

INFLUENCIA DE LOS APORTES DE MATERIA ORGANICA EXTERNA Y AUTOCTONA EN EL DECRECIMIENTO DE LOS NIVELES DE OXIGENO DISUELTO EN LA BAHIA DE CARTAGENA, COLOMBIA

Jesús A. Garay Tinoco¹ y Luis N. Giraldo Ospina²

División de Estudios Ambientales Marinos, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena de Indias D. T. y C., Colombia

RESUMEN

Se ilustran en el presente artículo las variaciones estacionales del oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena, durante el período Febrero de 1996 - Abril de 1997. Uno de los resultados más sobresalientes es el hecho de haber identificado y cuantificado las fuentes alóctonas y autóctonas de contaminación que afectan la bahía de Cartagena, así como los diversos contaminantes que llevan consigo, entre los cuales la materia orgánica proveniente de dichas fuentes representa uno de los más importantes, porque afecta directamente uno de los parámetros fundamentales para la vida marina como lo es el oxígeno disuelto, creando zonas anóxicas en el fondo de la Bahía, principalmente durante la época lluviosa.

En términos generales, en una escala de priorización de fuentes de contaminación que afectan la Bahía, desde el punto de vista de los déficits de oxígeno que se presentan en el fondo, las más importantes por el aporte de carga orgánica son las aguas servidas de la ciudad y la demanda béntica. Sobre estas dos causas se deberán concentrar los esfuerzos de la ciudad para la recuperación de los ecosistemas de la Bahía.

ABSTRACT

On this article the seasonal variations of dissolved oxygen in the Bay of Cartagena from february 1996 thru April 1997 are presented. One of the most outstanding results is identifying of the external and the local sources of contamination affecting the Bay of Cartagena, and the diverse pollutants they carry with them, among which organic matter produced by such sources which represents one of the most important, since it affects directly one of the basic parameters for marine life such as dissolved oxygen, creating zones lacking in oxygen content at the bottom of the Bay, especially during the rainy season.

In general terms, the main sources of contamination affecting the bay in order of importance due to their organic load, considering the lack of oxygen found at the bottom, are the waters of the sewage system and the benthic demand. All efforts of the city to recover the ecosystems of the bay must concentrate on these two causes.

¹ Químico, aspirante a Master en Gestión Ambiental Desarrollo Sostenible, Pontificia Universidad Javeriana.

² Ingeniero Oceanólogo, Master en Ciencias Técnicas

1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Cartagena está localizada en la parte central del Caribe colombiano, entre latitud 10° 26' - 10° 16' Norte y longitud 75° 30' - 75° 36' Oeste (Figura 1), 1° 29' 01" del meridiano de Bogotá (Urueta y Piñeres, 1912; Múnera, A. 1947). Se considera por definición geológica una bahía (Schaus, S.H., 1974), sin embargo, tiene una significativa fuente de aguas fluviales provenientes del Canal del Dique, brazo del río Magdalena. Por éstas razones, en la actualidad se le da el calificativo de estuario. Tiene una superficie de 82 km² y una profundidad promedio de 16 m. Es el principal componente del ecosistema marino de Cartagena. Su origen se atribuye a la formación de barreras naturales de coral que se extendieron paralelamente a la costa y se consolidaron hacia finales del período Cuaternario Superior (Pagliardini, 1984).

El Canal del Dique, convertido desde hace tres siglos en un componente del sistema fluvial del río Magdalena, generó los más grandes cambios morfológicos en el recinto de la Bahía al introducir elementos sedimentológicos adicionales que muy rápidamente debilitaron la vida coralina en el interior del sistema. Con el tiempo la sobrecarga de partículas en suspensión, producto del arrastre fluvial, ocasionó la muerte de las formaciones coralinas del interior de la Bahía; el influjo de aguas de origen continental, un elemento nuevo dentro del contexto, obligó a que la Bahía comenzara a comportarse como un estuario típico en donde dominan condiciones de agua de mezcla. La presencia del manglar y los amplios rangos de variación de los parámetros ambientales, son testimonios concretos de este hecho (IDEADE, 1993).

La Bahía de Cartagena, al igual que los otros componentes del sistema hídrico de la ciudad (Ciénaga de la Virgen, los Caños y Lagunas Interiores), consolidan con el tiempo sus características y su comportamiento como estuarios costeros típicos, fundados en una elevada capacidad de producción y transferencia energética hacia los sistemas oceánicos. Sin embargo, en la actualidad son receptores de la mayor cantidad de tensores ambientales, como producto de la actividad residencial, industrial, marítima y portuaria, comercial, turística, así como por los aportes de sedimentos del Canal del Dique, además de las actuales descargas sanitarias de las mismas. Su condición general es progresivamente peor y el diseño y puesta en marcha de alternativas de manejo que permitan su aprovechamiento óptimo, son prioritarias dentro del desarrollo ambiental que requiere Cartagena.

Aunque en términos puntuales, y localizados algunos

problemas de contaminación del aire y del suelo, pueden estar adquiriendo características más o menos graves, es claro que el problema de mayor magnitud y gravedad está representado por la contaminación hídrica. Hay que señalar que este problema, además del impacto directo que tiene sobre la salud de la población, está comenzando a amenazar la sustentabilidad de actividades económicas de enorme potencial de desarrollo y beneficio para la población, como es el turismo que descansa principalmente sobre una base de recursos naturales costeros el cual debe conservarse evitando su contaminación y deterioro (CEPAL, 1992).

1.1 Fuentes de Contaminación

Se considera que las principales fuentes de contaminación que afectan la Bahía de Cartagena se dividen en: Directas (Externas), indirectas y autóctonas, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales Fuentes de Contaminación

FUENTES DIRECTAS (EXTERNAS)		FUENTES INDIRECTAS	FUENTES AUTOCTONAS
* Aguas servidas Urbanas	* Vertimientos de Buques	* Demanda Béntica (Sedimentos)	* Materia orgánica Muerta (fitoplácton)
* Descargas Industriales	* Lixiviados de Basuras		
* Canal del Dique	* Residuos Sólidos		

1.1.1 Aguas Servidas Urbanas

Las aguas servidas de la ciudad de Cartagena, de una población de aproximadamente 700.000 habitantes, alcanzan un volumen estimado de 123.425 m³ diarios (ACUACAR, 1996) y se vierten, en un 50% a la Ciénaga de la Virgen mediante un conjunto de alcantarillas enterradas y caños de drenaje a cielo abierto en la zona sur y suroccidental de la misma. El otro 50% se descarga a la Bahía de Cartagena (Tabla 2), especialmente a través de un emisario submarino de 800 m de largo frente a la isla de Manzanillo (Figura 2). En este último porcentaje se incluyen los vertimientos en los caños, lagos y lagunas de la ciudad.

Esta es la principal fuente de materia orgánica externa a la Bahía de Cartagena, la cual en términos de DBO₅ alcanza un total de 16 Ton/día, así como 1.17 Ton/día de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo (Tabla 2).

1.1.2 Vertimientos Industriales

De acuerdo con datos de 1995 de la Cámara de Comercio de Cartagena, existen unos 620 establecimientos comerciales, de los cuales, según CARDIQUE (1996), 29

significativos. Todos están ubicados en la costa oriental de la Bahía de Cartagena (Figura 2), hacia la que se vuelcan, el 100% de los efluentes industriales, y algunos sin previo tratamiento. Además de Mamonal, en la zona nororiental de la Bahía, son importantes las descargas de las pequeñas industrias (talleres mecánicos, servitecas, pinturas, muebles, gaseosas, etc), cuyos vertimientos no se han cuantificado pero que pueden ser de importancia.

Según CARDIQUE (1996), la industria, con un caudal de 1'364.132 m³/día, aporta 6.02 Ton/día de la carga de materia orgánica externa que recibe la Bahía (Tabla No.2), 3.9 Ton/día de nutrientes (nitrógeno y fósforo), buena parte de los residuos de aceites, combustibles y fertilizantes que llegan a la misma y la mayor parte de los vertimientos típicamente industriales como carbonatos, amoníaco, fenoles, aguas calientes, etc.

1.1.3 Canal del Dique

El Canal del Dique aprovecha un conjunto de ciénagas y antiguos cauces del río Magdalena, para llegar al sur de la Bahía de Cartagena, partiendo desde Calamar, a 115 Km. de distancia (Figura 2).

El caudal de agua aportado por el Canal del Dique está en estrecha relación con los períodos de lluvia y seco que afectan al río Magdalena, presentando en términos generales sus máximos aportes de mayo a junio y de octubre a noviembre y los mínimos de febrero a marzo y de agosto a septiembre. Los aportes promedio del Canal a la Bahía han sido cuantificados como un caudal promedio de 8.64 millones m³/día; una DBO de 9.5 Ton/día; 5,7 Ton/día de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y sólidos en suspensión de 2957 Ton/día (Tabla 2).

El Canal del Dique ha cambiado profundamente todo el sistema acuático de la Bahía de Cartagena transformándola de una Bahía de arrecifes coralinos con aguas de mar claras, a un estuario con grandes aportes de agua dulce y de materiales en suspensión que alteran estacionalmente la salinidad, la oxigenación y numerosos parámetros físicos y biológicos de la misma.

1.1.4 Derrames de Buques y Operaciones de Muelles

Cartagena es uno de los puertos más importantes del Caribe colombiano; actualmente, según estudios del CIOH, (Garay, 1995) existen en el puerto 56 muelles entre oficiales y privados, muchos de ellos son petroleros y otros con facilidades para la carga y descarga de combustibles y productos químicos. También existen muelles de carga general y contenedores, cabotaje,

petroleros, químiqueros, pesqueros, turismo, recreación, astilleros, servicios y marinas, granel sólido y actividades varias.

En el Puerto de Cartagena, en promedio se movilizan 5042 embarcaciones al año mayores de 100 trb, de las cuales 1105 (22%) corresponden a servicios, 1453 (29%) a cabotaje, 1598 (32%) a buques de navegación internacional y 886 (17%) a buques de pasajeros (cruceiros).

Con un tráfico marítimo de esta envergadura es previsible que se enfrenten problemas de contaminación por la operación de buques y muelles, sea por: **a)** fallas en las operaciones de carga y descargas de buques, **b)** por existencia de instalaciones portuarias inadecuadas para recepción de residuos líquidos y sólidos de buques y, **c)** por vertimientos voluntarios e involuntarios de residuos líquidos (sentinas, slops, lodos semisólidos, lastres, combustibles, aguas sucias, etc,) de los buques fondeados o en movimiento.

1.1.5 Fuentes Autóctonas

Los episodios de eutroficación que con frecuencia suceden en la Bahía, por el enriquecimiento del medio con nutrientes, generan procesos acelerados de producción de fitopláncton y algas en cantidades significativas, los cuales mueren rápidamente y se depositan en el fondo, convirtiéndose en materia orgánica muerta, la cual se suma a la proveniente de fuentes externas que, al oxidarse a expensas del oxígeno del medio, produce impactos negativos en los ecosistemas de la Bahía, entre los que se cuenta la generación de zonas anóxicas en el fondo de la misma.

1.1.6 Fuentes Indirectas

Los lodos depositados en el fondo de la Bahía durante largos períodos, constituyen una fuente indirecta de contaminación, dado que al oxidarse la materia orgánica, su principal constituyente, genera lo que se ha denominado como "demanda béntica", proceso en el cual hay una estrecha interrelación entre los sedimentos superficiales y la columna de agua, consumiéndose el oxígeno disponible de ésta última y generando impactos negativos al ecosistema.

1.1.7 Otras Fuentes de Contaminación de la Bahía

Existen otras fuentes menores de contaminación de las aguas de la Bahía de Cartagena, entre estos, los residuos de agroquímicos que llegan a través de una serie de caños y arroyos que atraviesan zonas agrícolas. Así mismo, el Canal del Dique aporta una carga significativa de

agroquímicos.

Los residuos sólidos (basuras) arrojados al agua, los cuales representan aproximadamente entre 50-100 toneladas por día y los lixiviados del botadero de basuras y el relleno sanitario de Cartagena, constituyen una importante fuente de contaminación tanto para la Bahía, como para

estos, el oxígeno disuelto (O.D) y la DBO₅. La Demanda Béntica (DB) sólo se efectuó en algunas estaciones.

Desde Abril de 1996 a Junio de 1997, se llevaron a cabo cuatro campañas de campo cubriendo todas las estaciones preestablecidas, así mismo, siete muestreos parciales

Tabla 2. Cargas Aportadas por las Fuentes de Contaminación de Residuos Líquidos a la Bahía de Cartagena. 1996 - 1997

Parámetros	CARGAS 1996-1997				TOTAL
	Aguas Servidas Urbanas	Vertimientos Industriales	Canal del Dique	Lixiviados de Basureros	
Caudal, M³/Día	60.525	1'364.111	8'640.000	833	10'064.636
DBO₅ Ton/Día	16.2	6.04	9.5	0.26	31.74
Nitrógeno, Ton/Día	0.73	3.73	2.5	0.073	6.96
Fósforo, Ton/Día	0.44	0.17	0.4	0.001	1.01
Sólidos Susp. Ton/Día	11.1	39.3	2957	0.004	3007
Aceltes y Gras. Ton/Día	—	0.83	—	—	0.83

Fuentes CIOH (1996-1997), ACUACAR (1996) y CARDIQUE (1996)

Caños, Lagunas y la Ciénaga de la Virgen.

2. METODOLOGIA

La selección y número de estaciones (Figura 1), se efectuó atendiendo estudios anteriores previamente revisados y la necesidad de localizar puntos de muestreo representativos para ser usados en el modelo de calidad de aguas de la Bahía, implementado en el marco del proyecto de Bahías y Zonas Costeras fuertemente contaminadas UNOPS - CIOH. Para la selección final se tuvieron en cuenta los siguientes factores: Influencia de las corrientes marinas, afluentes, efluentes industriales, desagües domésticos, influencia del tráfico marítimo, actividades humanas, accidentes geográficos y escorrentías, entre otros.

Se seleccionaron 23 estaciones de muestreo (Figura 1), en cada una de las cuales se colectaron muestras de agua a tres profundidades, superficie (0.5 m), media profundidad (8 m) y fondo (1 m arriba del fondo), a las cuales se les realizaron análisis físico-químicos, entre

cubriendo sólo siete estaciones de las 23, con el fin de verificar tendencias en las diferentes épocas, mediante medidas "in situ".

Los análisis de oxígeno disuelto y la DBO₅, se realizaron siguiendo los métodos recomendados en el Manual de Técnicas de Análisis del CIOH (Garay, 1993), el cual se basa en el método tradicional de Winkler, modificado por Carpenter (1966). La DB se llevó a cabo en siete estaciones de sedimentos, siguiendo las recomendaciones de las técnicas de análisis de Bowman y Delfino (1980), con las adaptaciones y modificaciones hechas en los laboratorios del CIOH.

3. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

Los resultados tanto para oxígeno disuelto, como para la demanda béntica se consignan en las tablas 3 y 4 respectivamente. De la misma forma sus distribuciones horizontales en las Figuras 3, 4, 5 y 6.

A nivel superficial, el contenido de oxígeno disuelto varía

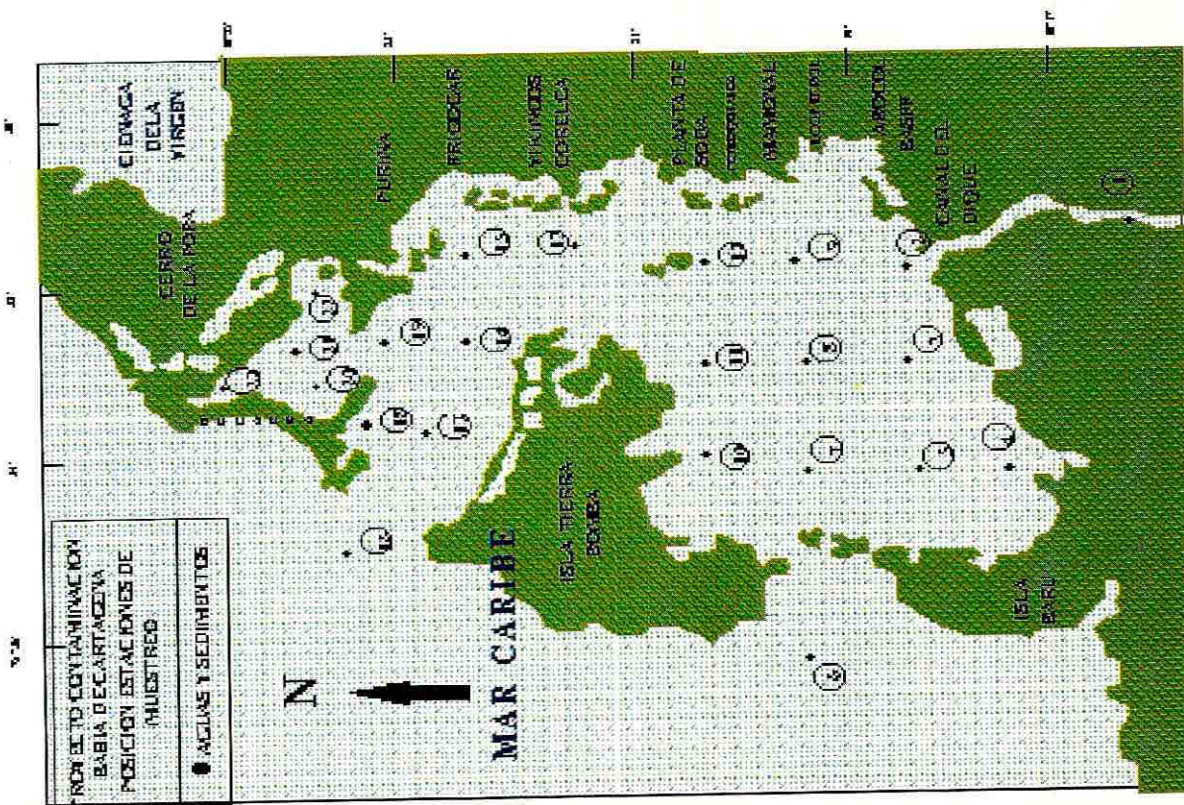


Figura 1.

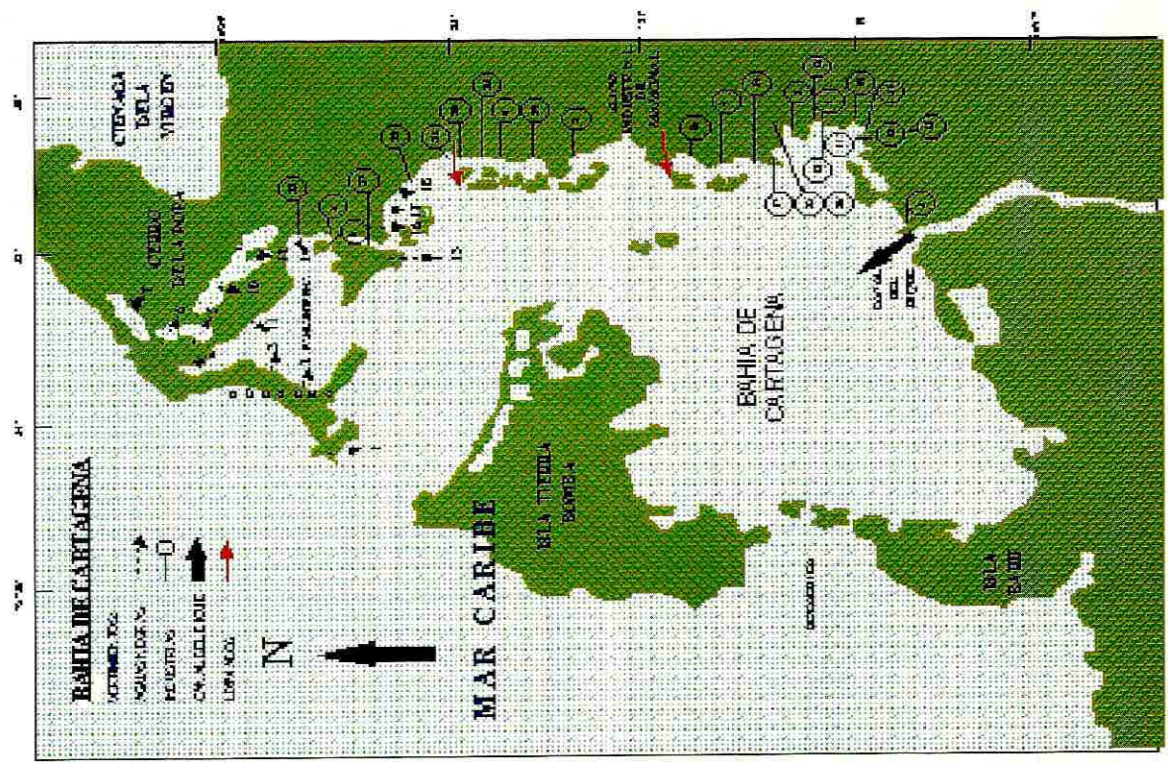


Figura 2. Bahía de Cartagena, principales vertimientos

entre límites estrechos a través de toda la Bahía, con rangos promedio entre 3.4 - 5.8 ml/l para la época seca (Diciembre-Abril) y de 3.8 - 6.2 ml/l para la época de invierno (Mayo-Noviembre) (Figura 3). Se observa que los valores superiores están en los límites de saturación, debido a que en las capas superficiales el intercambio de oxígeno con la atmósfera es intenso, tendiendo a establecerse un equilibrio con ésta (Tait, R.V., 1971), ya que los procesos de difusión hacia o desde el mar se ven favorecidos por los vientos, las corrientes y el oleaje imperante durante la mayor parte del año, lo que finalmente incrementa los niveles de este parámetro en las capas superficiales. Así mismo, una rápida fotosíntesis produce una sobresaturación, que entre otros, es uno de los factores limitantes en la producción y distribución de oxígeno disuelto, principalmente en las capas superficiales donde la iluminación solar tiene mayor influencia (Davies, D. y Vanse, R., 1975). Así mismo, este comportamiento es típico de sistemas eutroficados, donde se produce tanto oxígeno durante el día por procesos fotosintéticos que se llega a la sobresaturación en las capas superiores, mientras que en las noches decae por muerte y descomposición del fitoplácton y procesos de respiración. Esta es una de las razones que conducen a considerar la Bahía de Cartagena como un cuerpo en avanzado estado de eutroficación.

Los niveles más bajos de oxígeno a nivel superficial, durante la época seca, se presentan en la zona comprendida entre Castillogrande y El Laguito y en la mayor parte de la bahía interna, con valores entre 3.4 a 3.6 ml/l (Figura 3a), debido a la alta disponibilidad de materia orgánica proveniente de los emisarios de aguas negras, produciéndose importantes procesos de descomposición, con el consiguiente consumo de oxígeno. Así mismo, la zona de influencia a la desembocadura del Canal del Dique, también presenta bajos niveles de oxígeno, con valores promedio de 3.5 ml/l, debido principalmente a que la turbidez imperante disminuye significativamente los procesos fotosintéticos, como también al continuo aporte de materia orgánica que consume oxígeno en su proceso de oxidación. Durante la época húmeda (Figura 3b), los mínimos se presentan en la zona de influencia del Canal del Dique y frente al área central de Mamonal, con valores promedio que fluctúan entre 3.8 a 4.0 ml/l, como consecuencia principalmente de la turbidez imperante y la poca penetración de la iluminación solar. Para esta época el aporte de sedimentos del Canal del Dique es particularmente importante, cerca de 2950 Ton/día.

A nivel de media profundidad (8 m), las concentraciones

de oxígeno disminuyen a un rango de 2.7 - 4.1 ml/l para la época seca (Figura 4a) y entre 1.6 - 4.6 ml/l durante la época de invierno (Figura 4b), encontrándose las concentraciones más bajas para las dos épocas en la bahía interna, donde el aporte de materia orgánica por parte de los cinco emisarios de aguas servidas urbanas de la ciudad (No. 2, 3, 4, 11 y 14), es particularmente importante. Así mismo, el confinamiento del área debido a su topografía no permite un efectivo intercambio de sus aguas por el lento movimiento de éstas y el escaso intercambio de oxígeno con las capas superiores por la eutroficación; así mismo, la poca luminosidad no permite procesos fotosintéticos significativos.

Otra zona de la Bahía con bajas concentraciones de oxígeno a este nivel de profundidad, es la de influencia de la desembocadura del Emisario Submarino Principal de Cartagena (No.13) y de los tres Canales Abiertos (No. 16, 17 y 18), al sur de la Isla Manzanillo, que aunque desemboca a 20 metros de profundidad, el cono que forman las aguas servidas dulces de más baja densidad al irse desplazando hacia la superficie, va dejando materia orgánica disponible en suspensión, la cual se degrada a expensas del oxígeno del medio, procesos que parecen ser más intensos desde las capas intermedias hacia el fondo. A estos niveles de profundidad, los procesos fotosintéticos son casi nulos por la falta de iluminación solar y por la estratificación dominante, que no permite intercambio con las capas superiores.

A nivel de fondo (1 m arriba del fondo), los valores promedio de oxígeno disuelto en toda la Bahía alcanzan los mínimos durante las dos épocas del año, con valores promedio de 1.1 - 4.0 ml/l para la época seca (Figura 5a) y de 0.2 - 4.5 ml/l para el invierno (Figuras 5b). A esta profundidad las concentraciones de oxígeno disuelto, en la mayor parte de la Bahía, disminuyen hasta niveles mínimos, como consecuencia del lento movimiento de sus masas de agua y deficiente renovación, mínimo intercambio con las capas superiores, inexistencia de procesos fotosintéticos y máxima actividad de los procesos de oxidación de materia orgánica a expensas del poco oxígeno disponible, creando condiciones anóxicas en la mayor parte del fondo del ecosistema, especialmente en la Bahía Interna y en la zona de influencia del Emisario Submarino de Cartagena, donde se vierten la totalidad de los 60525 m³/día de aguas servidas, que aportan una carga orgánica de 16.2 Ton/día (Garay, 1996).

El déficit de oxígeno en el fondo de la Bahía es particularmente importante durante la época húmeda

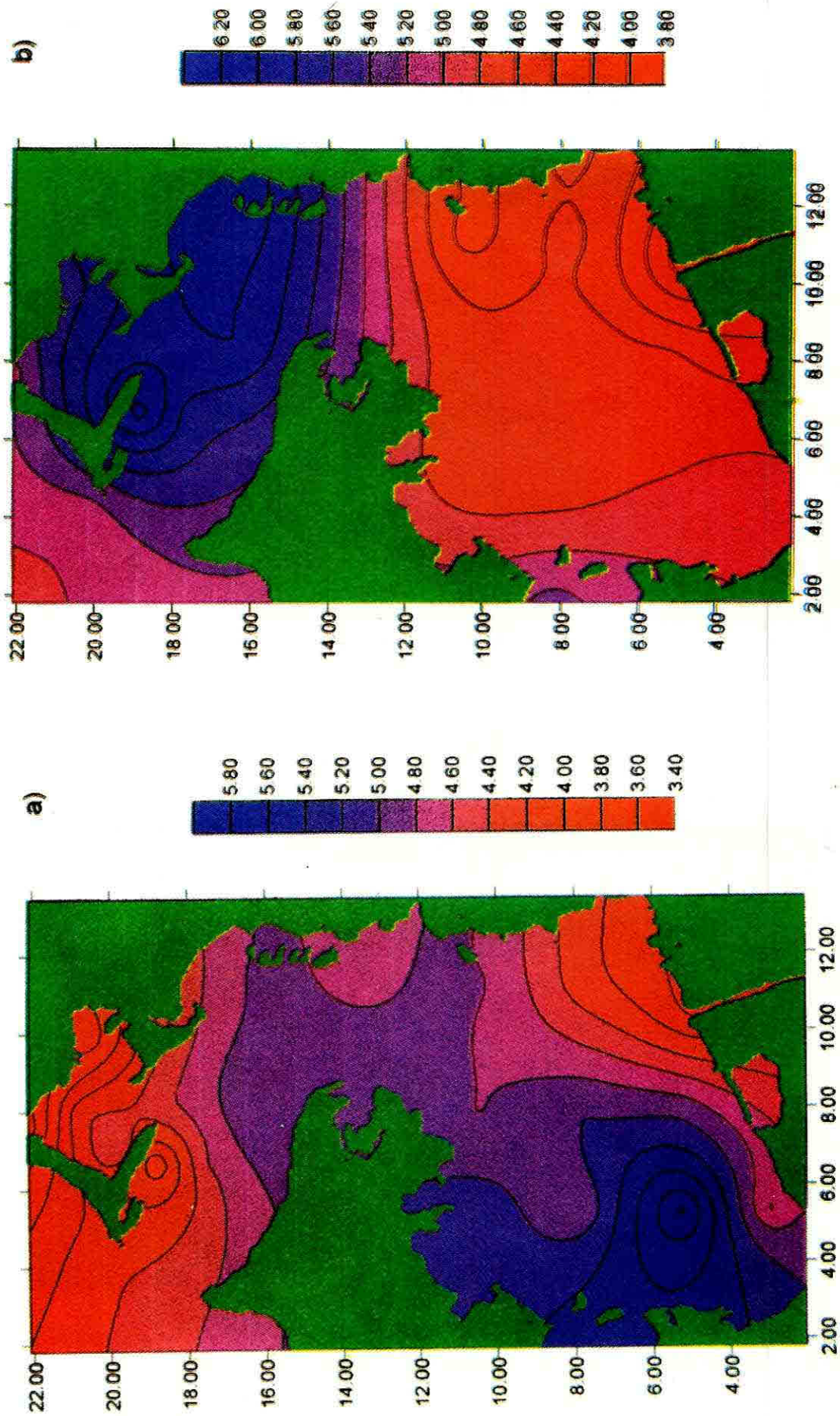


Figura 3. Oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena en superficie durante las épocas seca a) y húmeda b)

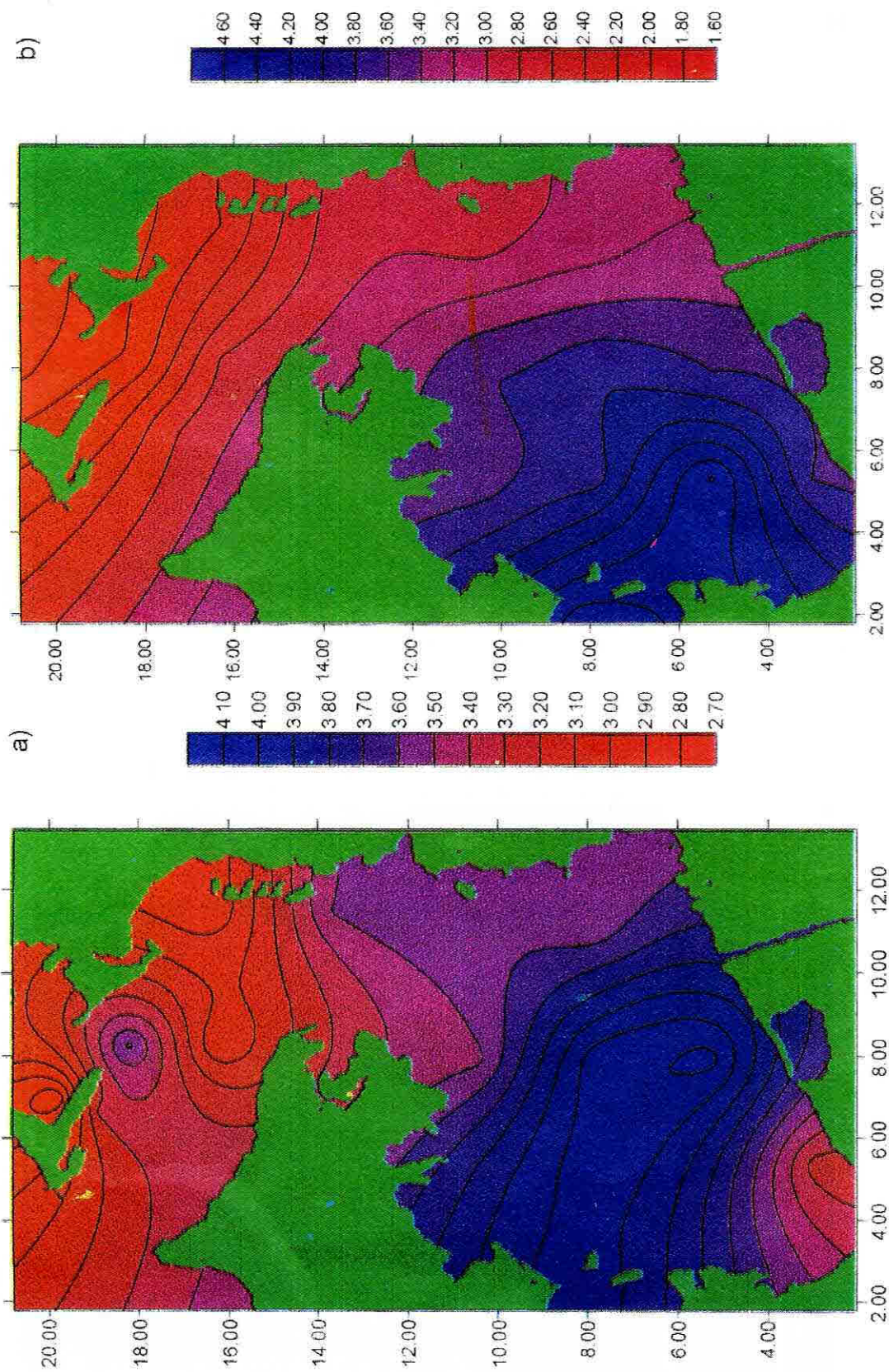


Figura 4. Oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena durante las épocas seca a) y húmeda b) a los 8.0 metros de profundidad.

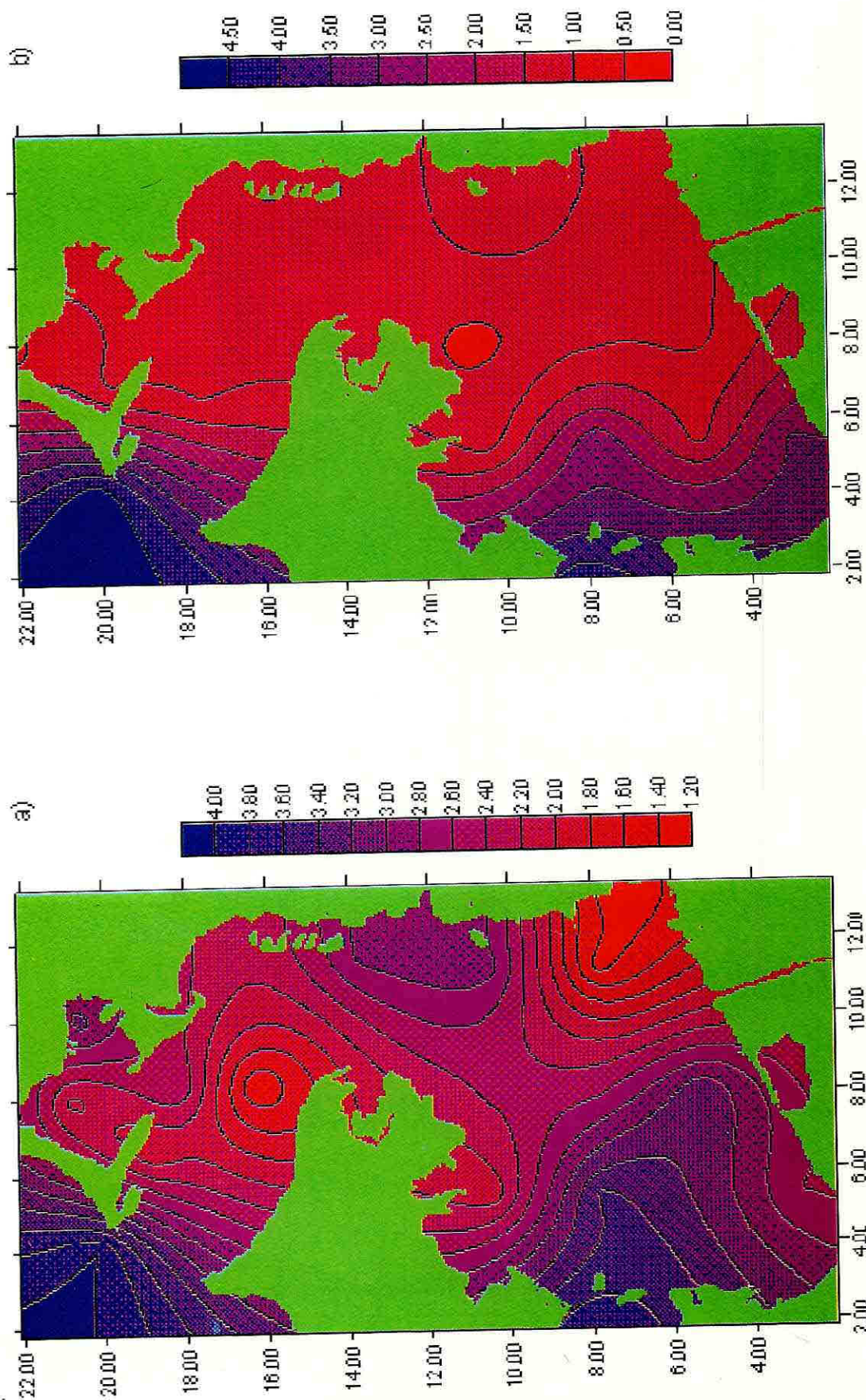


Figura 5. Oxígeno disuelto en el fondo de la Bahía de Cartagena durante las épocas seca a) y húmeda b).

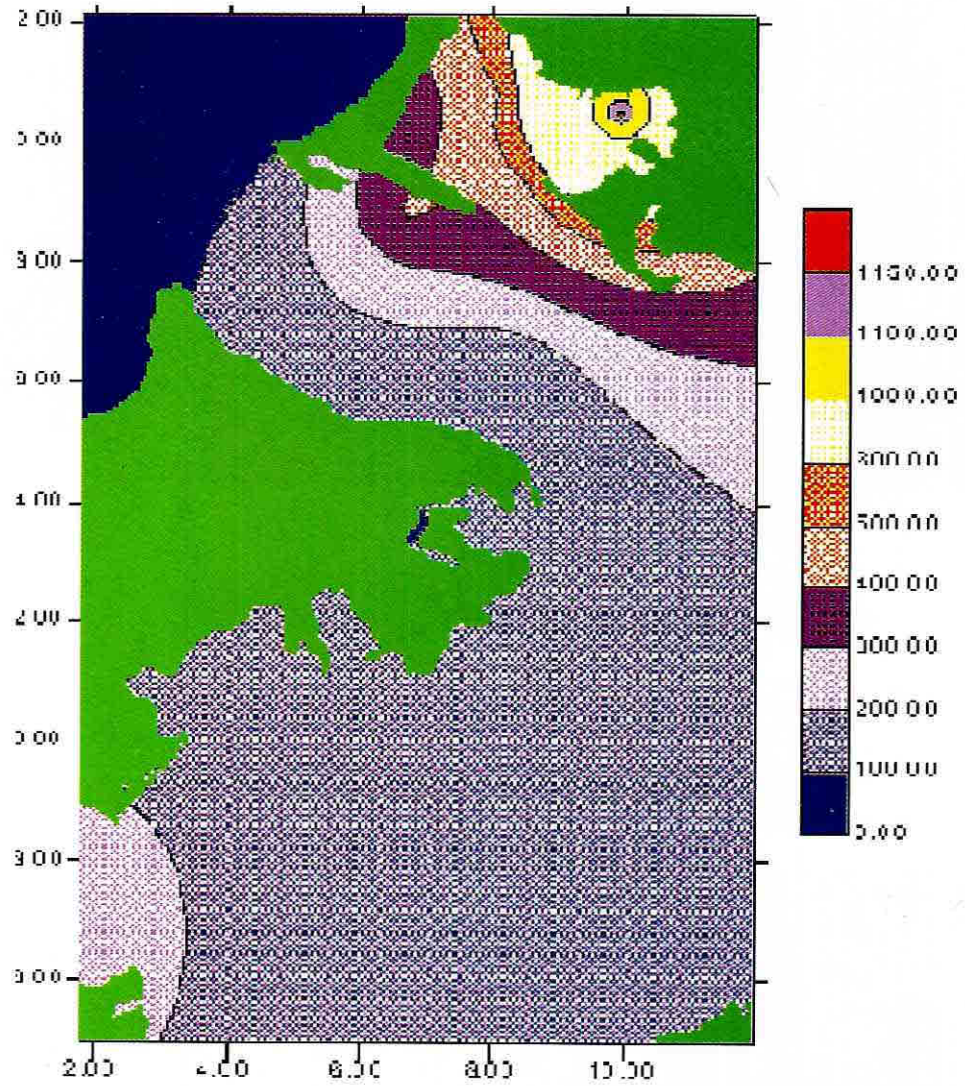


Figura 6. Demanda béntica en la Bahía de Cartagena durante la época seca (mg/m²/día).

(Figura 5b), donde la mayor parte de ésta presenta niveles de concentración entre 0 y 0.5 ml/l, los más bajos del ciclo anual. A este nivel de profundidad no solamente son importantes los aportes de materia orgánica provenientes de los vertimientos de aguas servidas urbanas, de los industriales y del Canal del Dique, si no también la que está disponible en el fondo, en los sedimentos superficiales y que se encuentra en continuo intercambio con la columna de agua, contribuyendo al consumo del escaso oxígeno disuelto, denominada "Demanda Béntica". Esta es la fuente indirecta de contaminación más importante que afecta la mayor parte del fondo de la Bahía de Cartagena, con valores que varían entre 100 hasta 1150 mg/m²/día (Figura 6). Los valores máximos para la demanda béntica se localizan en la zona oriental de la Bahía Interna y en el área de influencia del Emisario Submarino Principal de Cartagena, coincidiendo con los mínimos valores para el oxígeno disuelto.

Existe así mismo otra fuente que aporta importantes cantidades de materia orgánica muerta a la Bahía de Cartagena, y es la referente al plancton muerto debido a los episodios de eutroficación que se presentan diariamente en la misma (fuente autóctona), como consecuencia del excesivo aporte de nutrientes del nitrógeno y fósforo provenientes de los vertimientos de aguas servidas urbanas, industriales y del Canal del Dique (Tabla 2), cuyas cargas han sido calculadas en aproximadamente 8 Ton/día. Durante el día, el fitoplancton de la Bahía crece rápidamente a expensas de los nutrientes disponibles, generando procesos fotosintéticos rápidos, con el consiguiente aumento de las concentraciones de oxígeno en las capas superficiales, mientras que al llegar la noche, muere el fitoplancton y se va depositando en el fondo por precipitación natural, aportando así más materia orgánica que por oxidación contribuye significativamente al consumo de oxígeno a este nivel.

Se observa, entonces, que el comportamiento del oxígeno disuelto en el fondo de la Bahía es un proceso cíclico, determinado por los siguientes factores:

- Durante la época seca, el movimiento más intenso de masas de agua, tanto en la horizontal como en la vertical, la significativa renovación, el mayor intercambio con las capas superiores debido al permanente oleaje y la baja estratificación, permiten que las concentraciones promedio de oxígeno en el fondo se mantengan en aproximadamente 2.6 ml/l, sin llegar en ningún sitio a cero, siendo las zonas más afectadas la Bahía Interna y el área de influencia del Emisario Submarino de Cartagena.

- En época de transición, la concentración de oxígeno en el fondo disminuye hasta, aproximadamente, 1.0 ml/l en casi toda la zona, con algunos sitios menores de 1 ml/l, a consecuencia de la dificultad que empiezan a tener los procesos de intercambio con las capas superiores por el inicio de los procesos de estratificación y la baja fotosíntesis debido a la turbidez y a la menor renovación de sus masas de agua.

- Finalmente, en época húmeda, se presentan las más bajas concentraciones de oxígeno del ciclo anual, con valores promedio que en un 50% del área de la Bahía, son de aproximadamente 0.5 ml/l, como consecuencia de los siguientes fenómenos: la estratificación reinante, que no permite el intercambio con las capas superiores, la turbidez en las capas superiores y el bajo intercambio con la atmósfera. De la misma forma, se incrementan al máximo los procesos de oxidación de materia orgánica proveniente de los vertimientos de aguas servidas urbanas, muerte y descomposición de fitoplancton, debido a los episodios de eutroficación y el efecto causado por la demanda béntica de los sedimentos, encontrándose en su mínimo los procesos fotosintéticos.

Según otros estudios realizados por el CIOH (Garay, 1981; Pagliardini, 1984) y FONADE (CRPDNB, 1983), para los meses de Enero y Febrero, época en que los vientos Alisios se encuentran en su máxima intensidad, donde los procesos de renovación de aguas y el intercambio turbulento se ven favorecidos, con mínima influencia de las aguas del Canal del Dique, se registran altas concentraciones de oxígeno disuelto en las capas profundas de la Bahía, con valores promedio que oscilan entre 3 y 4 ml/l. Este comportamiento se repite en ciclos anuales. Para la época de transición sus niveles descienden a valores intermedios entre 1.5 y 3.0 ml/l y para la época húmeda se alcanzan los mínimos, llegando en algunas zonas a valores cercanos a cero.

Del anterior análisis se deduce, que aunque el efecto producido por el aporte de materia orgánica proveniente de las aguas servidas urbanas, de los vertimientos industriales, del Canal del Dique, de los episodios de eutroficación y de la demanda béntica, son los que causan los más importantes decrementos de las concentraciones de oxígeno disuelto, principalmente en las capas del fondo; éstos se ven favorecidos durante la época de invierno por la estratificación que presenta la Bahía a consecuencia de la repartición de las aguas dulces provenientes del Canal del Dique, cuando se presentan los procesos anóxicos más importantes del ciclo anual y la concentración de oxígeno disuelto se reduce al mínimo

en la mayor parte del ecosistema.

4. CONCLUSIONES

• Según los resultados obtenidos en el presente trabajo, así como los reportados en otros, las principales fuentes de contaminación que afectan la Bahía, por el decrecimiento de los niveles de oxígeno disuelto, especialmente debido a los aportes de materia orgánica, son en orden de importancia :

- * Vertidos de aguas servidas urbanas de la ciudad de Cartagena,
- * Demanda béntica del fondo de la Bahía,
- * Aportes del Canal del Dique,
- * Vertidos de las industrias de la zona de Mamonal,
- * Materia orgánica muerta (fitoplancton) generada durante los episodios de eutroficación y,
- * Escorrentías varias, incluidos los lixiviados del basurero municipal y el relleno sanitario.

• El área más afectada de la Bahía de Cartagena, en relación con el déficit de oxígeno disuelto, comprende el fondo, tanto de la Bahía Interna, como de la zona de influencia del Emisario Submarino de la ciudad, alcanzando durante el invierno, los valores más críticos, alrededor de 0.5 ml/l.

• Aunque el efecto producido durante todo el año por el aporte de materia orgánica proveniente de las aguas servidas urbanas, de los vertimientos industriales, del Canal del Dique, de los episodios de eutroficación y de la demanda béntica, son los causantes de los más importantes decrecimientos de las concentraciones de oxígeno disuelto, principalmente en las capas del fondo. Es de notar que durante la época de invierno éstos se ven favorecidos por los fenómenos de estratificación que presenta la Bahía, por el efecto de la repartición de las aguas dulces provenientes del Canal del Dique sobre las capas superiores de la misma, generando los procesos anóxicos, que reducen la concentración de oxígeno disuelto a niveles mínimos en la mayor parte del ecosistema.

• En términos generales, en una escala de priorización de fuentes de contaminación que afectan la Bahía, desde el punto de vista de los déficit que se presentan en el fondo, las más importantes por el aporte de carga orgánica son las aguas servidas de la ciudad y la demanda béntica. Sobre estas dos causas se deberán concentrar los esfuerzos de la ciudad para la recuperación de los ecosistemas de la Bahía.

Agradecimientos: El presente artículo hace parte de los resultados del proyecto "Estudio de la Contaminación por Plaguicidas, Hidrocarburos y Eutroficación en Lagunas Costeras del Caribe Colombiano. Cuerpos de Agua de Cartagena", desarrollado por la División de Estudios Ambientales del CIOH durante el período 1996-1997, financiado por la Dirección General Marítima, DIMAR. De la misma forma, del Programa Internacional de Naciones Unidas (UNOPS), "Planificación y Manejo de Bahías y Areas Costeras Fuertemente Contaminadas del Gran Caribe. Caso de Estudio Bahía de Cartagena", de quienes se recibió apoyo financiero.

Participaron además del CIOH, el Instituto de Investigaciones Marinas de Santa Marta, INVEMAR; la Corporación Autónoma Regional para el Canal del Dique, CARDIQUE; la Dirección Administrativa del Medio Ambiente de la Alcaldía de Cartagena, DAMARENA; Aguas de Cartagena, ACUACAR y las Universidades de Cartagena y Atlántico, a quienes se les reconoce su participación.

Los autores hacen extensivo este reconocimiento a todos los profesionales, tecnólogos, personal técnico, tesisistas, secretarías y a los auxiliares de laboratorio y campo, del C.I.O.H. que de una u otra forma participaron en la ejecución del proyecto.

5. BIBLIOGRAFIA

ACUACAR. Informe Preliminar sobre Vertimientos de Aguas Servidas Urbanas de la Ciudad de Cartagena a la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de la Virgen. Cartagena. Sin Publicar. 1996.

Bowman, G.T. y J.J. Delfino, Sediment Oxygen Demand Techniques a Review and Comparison of Laboratory and In situ Systems. *Water Research*, 14: 491-499, 1980.

CARDIQUE. Informe Preliminar sobre Contaminación de Fuentes Industriales a la Bahía de Cartagena. Cartagena Sin Publicar. 1996.

CEPAL. Plan Básico para la Gestión Ambiental del Distrito de Cartagena de Indias, Cartagena, Colombia. 117p. Informe. 1992.

Consultores Generales Asociados. Estudio Integral del Control de la Contaminación de la Bahía de Cartagena y sus Areas de Influencia. CRPDNB. FONADE. Tomos I y II. Cartagena. 1983.

Davies, D. y R.I. Vance, Determination of Dissolved Oxygen. *Chemistry*, 48(2). pp: 25-28. 1975

Garay, T. J. A. y M.E.A. Jurado, Contribución al Estudio Oceanográfico Químico de la Bahía de Cartagena. Tesis de Grado. Dpto de Química. Universidad Nacional de Colombia. DIMAR/CIOH. Bogotá. 1981.

Garay, T. J. A. Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos. DIMAR/CIOH/CCO/Fundación Mamonal. Bogotá. 109p, 1993.

Garay, T. J. A., Estado actual de los Muelles del Puerto de Cartagena en cuanto a facilidades de Recepción de Residuos provenientes de buques de acuerdo a MARPOL 73-78. *Bol. Cient. CIOH* No. 14. pp: 47-66. 1993.

Garay, T.J.A. Estimación de los Residuos Oleosos y Basuras Provenientes de los Buques en el Puerto de Cartagena de Indias. Estudio Preliminar sobre Instalaciones de Recepción Necesarias. Cartagena.. 70p, 1995.

Garay, T.J.A. Informe Final Proyecto "Contaminación por Hidrocarburos , Plaguicidas y Eutroficación en Lagunas Costeras del Caribe Colombiano". Fase II - Cuerpos de Agua de Cartagena. CIOH. 1996.

IDEADE. Cartagena Ambiente y Desarrollo. Consideraciones para una Gestión Integral. Universidad Javeriana-Colciencias-OEA, Bogotá. 110p. 1993.

Memorias Seminario - Taller. Desarrollo Ambiental de Cartagena. Pontificia-Universidad Javeriana-Colciencias-OEA. 429 p. 1992.

Ivannof, A. Introduction a L'Océanographie. Tome I. París. 19p. 1972.

Ministerio de Salud. Disposiciones Sanitarias sobre Aguas. Decreto 1594 de 1984. 100p. 1984.

Pagliardini, J. L., Síntesis Proyecto Bahía de Cartagena. *Bol. Cent. CIOH No. 4*. 1982. 79 pp. Cartagena.

Riley, J.P. y G. Skirrow. Chemical Oceanography. Academic Press. 2a. Edición. p-1-30 1965.

Schaus, R.H. Circulación y Transporte del Agua en la Bahía de Cartagena de Indias Mediante su Representación por el Modelo Hidrodinámico Numérico de Circulación. División de Oceanografía. Armada Nacional. Bogotá. 49p. 1974.

Urueta y Piñeres. Cartagena y sus Alrededores. Editorial Mogollón. 50p. 1912.

J. Garay, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.
A.A .982 Tel 6694465, Fax 6694390
E-mail:CIOH_Oceano@sirius.enap.edu.co Cartagena, Colombia