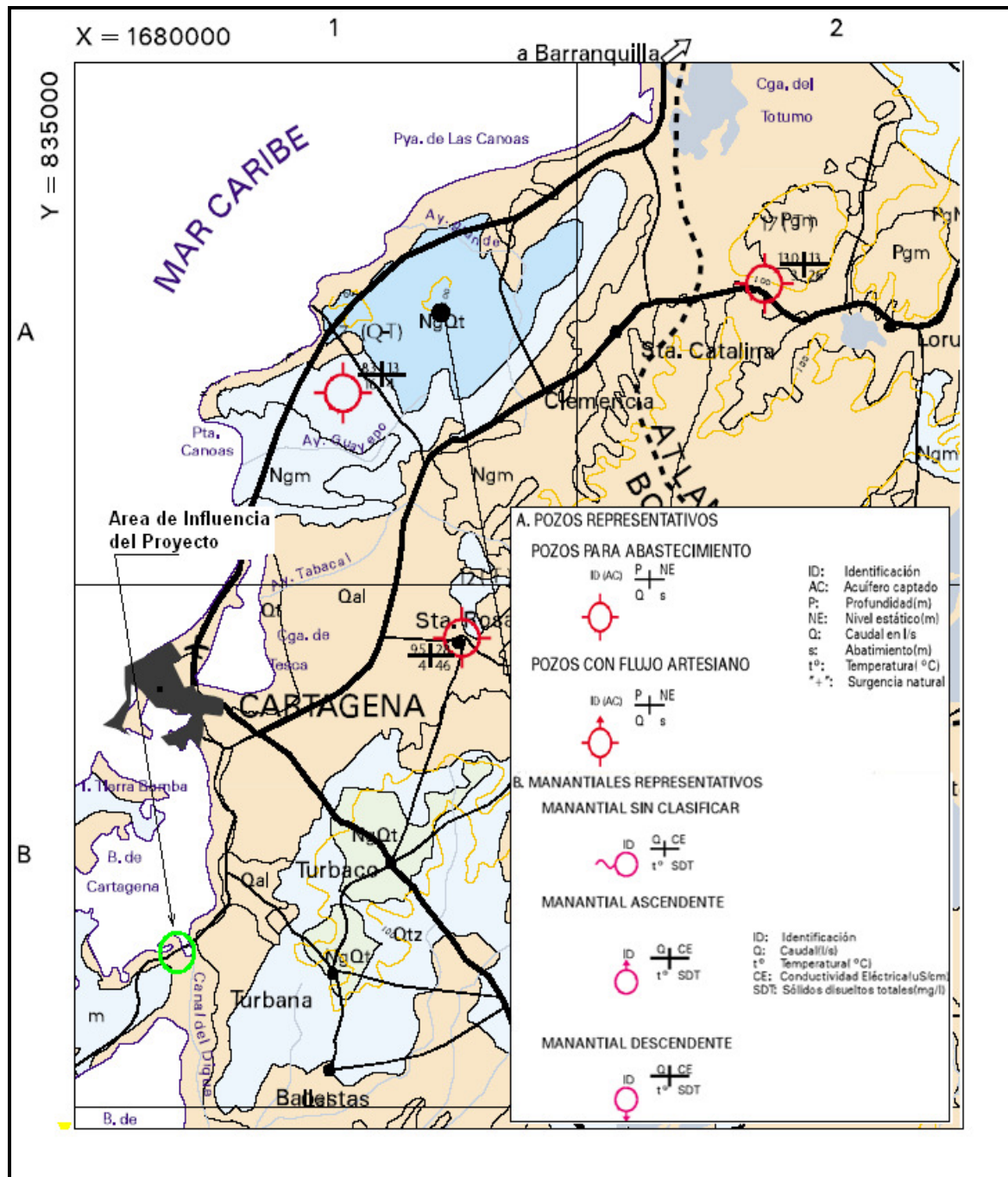
Las características del área de estudio presentan un alto grado de homogeneidad y sólo se observan diferencias en la composición de los depósitos variaciones en la granulometría de los suelos identificados. Así lo indica la zonificación geotécnica (Tabla 3.2-32) para el área de influencia directa, en términos de la susceptibilidad. Las variables empleadas son: litología, morfología y unidad geomorfológica.

Tabla 3.2-32. Zonificación Geotécnica

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

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Figura 3.2-27. 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 Oceanografía

3.2.8.1 Corrientes

Las corrientes superficiales que dominan la circulación en el Caribe colombiano son la corriente del Caribe, que avanza casi todo el año en sentido E-W y la contracorriente del Darién, o de Colombia, que recorre desde Panamá hasta la altura de isla Fuerte en la época de los vientos alisios fuertes. La marea en la bahía es semidiurna y presenta una irregularidad que genera que su amplitud sea inferior a los 0,5 m. El intercambio de aguas el mar abierto se realiza a través de dos estrechos: al Norte (Bocagrande) con profundidades entre 0,6 y 2,1m, y al Sur (Bocachica) tiene 3 estrechos.

El canal de navegación tiene una profundidad de 15 m con un ancho de 100m dificultando el lavado hidrodinámico con las aguas marinas de las capas del fondo de la bahía. La renovación de las aguas favorece la presencia de oscilaciones del nivel del mar en la frontera del mar abierto; con una altura de marea diaria $\approx 0,4$ m y un área de la bahía de ≈ 82 km², diariamente llegan al canal por el orden de 32.800 Mm³ de aguas marinas. La intensidad del intercambio turbulento vertical entre las capas superficiales y del fondo de la bahía, depende del caudal del canal del Dique y de la fuerza de los vientos que soplan sobre la cuenca de la bahía. En la Figura 3.2-28 se ilustran los resultados del régimen de corrientes obtenidos mediante el uso del modelo CODEGO, basado en el modelo MECCA (Model of Estuarine Coastal Circulation Assessment).

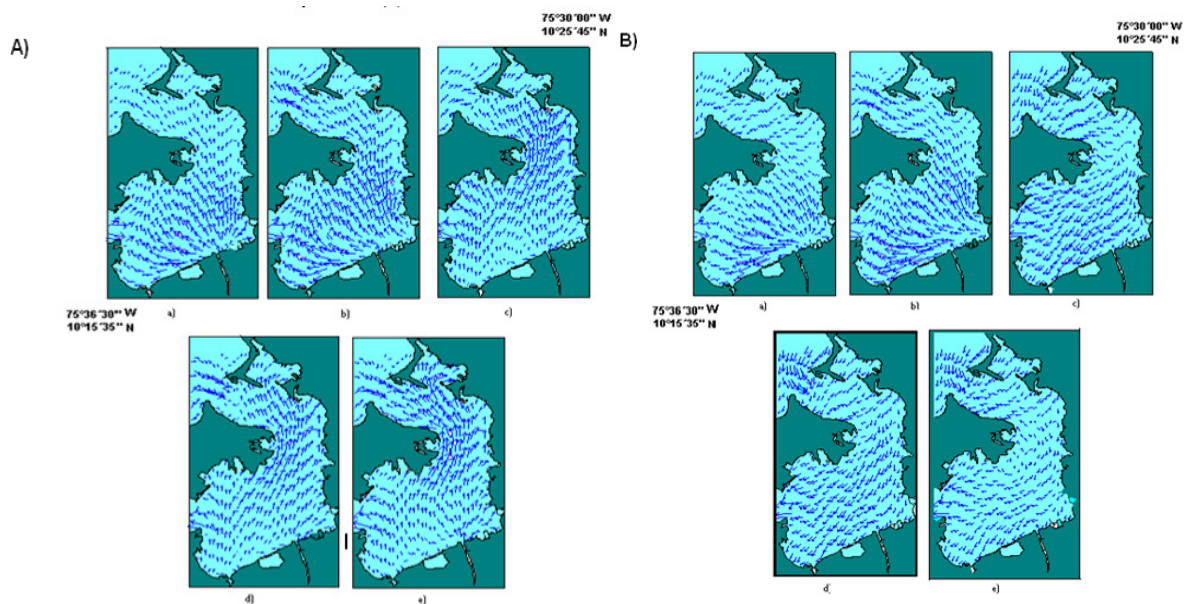
En época lluviosa (Figura 3.2-28A) el canal del Dique influye sobre el régimen de corrientes superficiales, generando una capa de agua liviana y salobre con desplazamiento general hacia el Norte. El viento favorece el intercambio profundo y completo de las aguas acentuando la llegada de agua de mar por el fondo. En Octubre las aguas del Dique cubren un mayor porcentaje de la bahía con un espesor cercano a los 15 m, alcanzado 22 m en la desembocadura del canal y biselándose en Bocachica a una profundidad de 5 m. En la época seca o de vientos (Figura 3.2-28B) las aguas del Dique se pegan contra la orilla de la bahía por efecto del roce del viento en superficie, lo que induce en profundidad una corriente de compensación orientada de Sur al Norte; así mismo, los vientos recobran fuerza y soplan con más regularidad. Con esta nueva dinámica, las aguas del Dique subsisten en los bordes este y oeste de la bahía desapareciendo totalmente en su centro.

3.2.8.2 Estudios de oleaje

De acuerdo con los registros de altura de la ola tomados en el área de las playas de Crespo (Cartagena) por el CIOH se pueden tomar los límites de altura de la ola en la zona de rompimiento entre los 0,2 y 0,5 m con una dirección del NW y es la única observación formal en el sector (Molares *et al.* 2001).

Según lo determinado por la PUJ en 2007, en la época seca el oleaje se propaga de Norte a Sur en la zona externa de la bahía a una velocidad de aproximada de 11m/s y una energía de 1,51Kj/m que se disipa a medida que llega a la bahía. Es un oleaje muy constante provocado por los vientos Alisios que soplan en esta época. En la época de lluvias, en mar afuera se observa un oleaje en dirección oeste; con una velocidad aproximada de 5m/s y una energía de 0,62Kj/m, provocando difracción que al tocar el fondo de la misma en forma paralela cambia de características perdiendo gran cantidad de energía (Molares *et al.*, 2001). Dentro de la Bahía, el oleaje externo, entra por las bocas al Norte y Sur de Tierrabomba y se deforma en la medida que avanza hacia tierra firme, llegando al área de estudio con amplitudes que normalmente son del orden de 0,55m. Sin embargo, la extensión de la bahía es de unos 10Km de Norte a Sur y permite la formación de olas producidas por el viento, que en ocasiones han llegado a ser de más de 0,9 m de altura, observadas en el muelle del CIOH en la isla de Manzanillo.

Figura 3.2-28 Régimen de corrientes en la bahía de Cartagena en la época de lluvias (A) en época seca (B)



Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE-(CIOH 2004)

Según CIOH & CARDIQUE (1998) el oleaje más frecuente en la zona costera de Cartagena proviene del Noroeste, siendo a su vez el más fuerte. Se presenta oleaje del Norte con igual intensidad al del Noroeste pero con menor frecuencia. El oleaje del Norte y del Noroeste es propio de la época seca, es decir, entre los meses de diciembre y abril. En el resto del año se presenta oleaje de más variadas direcciones entre el Noroeste y el Suroeste y en raras ocasiones del Oeste (Figura 3.2-29).

3.2.8.3 Mareas

La marea en la zona costera del Departamento de Bolívar es de tipo microtidal, es decir, presenta un rango (diferencia de altura entre la pleamar y la bajamar) muy pequeño; clasificada como mixta con predominio semi-diurno, (con dos pleamares y dos bajamares por día) y durante unos pocos días al mes cuenta con anomalías de tipo diurno, es decir una pleamar y una bajamar por día (CIOH & CARDIQUE, 1998).

La predicción de la marea para la bahía de Cartagena ha establecido un rango máximo de marea de 60cm, asimismo se ha determinado que el factor que más afecta la marea en el área es la declinación lunar, cuya constituyente k1, lunar declinacional, aporta la mayor variación de altura; este mismo factor tiene un gran efecto sobre las variaciones mensuales del nivel medio del mar (CIOH & CARDIQUE, 1998).

Variación del nivel del mar por las mareas

El registro de mareas calculado mediante el modelo del Servicio Mareográfico Francés SHOM (Figura 3.2-30) 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 eleva-

ción 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 3.2-29 El oleaje de fondo proveniente del mar abierto que entra a la Bahía por Bocachica

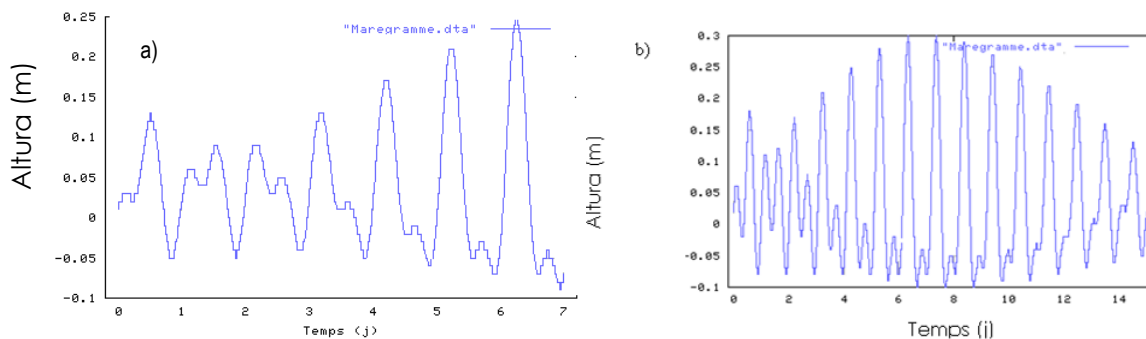


Fuente: Calculado por el modelo SWAN en el CIOH (alturas en m)

Sobre el aumento del nivel del mar por el calentamiento global

El aumento debido a la expansión del volumen del agua tropical generada por el almacenamiento de calor en los meses de septiembre y octubre, hace que los niveles de la bahía de Cartagena sean hasta 0,2m más altos en dicha época (Figura 3.2-31). 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 3.2-30 Ciclo de marea de la bahía de Cartagena durante

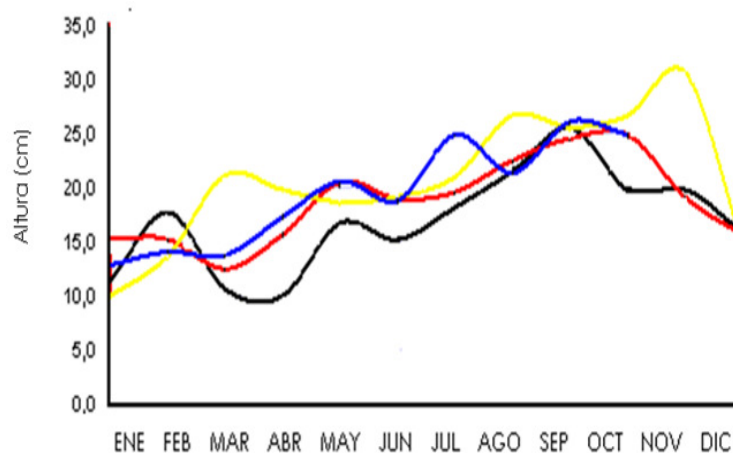


a) la semana del 15 al 22 de febrero y b) todo el mes de febrero de 2006

Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE

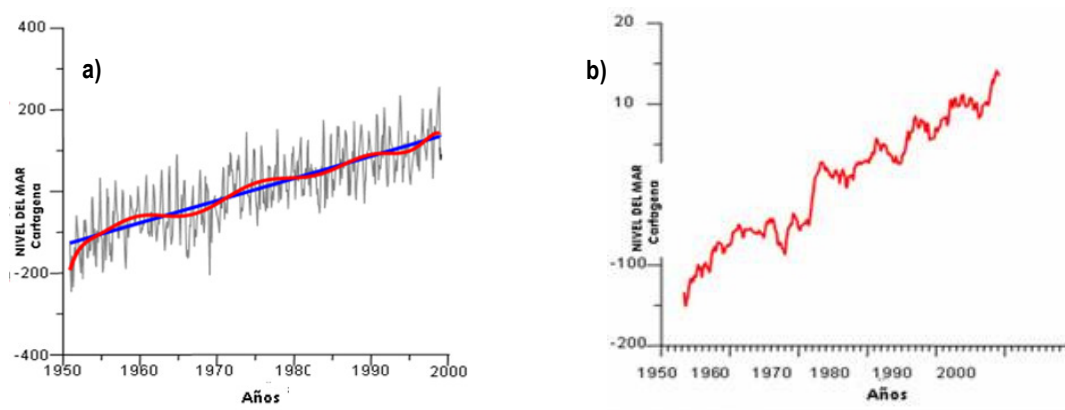
Además, es un hecho científico comprobable, que el clima de la tierra a nivel global se está calentando, haciendo que el deshielo de los casquetes polares y los índices de expansión a nivel tropical sean cada vez mayores. Un análisis de más de 50 años del nivel del mar en Cartagena (Figura 3.2-32a y Figura 3.2-32b) 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 3.2-31 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 3.2-32 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.

3.2.8.4 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.

3.2.8.5 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 portuario de Puerto Bahía. Este apartado se desarrolla en un apartado anterior, en el numeral en que se define la Calidad del Agua.

3.2.8.6 Caracterización de sedimentos marinos

Para el análisis de los sedimentos marinos, se consideraron los estudios realizados por la Pontificia Universidad Javeriana en 2007. Adicionalmente, y dado que se modificó la ubicación del desarrollo portuario, se realizaron por el consultor en 2008, muestreos adicionales en puntos estratégicos para complementar esta caracterización. La metodología empleada se presenta en el Capítulo 1 – Generalidades.

3.2.8.6.1 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 3.2-33 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.

Tabla 3.2-33. 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 ₃)	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

Análisis de Componentes Principales

La Tabla 3.2-34 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 3.2-35, Figura 3.2-33). Estas variables se expresan sobre el componente 2.

Los resultados para los dos primeros componentes principales en cuanto a las variables y las estaciones se refieren respectivamente en la Figura 3.2-34. 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 3.2-34. Valores propios para el análisis de componentes principales

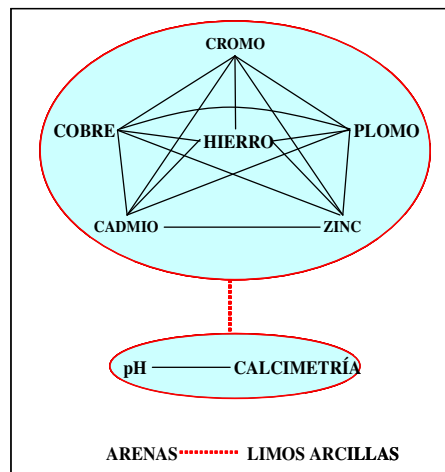
COMPONENTE	VALOR EIGEN	VARIANZA	VARIANZA ACUMULADA
1	6,96	0,54	0,54
2	2,20	0,17	0,70
3	1,70	0,13	0,84
4	1,12	0,09	0,92
5	0,57	0,04	0,96
6	0,24	0,02	0,98
7	0,17	0,01	1,00
8	0,04	0,00	1,00
9	0,01	0,00	1,00
10	0,00	0,00	1,00
11	0,00	0,00	1,00
12	0,00	0,00	1,00
13	0,00	0,00	1,00

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

La Figura 3.2-35, 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.

Figura 3.2-33. Diagrama de las concentraciones significativas



Positiva: línea continua; negativa: línea punteada.

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

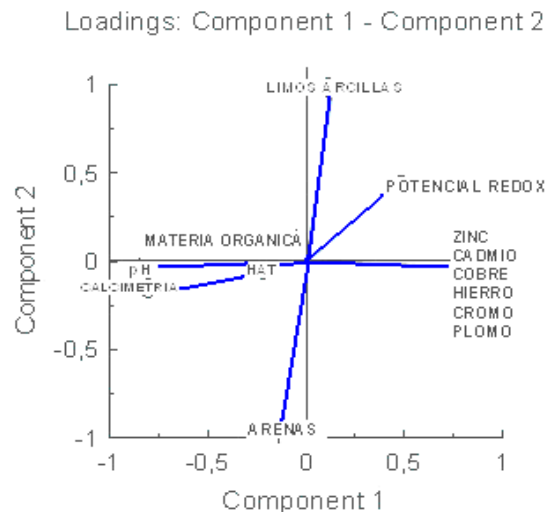
Tabla 3.2-35. Matriz de correlaciones entre las variables fisicoquímicas en el sedimento

	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

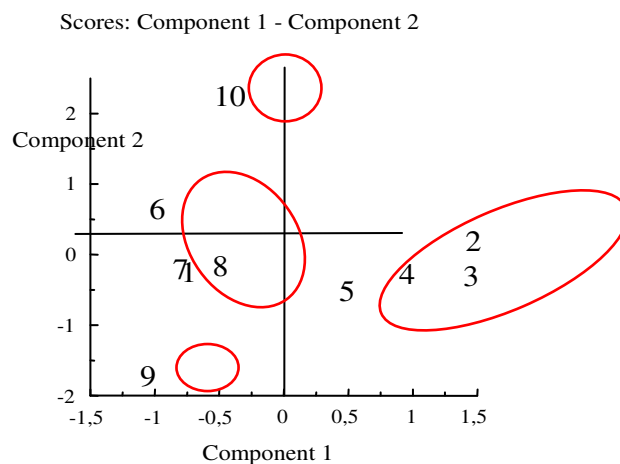
Figura 3.2-34. Ubicación de las variables fisicoquímicas en los componentes 1 y 2



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

- **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.

Figura 3.2-35. Ubicación de las estaciones en los componentes 1 y 2

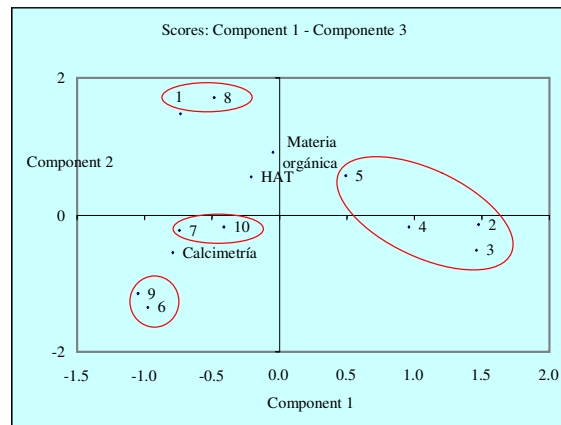


Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

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 3.2-36 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.

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, la Figura 3.2-37 ilustra la estructura fisicoquímica de los sedimentos del área de muestreo, donde se destaca mayor contaminación por metales pesados y similitud fisicoquímica en inmediaciones del canal del Dique; heterogeneidad en las estaciones restantes con menor contaminación por metales pesados y mayor incidencia de las aguas marinas.

Figura 3.2-36. 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 (2004¹⁶) 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.

¹⁶ 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

Figura 3.2-37. Síntesis espacial de las condiciones fisicoquímicas en sedimentos de la bahía de Cartagena



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2-36. 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.

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 Invemar-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.

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).

3.2.8.6.2 Campaña de INCOPLAN, 2008

En la Tabla 3.2-37, Tabla 3.2-38 y Tabla 3.2-39 se presentan los resultados granulométricos determinados en 2008 para el área de influencia directa (ver Anexo 1-1) y en la Figura 3.2-28 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 3.2-39 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 3.2-37. 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 3.2-38. 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

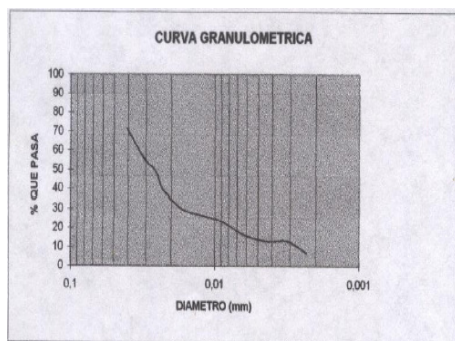
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla 3.2-39. Clasificación según Wentworth

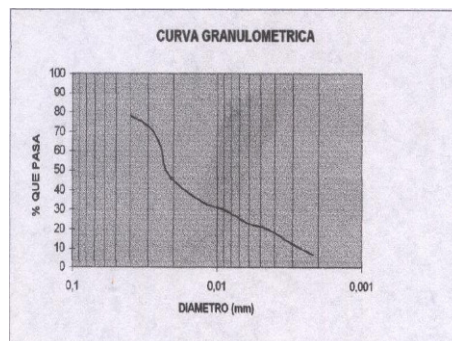
Nombre de la fracción	Rangos de escala (mm)	E1 %	E3 %	E5 %
Arena	2 - 0,063	28,2	21,69	41,22
Cieno (Limo)	0,063 – 0,0039	58,62	58,61	42,34
Arcilla	< 0,0039	13,18	19,7	16,44

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

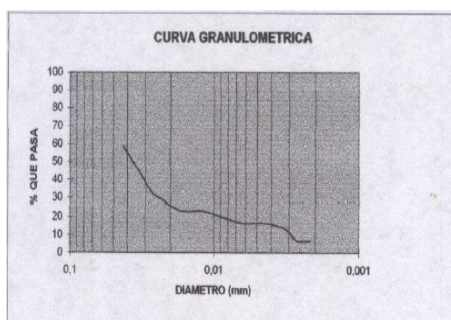
Figura 3.2-38. Curvas granulométricas



Estación No. 1 – Cienaga Honda



Estación No. 2 – Bahía de Cartagena



Estación No. 5 – Canal del Dique

Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

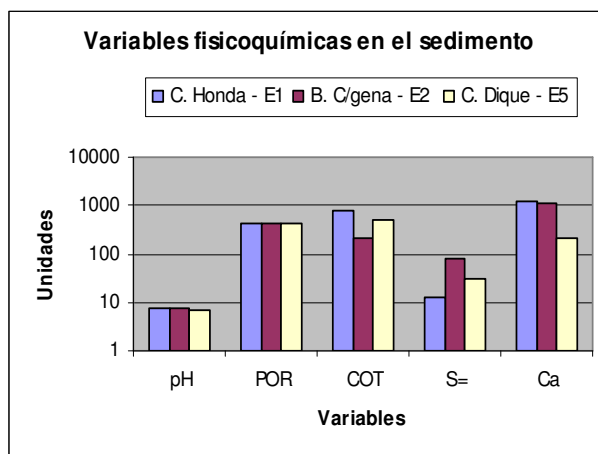
La fineza es un atributo importante en la retención de contaminantes, debido a que mientras más finos son los sedimentos tienen mayor área superficial (comparado con los sedimentos más gruesos) en la cual los contaminantes pueden adsorberse.

Fisicoquímicos

El pH y las concentraciones de calcio de los sedimentos fueron menores en la E5 que en las dos estaciones restantes, lo que es lógico por corresponder éstas a un cuerpo de agua dulce (Figura 3.2-39).

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 la E5. El potencial de oxidación-reducción es similar en las tres estaciones. Las concentraciones de sulfuros en E1 y E2, superan los niveles de AET (4,5 mg/Kg) estipulados por la NOAA. (Tabla 3.2-41).

Figura 3.2-39. 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, Dime-toate, Disulfoton, o,o,o-Trietilfosforotioate, Paratión, Metilparation y Famphur*. No se detectaron estos compuestos en las muestras de sedimento analizadas.

En la Tabla 3.2-40 se presentan los resultados obtenidos de los análisis de sedimento y en la Tabla 3.2-41 y Tabla 3.2-42 se comparan los resultados con la norma para agua de mar y para agua dulce, respectivamente.

Tabla 3.2-40. 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	Fisicoquímicos	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 3.2-41. 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	Backgrnd	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 3.2-42.Comparación de resultados con la norma para sedimento de agua dulce

			Canal del Dique	NORMA				
			Est. No. 5	NOAA				
Parámetros		Unidades	Límite de Detección	67665	Background	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

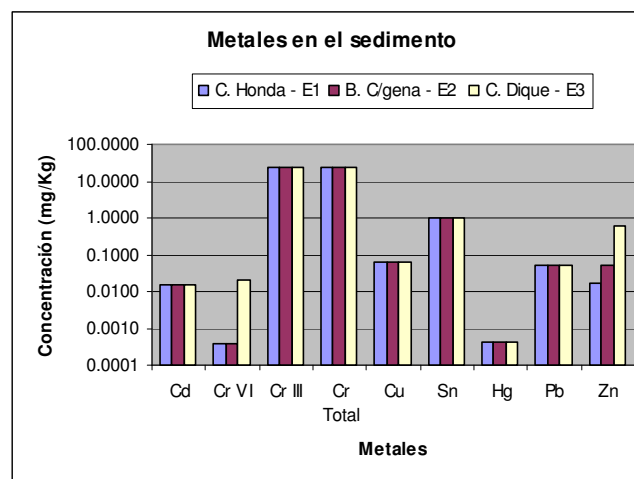
Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Metales

En la Figura 3.2-45 se comparan los resultados obtenidos entre estaciones. El cadmio, cromo trivalente, cobre, estaño, mercurio y plomo presentaron concentraciones 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 3.2-40. 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 Atmósfera

El clima es el efecto a largo plazo de la radiación solar sobre la superficie y la atmósfera de la tierra en rotación. En el territorio colombiano convergen vientos alisios del NE y del SW, provenientes de los polos; cuando los vientos se enfrían resulta una faja de bajas presiones conocidas como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). Este provoca movimientos ascendentes que favorecen las formaciones de nubes, ocasionando precipitaciones. La posición de la ZCI determina las temperaturas de lluvias del país, ayudado por la existencia de circulaciones locales de vientos en las zonas montañosas. El clima también se encuentra determinado por la altitud (la temperatura y la presión atmosférica desciende cuando aquella es mayor) y varía para el día y para la noche principalmente en las regiones montañosas (el menor espesor de la atmósfera hace que la radiación solar recibida en el día se escape rápidamente, lo que ocasiona un descenso en la temperatura).

3.2.9.1 Clima

Según los registros obtenidos por INCOPLAN (2008) en el IDEAM para el proyecto, en el área de estudio, como en casi todo el Caribe, se identifican dos periodos climáticos principales conocidos como época de lluvias y época de vientos o época húmeda y seca. Algunos estudios señalan la existencia de un tercer periodo, llamado época intermedia o de transición (CIOH & CARDIQUE, 1998; INVEMAR, 2003). El clima en general de la región, se puede clasificar como tropical semiárido (CARDIQUE, 2005).

La época seca comprende desde diciembre hasta mediados de abril y se caracteriza por vientos continuos y fuertes provenientes del sector Norte - Noreste con lluvias escasas y débiles. El período de transición o época intermedia esta comprendido entre los meses de junio y julio y se caracteriza por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección. Por considerarse una época de relativa poca lluvia, en medio de la denominada época húmeda (de abril a noviembre), es denominado por algunos como *El veranillo de San Juan*, como ya se mencionó anteriormente. La época de invierno o de lluvias se extiende desde Abril a Noviembre, con la interrupción ya señalada para los meses de Junio y Julio y se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y un régimen abundante de lluvias, siendo Octubre el mes más lluvioso. (CIOH & CARDIQUE, 1998; INVEMAR, 2003).

Para la caracterización climatológica se emplearon los registros de las estaciones del IDEAM, los cuales se indican en el Capítulo 1 – Generalidades.

Temperatura

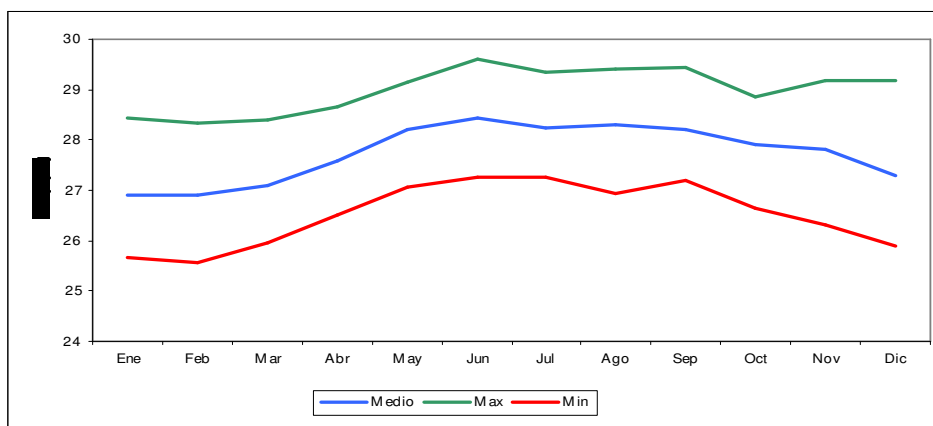
La temperatura media multianual en Cartagena es de 27,8°C y varía desde los 26,8°C en los primeros meses del año hasta los 28,2°C – 28,4°C entre Mayo y Septiembre, para descender a 27,3°C hacia finales del año (INCOPLAN, 2008). El comportamiento de la temperatura dentro del año está muy relacionado con otros parámetros como los sistemas de vientos y la temporada de lluvias. El tiempo fresco de los primeros meses del año obedece a la presencia de los vientos Alisios del N y NE que soplan fuerte en esta temporada y refrescan el clima. Luego viene una temporada de calmas donde aumenta la temperatura promedio. Posteriormente las lluvias del período húmedo del segundo semestre y la acción de los vientos del W y SW hacen bajar un poco la temperatura hasta empalmar con el tiempo de la temporada de los Alisios (modificado CARDIQUE & CI, 2004).

Los mayores valores se registran durante el mes de Mayo (época de transición), alcanzando los 33°C, y descendiendo hasta 29°C en los meses de Diciembre y Abril (Figura 3.2-41). Durante la época húmeda la tendencia de este parámetro es a descender, debido a aumentos sensibles de la nubosidad, manteniendo una temperatura media mensual durante la época entre los 27,9°C y 28,6°C. Con respecto a este parámetro se puede observar que los valores máximos se presentan en la época de transición y los mínimos en el mes de Octubre, mes de mayor precipitación (Figura 3.2-42) (INCOPLAN, 2008).

Precipitación

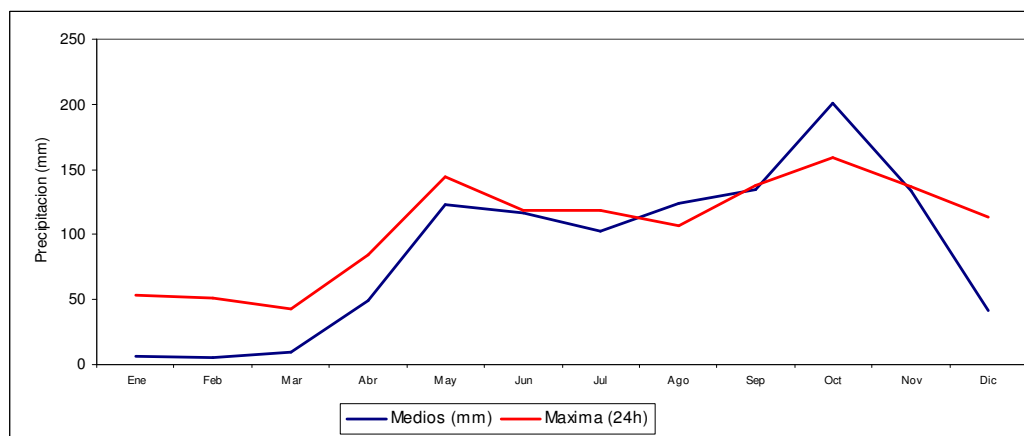
Esta zona presenta un patrón unimodal de precipitación, el promedio es de 1.047,6 al año. En época seca, las lluvias son escasas y no sobrepasan los 50 mm/mes, siendo enero, febrero y parte de marzo los meses de más bajos índices de precipitación. El período máximo de lluvias se presenta entre septiembre y octubre con promedios de 134 y 200 mm, respectivamente, (Figura 3.2-42). El promedio de números de días con lluvia es de 76 (INCOPLAN, 2008).

Figura 3.2-41. Variación mensual de temperatura zona costera



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

Figura 3.2-42. Comportamiento de la precipitación promedio mensual (mm)

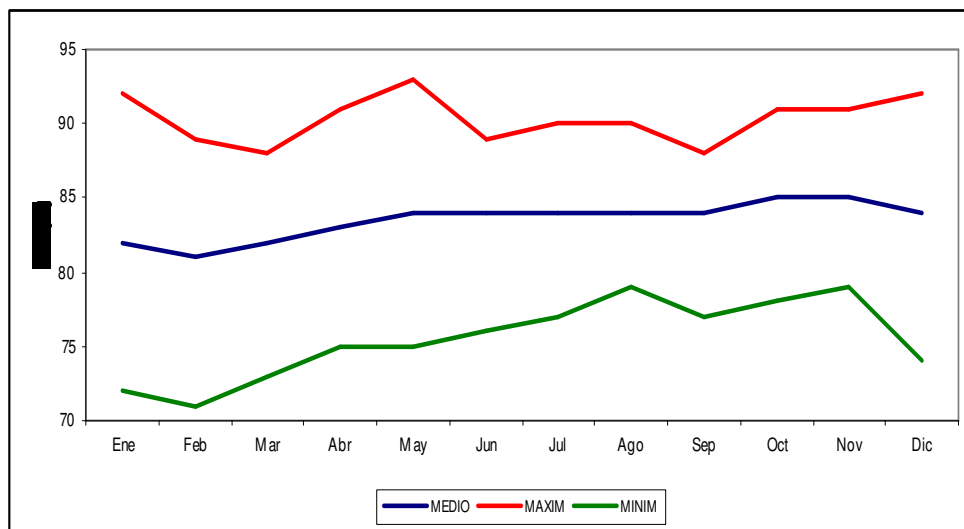


Fuente: INCOPLAN S.A., 2009. Datos IDEAM

Humedad Relativa

La Humedad Relativa de la región es alta presentando un promedio de 83%, con máximas del 93% y mínimas del 71% (Figura 3.2-43) (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 3.2-43. Variación mensual de la humedad relativa



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

Vientos

Cartagena se localiza geográficamente en el centro litoral del Caribe colombiano, razón por la cual el régimen climático se encuentra bajo la influencia de los desplazamientos Norte - Sur de la ZCIT por el movimiento meridional del sistema de monzones americanos, los vientos Alisios, el paso de las Ondas del Este y frentes fríos tributarios del hemisferio Norte (CARDIQUE, 2005).

El régimen de vientos se caracteriza por el predominio de los vientos Alisios del Norte y Noreste en la época seca y de los vientos del Sur Suroeste en la época húmeda. Durante la época seca la ZCIT se encuentra en posición Sur, los sistemas subtropicales de alta presión se encuentran al Sur de su posición normal como consecuencia los vientos del Norte y Noreste (Alisios) soplan con una intensidad más uniforme y pronunciada en toda la región (CARDIQUE, 2005). De acuerdo con el CIOH (2004) en la bahía de Cartagena la velocidad promedio del viento es de 8 nudos, registrándose vientos muy fuertes (20 a 23 nudos) de escasa duración que acompañan las lluvias torrenciales, cuando algún sistema importante transita por el área.

Sobre la dirección climática del viento

En el clima de Cartagena se destacan 2 estaciones bien definidas, una época seca de diciembre a abril y una época de lluvias de junio a noviembre, el resto del año son meses de transición. En julio- agosto ocurre una ventana de tiempo seco, el veranillo de San Juan. En la Figura 3.2-44 se indican los cambios en la dirección de los

vientos en la costa a la altura de Cartagena. Cuando la ZCIT se encuentra al Sur de Cartagena ocurre la época seca y se siente en la bahía los vientos Alisios de Norte y del Noreste, que oscilan con ondas tropicales de unos 8 días de período (Figura 3.2-44a). Durante la transición entre las dos estaciones climáticas, el viento sigue siendo dominante del Norte pero menos intenso y las lluvias son más frecuentes con períodos alternados de fuertes vientos, (Figura 3.2-44b).

Cuando la Zona de Convergencia se encuentra al Norte de Cartagena los vientos llegan del Sur o el Suroeste; son vientos más lentos y cálidos, están cargados de vapor de agua y asociados a grandes precipitaciones en el área (Figura 3.2-44c). Superpuesto a este régimen existe una amplia variación diurna del viento que modula la dirección y velocidad en la bahía, haciendo que en las madrugadas haya mucha calma, arrecie en las mañanas del Suroeste y vaya rolando hacia el oeste hasta ser fuerte del noroeste en el atardecer y vuelva a amainar hacia la media noche.

Sobre la velocidad del viento en términos climáticos

Los vientos son relativamente estables en dirección: al sur de la Latitud 14° la circulación dominante es E-W en la parte oriental, adopta una distribución de abanico que se caracteriza por una rotación NE-SW, la velocidad promedio del viento es de 8 nudos, registrándose vientos muy fuertes (20 a 23 nudos) de escasa duración, que acompañan las lluvias torrenciales, cuando algún sistema importante transita por el área (Figura 3.2-45).

Durante la estación húmeda el área costera soporta un flujo de viento en niveles bajos, usual de ciclo diurno del Este Noreste, con velocidades máximas de 20 a 30 nudos hasta los 200m (Cerro de la Popa) justo antes del amanecer; estos vientos descienden hasta los 15 nudos hacia la media mañana. La velocidad se incrementa nuevamente a medida que se forma la inversión térmica en la media tarde y noche, repitiendo el ciclo. Durante la estación seca, los Alisios del Este Noreste en media oscilan entre 10 y 15 nudos. Debido al desplazamiento de los Frentes Polares se incrementan hasta los 20 nudos con rachas de hasta 25 nudos hacia la media tarde (Kennet, 1989).

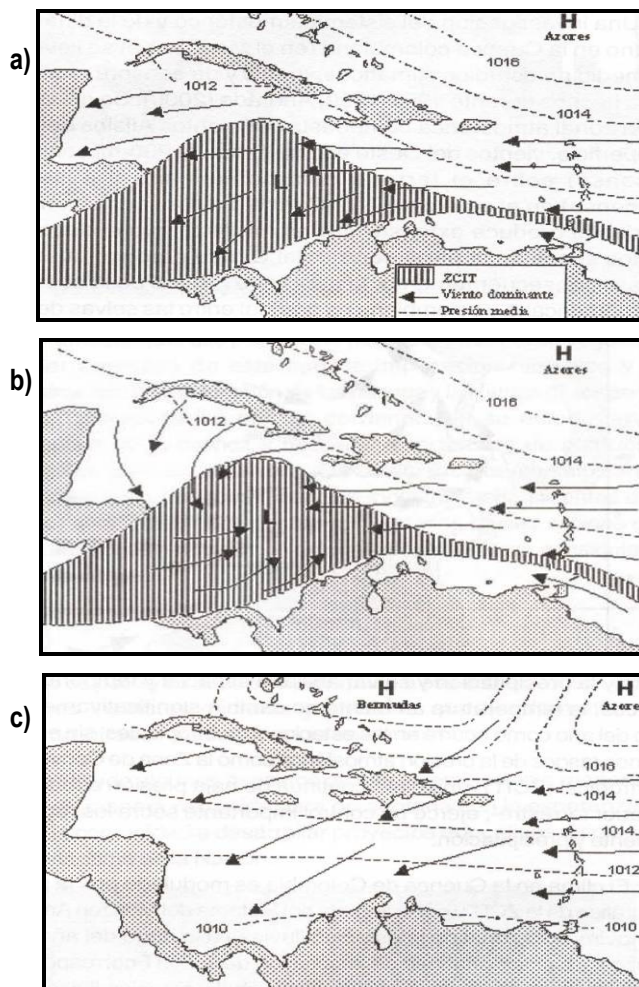
El régimen general de vientos en el Caribe tropical se considera válido para Cartagena, sin embargo, existen corrientes locales, topografía y condiciones marítimas muy particulares para el área de estudio. Según CIOH, el comportamiento del viento en la bahía interna difiere del registrado en el Aeropuerto R. Núñez (E-NE al norte de Cartagena), siendo su promedio anual en las horas de la mañana del SE con velocidades de 5 - 6m/s (9 a 10,8 nudos) y del N-NE al medio día y tarde con velocidades hasta los 9 m/s (16,2 a 17 nudos) en época normal sin eventos cálidos o fríos, marcándose los efectos de brisa de mar y tierra. (Ver

Figura 3.2-46).

Brillo 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 3.2-47).

Figura 3.2-44 Posición de la zona de convergencia inter-tropical



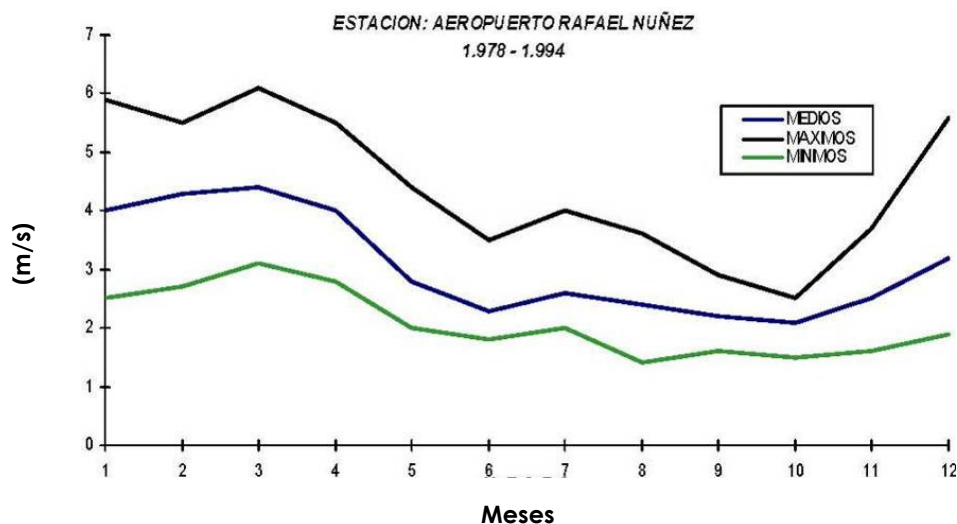
Para a) estación de vientos; b) época de transición y c) estación de lluvias (adaptada de Andrade, 2001)

Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE

Evaporación

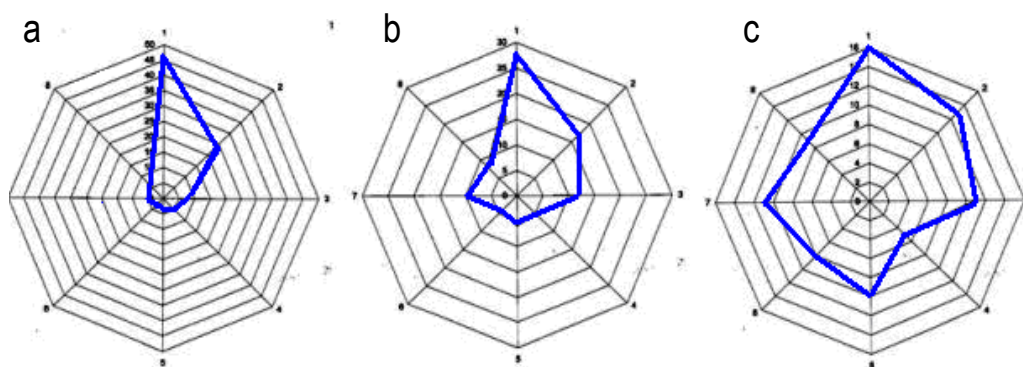
La evaporación media anual es de 1887,8 mm. Los máximos valores se alcanzan en el primer semestre del año (en marzo con 190,3 mm) como consecuencia del tiempo anticiclónico de esta temporada, soleado, con baja nubosidad y baja precipitación; en el segundo semestre del año se producen bajos valores de 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 3.2-48).

Figura 3.2-45. Variación mensual del viento (m/s)



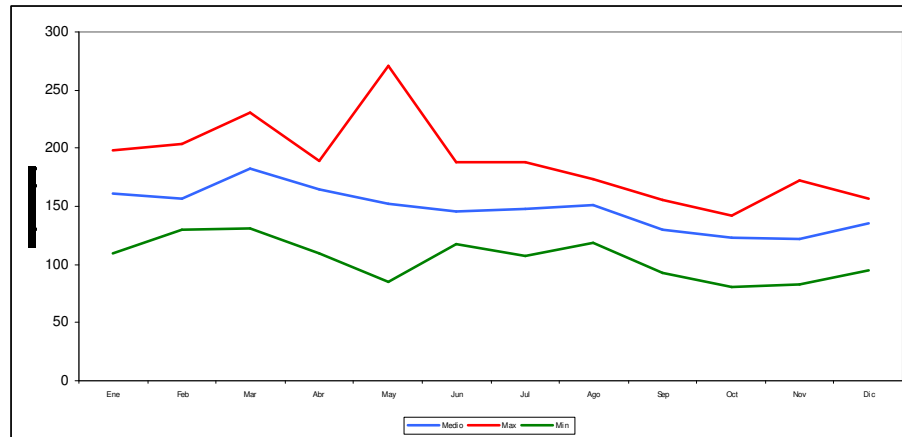
Fuente: Estación Aeropuerto Rafael Núñez 1978-1974

Figura 3.2-46 “Rosas de viento”



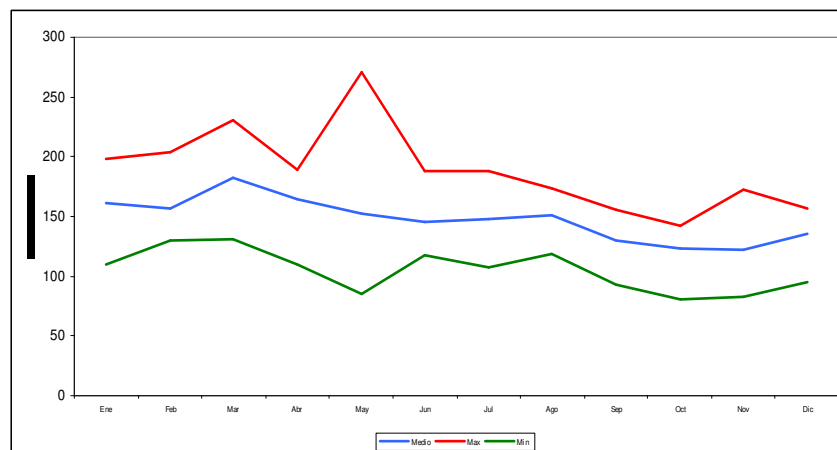
a. estación seca o de vientos de diciembre a Marzo, b. período de transición de Marzo a julio y c. época de lluvias de agosto a Noviembre
Fuente: Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE-CIOH 2004

Figura 3.2-47. Variación Mensual del Brillo Solar



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

Figura 3.2-48. Variación Mensual de la Evaporación



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

3.2.9.2 Calidad del aire

Generalidades

De acuerdo con GEO Cartagena (2007)¹⁷ la ubicación de la ciudad y la influencia de los vientos marinos, garantizan buena calidad del aire en conjunto, que sólo muy puntualmente se ve afectada por contaminación por fuentes móviles en áreas de elevada circulación vehicular como la avenida Pedro de Heredia, sector Bazurto y en

¹⁷ El informe GEO Cartagena tiene como objetivo servir de herramienta para la toma de decisiones en materia ambiental en la ciudad de Cartagena. Este informe está en estado de elaboración y todavía no se encuentra publicado.

áreas fijas como la zona industrial de Mamonal, donde se sienten malos olores provenientes de algunas chimeneas de las industrias allí ubicadas. En los alrededores de la ciénaga de la Virgen (zona Sur oriental) y otras ciénagas como las Quintas y los caños que descargan sus aguas en la ciénaga de la Virgen, son sitios donde también se presentan malos olores, debido a las descargas directas de residuos sólidos y aguas servidas.

La contaminación por fuentes móviles se debe al tráfico vehicular y se agrava por la edad del parque automotor y las dificultades en el tráfico, por congestión atribuible al desordenado desarrollo vial de sectores céntricos de la ciudad. El incremento del parque automotor en Cartagena ha tenido un incremento significativo entre 1990 y 2005 (Figura 3.2-49). Entre estos años el incremento presentado fue de más de 8 veces el valor inicial. En términos de la composición del parque automotor de la ciudad, el transporte particular predomina sobre cualquier otra forma.

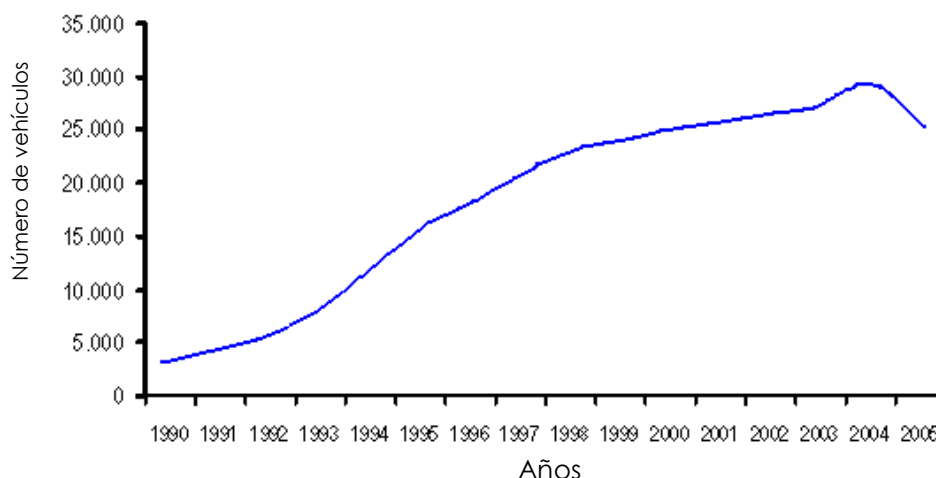
Por otro lado de acuerdo con los monitoreos puntuales desarrollados por el Laboratorio de Calidad Ambiental en los sectores de Mamonal y el Bosque se puede precisar que los niveles máximos permisibles de calidad de aire para el parámetro PM_{10} (partículas menores de 10 micras) detectados en diferentes sectores de la zona industrial, cumplen con lo establecido por la norma respectiva. No obstante lo anterior, es de destacar que los datos no son suficientes para evaluar el estado real de la calidad del aire en el área de influencia de la zona industrial de Mamonal (GEO Cartagena 2007).

Resultados de los muestreos

Los muestreos de calidad del aire se llevaron a cabo en el mes de Julio de 2007, según la metodología descrita en el Capítulo 1 – Generalidades. La Figura 3.2-50 representa el comportamiento de la variable PM_{10} en SEATECH y Zona Franca en muestreo realizado en julio de 2007.

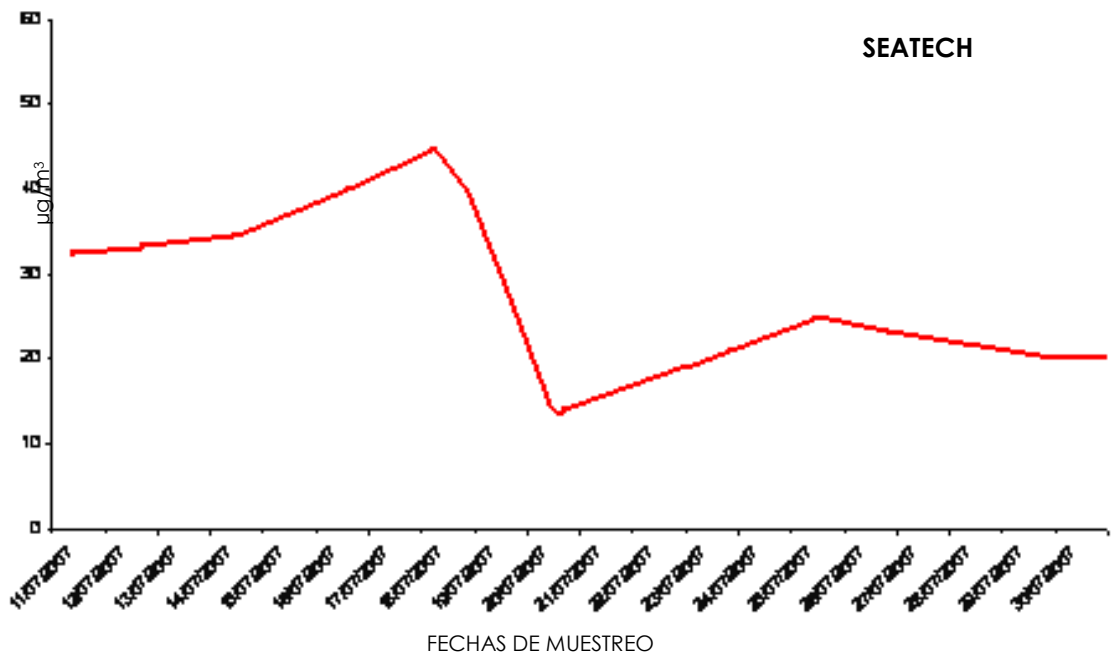
Los resultados para la estaciones Colegio José María Córdoba, Barú Shrimp Company y AMC se observan en la Figura 3.2-51.

Figura 3.2-49. Parque automotor



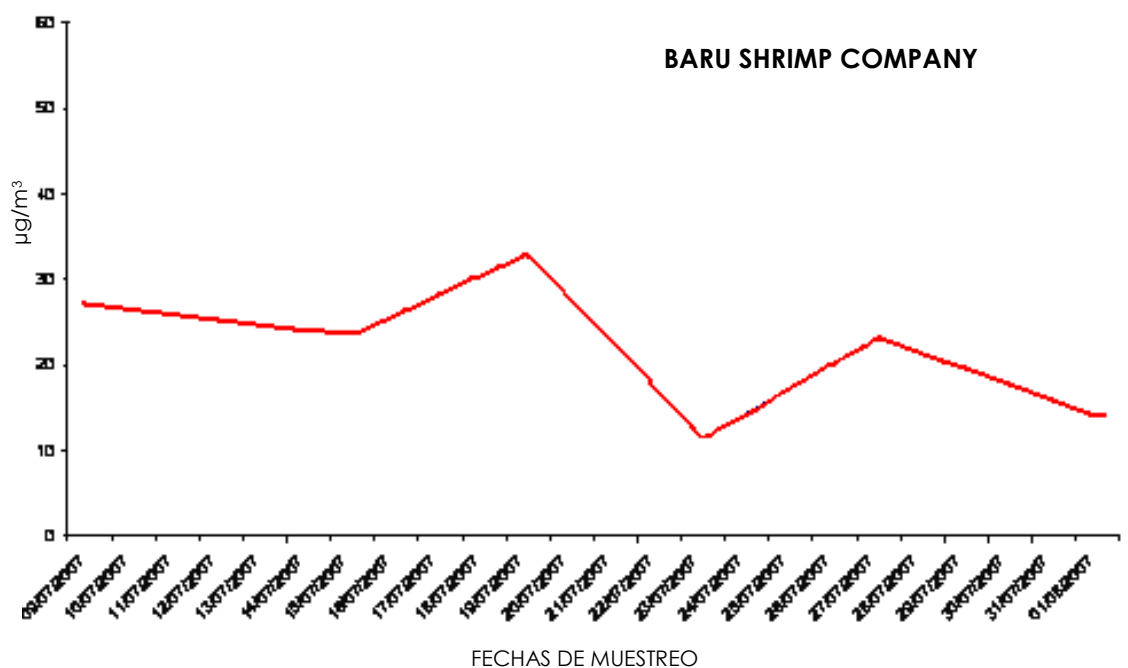
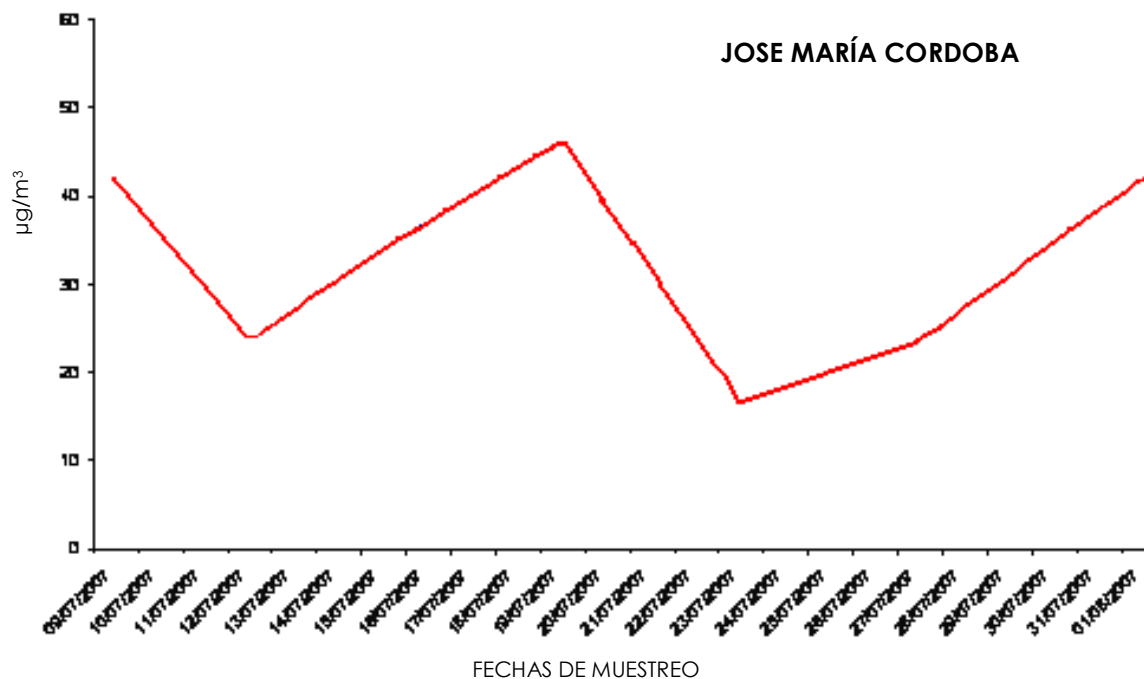
Fuente: Cartagena (1990 – 2005). Departamento Administrativo de Tránsito y Transporte – DATT

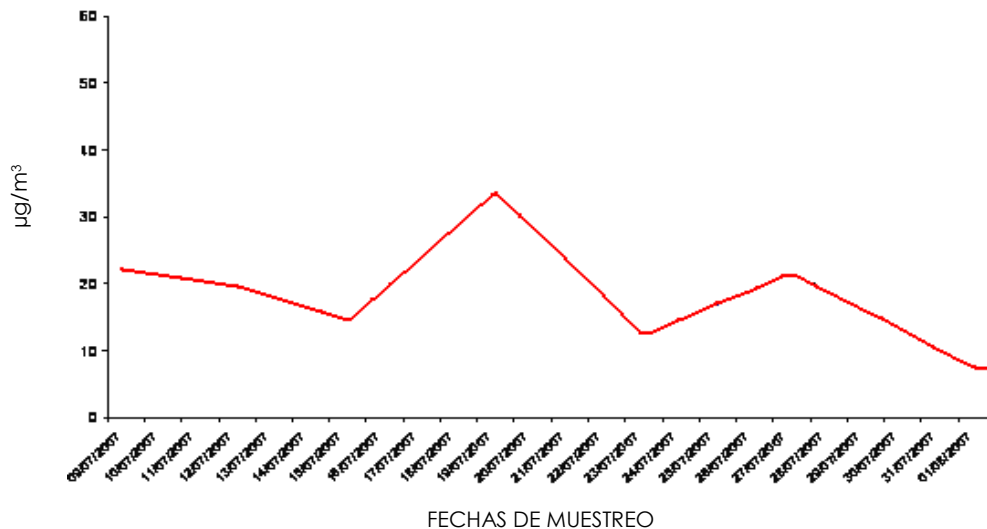
Figura 3.2-50. Resultados obtenidos para la estación SEATECH y Zona Franca



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Figura 3.2-51. Resultados para las estaciones José María Córdoba, Barú Shrimp Company y AMC





Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Análisis de resultados para PM₁₀

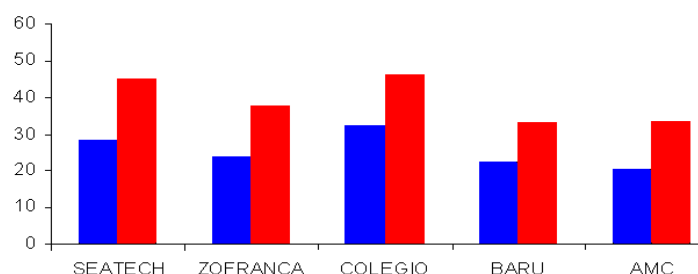
De la revisión de los resultados obtenidos en los sitios muestreados se observa que los niveles diarios de PM₁₀ están por debajo del límite recomendado de 150 µg/m³ para muestreos de 24 horas. El promedio de las mediciones también cumple la norma anual (70 µg/m³). Se puede afirmar entonces que en general la calidad del aire respecto al material particulado menor de 10 micras, PM₁₀ es buena para el intervalo muestreado. En la Figura 3.2-52 y la Tabla 3.2-43, se observa que el promedio más bajo se ubica en la estación AMC y el promedio más alto se ubica en las muestras recolectadas en el colegio JOSE MARIA CORDOBA, dentro del corregimiento de Pasacaballos. Este resultado está afectado por la cercanía de las vías al punto de muestreo, y a las actividades desarrolladas en la zona.

Tabla 3.2-43. Resumen de los principales valores para PM₁₀ en cada estación (µg/m³)

PARÁMETRO	SEATECH	ZOFRANCA	COLEGIO	BARU	AMC
Promedio aritmético PM ₁₀	28	24	33	23	21
Desv estándar PM ₁₀	11	8	11	7	8
Máximo PM ₁₀	45	38	46	33	34

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Figura 3.2-52. Promedio aritmético de PM10 para el mes de Julio de 2007

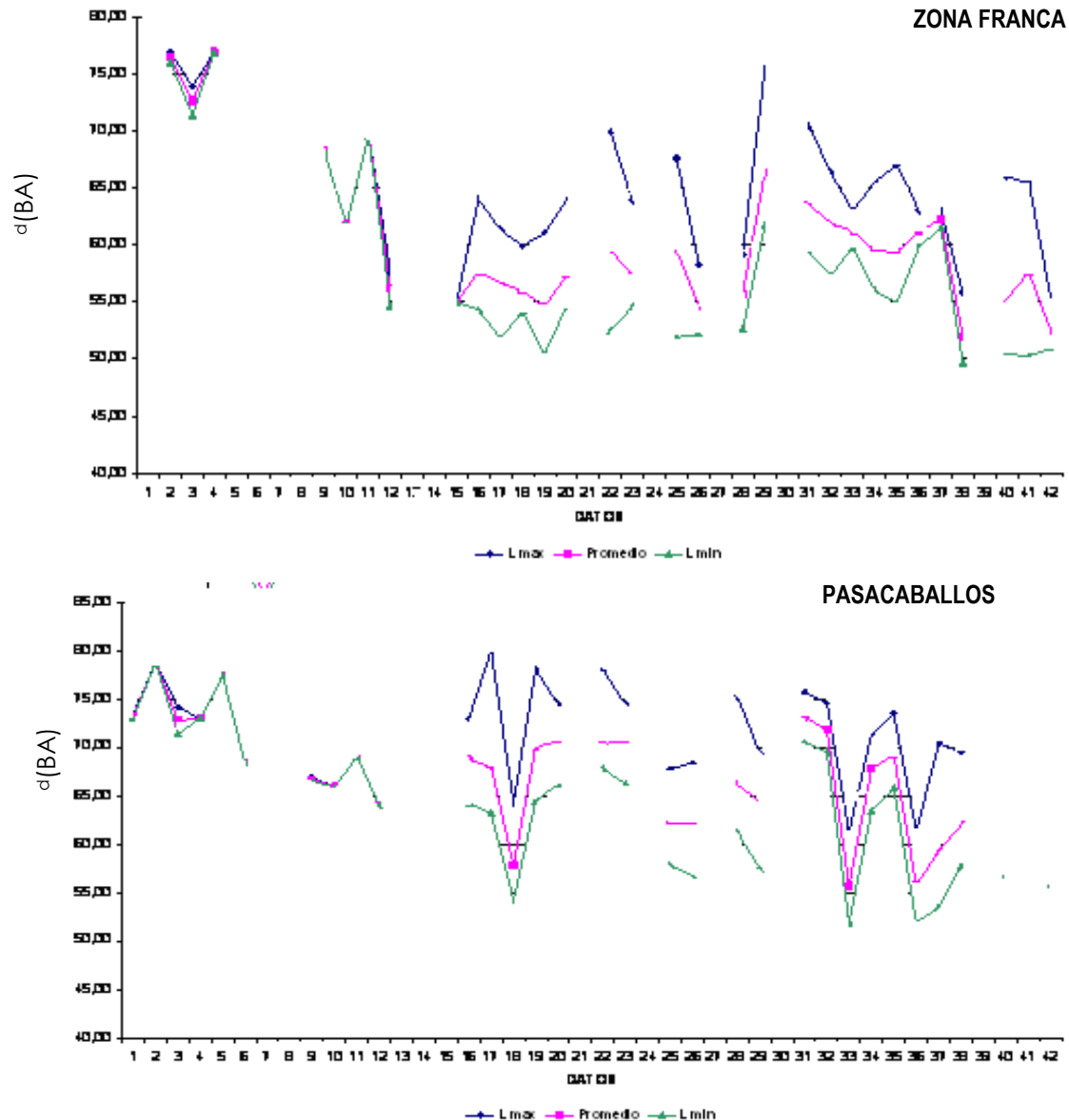


Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

3.2.9.3 Emisiones de ruido (caracterización Julio 2007)

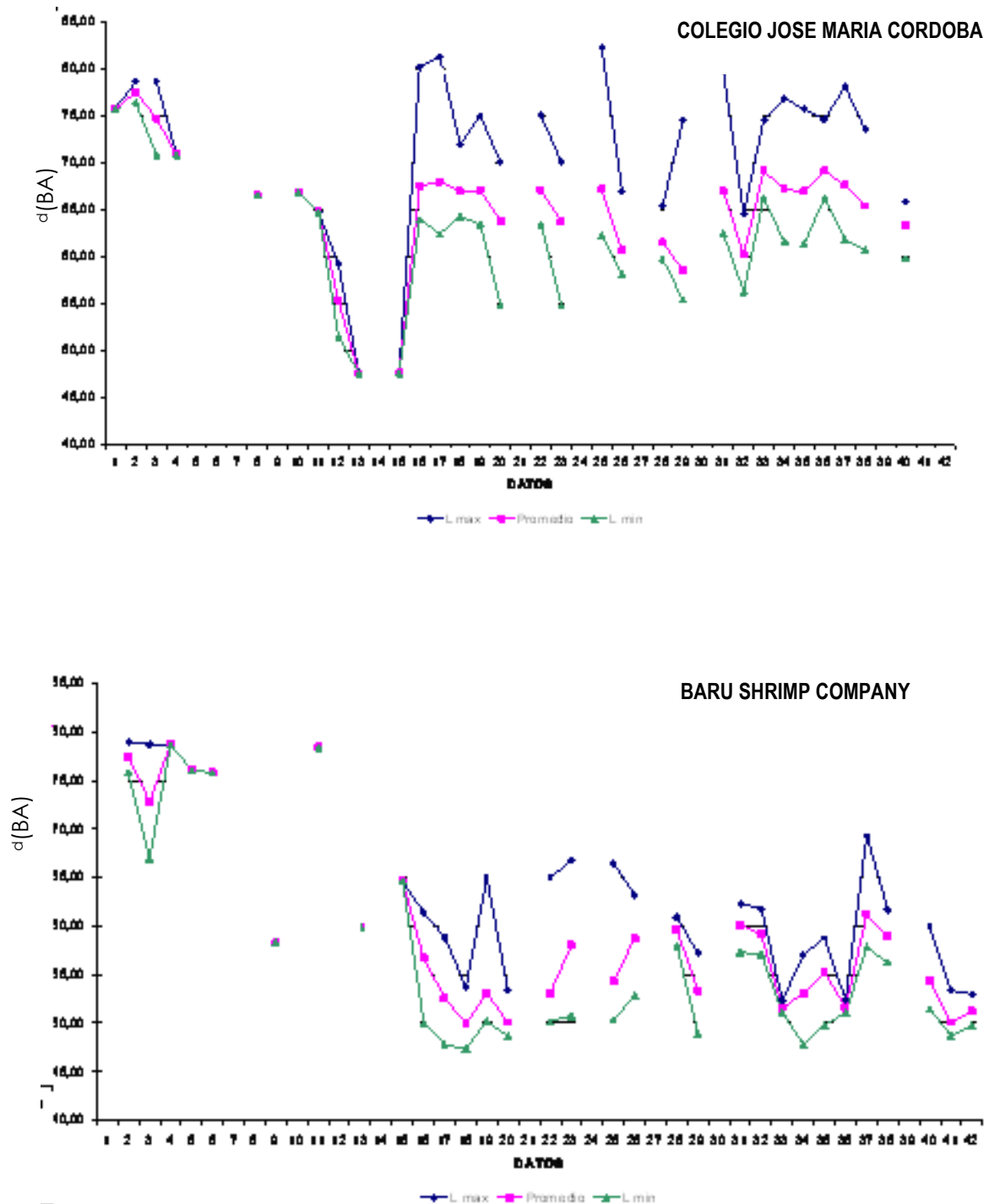
El monitoreo de ruido se llevó a cabo en el mes de julio de 2007, siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 1 – Generalidades. La Figura 3.2-53 y Figura 3.2-54 presentan los resultados de las mediciones sonoras realizadas durante el mes de julio de 2007.

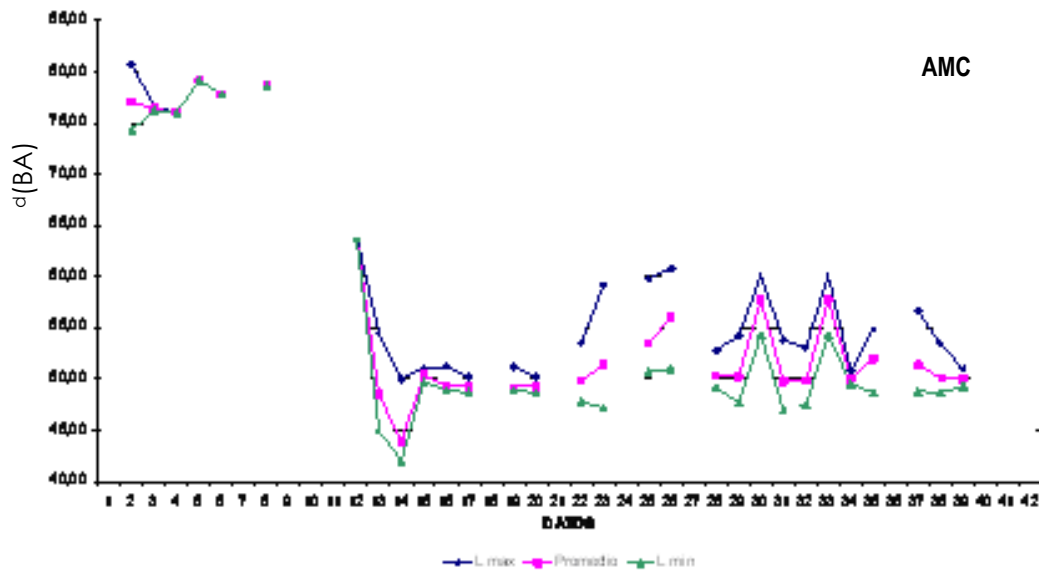
Figura 3.2-53. Resultados de las mediciones para zona franca y Pasacaballos



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Figura 3.2-54. Resultados de las mediciones para José María Córdoba, Barú Shrimp Company y AMC

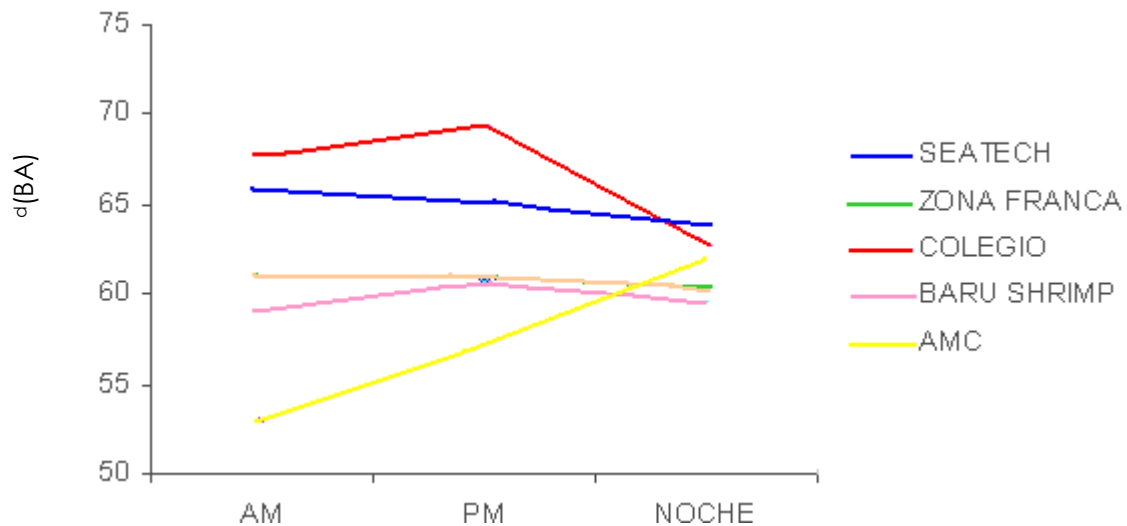




Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

La Figura 3.2-55 presenta el esquema comparativo de los resultados en los tres periodos de tiempo muestreados en cada una de las estaciones definidas.

Figura 3.2-55. Comparación entre estaciones para los tres intervalos horarios medidos



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

Resultados relevantes

De la medición realizada se destaca lo siguiente:

- El promedio de las mediciones realizadas en todas las estaciones cumple el requisito para zona industrial (< 80 dBA). La zona de estudio alrededor del proyecto está catalogada como suburbana por lo que se debe considerar este hecho al evaluar respecto a otros usos potenciales (comercial, industrial, etc)¹⁸.
- Las mediciones en la estación 2 en Zona Franca cumplen la norma establecida para el sector C.
- La estación 1 en SEATECH presenta picos que no cumplen la misma norma (75 dB). El promedio de las mediciones se ubica debajo de los 70 dB(A).
- La estación 3 en el Colegio José María Córdoba en Pasacaballos, no se cumple la norma de ruido para el periodo diurno en instituciones educativas (65 dB(A)). En las estaciones Barú Shrimp y AMC los registros son bajos (< 60 dB(A)), pues no hay mucha actividad generadora de ruido en la zona.
- Respecto a las variaciones en el periodo de medición (AM, PM, NOCHE) el ruido tiende a aumentar de la mañana a la noche en la estación AMC, mientras que en las demás se mantiene muy poca variación. En el colegio se nota un aumento ligero en el ruido respecto en las horas de la tarde respecto a la mañana. La Tabla 3.2-44 presenta el resumen comparativo entre estaciones y periodos horarios muestreados.

Tabla 3.2-44. Resumen ruido según estación y periodo

ESTACIÓN	PROMEDIO PERIODO, dB(A)		
	AM	PM	NOCHE
SEATECH	65,9	65,1	63,8
ZONA FRANCA	61,0	60,8	60,4
COLEGIO	67,7	69,5	62,9
BARU SHRIMP	59,0	60,7	59,5
AMC	53,0	57,2	62,0

Se destacan los valores máximos y mínimos absolutos.

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, 2007

3.2.10 Generalidades del paisaje del área de ubicación del proyecto

De acuerdo con el POTde 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

¹⁸ Resolución Número 0627, 07 ABR 06, MAVDT

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:

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.

- 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 mas 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 Fluviomarino

Dominado por la influencia del canal del Dique con apariencia fluviomarina. 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.

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 una zona de planicie. Como elementos modeladores se registran:

Naturales: está representado por la vegetación y el agua

- **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 se destaca como modeladora del paisaje es la Bahía, la cual tiene una gran extensión que llama la atención de cualquier persona sin excepción (Figura 3.2-56).

Artificiales:

- En cuanto a los artificiales, son obras construidas para la acuicultura, las cuales conservan vegetación subxerofítica que complementan el paisaje (Figura 3.2-57).

Figura 3.2-56. Paisaje bahía



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Figura 3.2-57. Paisaje artificial-cuerpos de agua



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Clasificación y calificación del Paisaje

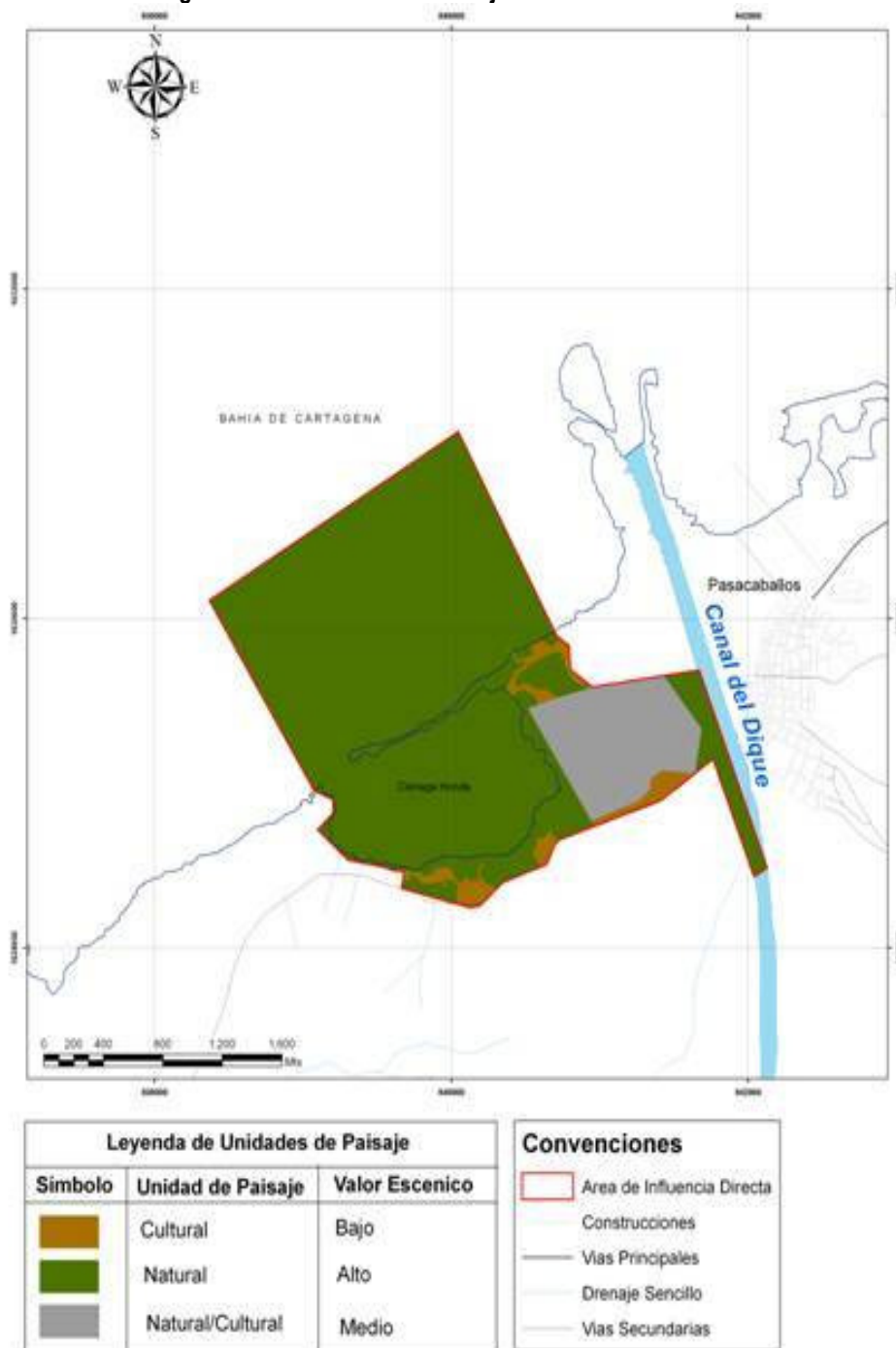
En la Tabla 3.2-45 se clasifican las unidades de paisaje para el área, de acuerdo a la metodología establecida y en la Figura 3.2-58 (ver Plano 3-7. Unidades de Paisaje Anexo Cartográfico), se plasman las diferentes unidades presentes en el área de influencia directa físico-biótica.

Tabla 3.2-45. 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 3.2-58. Unidades de Paisaje en el AID Físico-Biótica



Fuente: INCOPLAN S.A., 2009

Tabla de Contenido

3	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	3.1-1
3.1	Áreas de influencia	3.1-1
3.1.1	Área de influencia indirecta (AI)	3.1-1
3.1.2	Área de influencia directa (AID)	3.1-3
3.2	Medio abiótico.....	3.2-6
3.2.1	Geología	3.2-6
3.2.2	Geomorfología	3.2-15
3.2.3	Suelos.....	3.2-28
3.2.4	Hidrología.....	3.2-37
3.2.5	Calidad del agua	3.2-51
3.2.6	Usos del agua.....	3.2-64
3.2.7	Hidrogeología.....	3.2-65
3.2.8	Oceanografía	3.2-69
3.2.9	Atmósfera.....	3.2-84
3.2.10	Generalidades del paisaje del área de ubicación del proyecto	3.2-98