



ARTÍCULO

Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena

Temporary space variance of the physical chemical components, Cartagena Bay zooplankton and microbiological organisms

Fecha recepción: 2007-08-21 / Fecha aprobación: 2007-10-17

Mary Luz Cañón Páez, mcanon@cioh.org.co

Gustavo Tous, gtous@cioh.org.co

Karen López, karbact27@yahoo.com

Rossana López

Fernando Orozco, forozco84@gmail.com

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH
Isla de manzanillo, Cartagena de Indias, AA 982, D.T y C., Colombia

Resumen

El trabajo tuvo como finalidad realizar el levantamiento de información fisicoquímica (nutrientes, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, turbidez, sólidos suspendidos totales), biológica (zooplancton, pigmentos) y microbiológica (*Enterococos* intestinales, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Pseudomonas sp.*, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* y hongos) en el estuario de la Bahía de Cartagena ubicado en la costa norte de Sur América, sector del Caribe colombiano entre los 75°30'-75°36'W y 10°26'-10°16'N. Lo anterior, con el fin de dar continuidad a la recolección de información contemplada en el proyecto "Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques de tráfico internacional", para realizar una caracterización línea base de la bahía, generar información actualizada y establecer la presencia de posibles especies invasoras por la descargas de aguas de lastre.

Para la toma de información en campo se emplearon metodologías previamente documentadas y validadas por el laboratorio de química del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), las cuales contemplaron la toma de muestras de agua en 10 estaciones de la Bahía de Cartagena, tres profundidades (superficie, media y fondo) y una periodicidad de toma de las mismas de quince días, durante 10 meses (febrero a noviembre de 2006). Para evaluar la calidad sanitaria de las aguas, se tomó como referencia la regla 2D de la convención establecida por la Organización Marítima Internacional OMI de 2004, sobre la eficacia de la gestión del agua de lastre.

De este modo, se pudo establecer la variación espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos, observándose que durante las épocas de lluvia y transición se reportaron las mayores concentraciones de pigmentos, sólidos suspendidos totales y turbidez en la capa superficial, mientras que en las capas del medio y fondo durante las temporadas seca y de transición, la mayor concentración fue de nutrientes (nitritos, ortofosfatos).

En cuanto a las variables microbiológicas estudiadas, se reportaron valores de Coliformes totales, *E coli* y de Enterococos intestinales por encima de los límites permisibles establecidos por la OMI/2004, razón por la cual, no se recomienda la toma de lastre en ningún punto de la bahía de Cartagena, sino más allá de las 12 millas. Con lo anterior, se minimiza el riesgo de contaminación a puertos internacionales y se evita el transporte de especies nacionales a otras áreas. Cabe mencionar que durante el estudio no se reportó la presencia de *Vibrio Cholerae*.

Finalmente en el componente zooplanctónico, se siguen encontrando nuevos reportes, todos pertenecientes a la clase Malacostraca a saber: *Peisos petrunkevitchi* (Sergestidae), *Platysanthus crenulatus* (Xanthidae), *Callinectis sapidus* (Portunidae), *Xiphopenaeus kroyeri* (Penaeidae), *Acanthocycclus gayi* (Atelecyclidae), *Haliscarcinus planatus*, *Alpheus armillatus* (Alpheidae), *Alpheus haterochaelis* (Alpheidae), *Betaeus lilianae* (Alpheidae), *Loxopagurus loxochelis* (Diogenidae), *Pachicheles haigae* (Porcellanidae), *Parapagurus Diógenes* (Parapaguridae), *Plagusia chabrus* (Grapsidae), *Porcellana sigsbeiana* (Porcellanidae), *Polyonyx quadriungulatus* (Porcellanidae), *Ocypode quadrata* (Ocypodidae), *Corystoides chilensis* (Atelecyclidae), *Chorismus antarcticus* (Hippolytidae).

Palabras clave: Contaminación marina, parámetros físicoquímicos, microbiológicos, plancton, variación estacional, Bahía de Cartagena.

Abstract

The finality of this work was the gathering of physical chemistry (nutrients, dissolved oxygen, temperature, saline, pH, turbid, total suspended solids), biological (zooplankton, pigments) and microbiological (intestinal Enterococles, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, *Pseudomonads sp.*, total Coliforms, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* and fungus) data in the estuary of the Bay of Cartagena located in the north coast of South America, Colombian Caribbean sector within 75o30'-75o36'W and 10o26'-10o16'N. The preceding, with the finality of providing the continuance in the re-

collection of information considered in the project "Presence of Exogenous Organisms and Pathogens in Vessel ballast Waters Of International Traffic", to execute a linear characteristic base of the bay, generate actualized information and establish the presence of possible invading species due to the discharge of the ballast waters.

For the information taking in the field, previously documented methodologies were applied and validated by the Oceanographic and Hydrographic Research Center (CIOH), in which considered the water sample taking from 10 stations of the Bay of Cartagena, three depths (surface, middle, and bottom) and one periodicity taking of same of fifteen days during ten months (February through November, 2006). To assess the sanitary quality of the waters, the 2D rule of the convention established by the International Maritime Organization IMO Of 2004 was used as reference, based on the management of the efficiency of the ballast water.

This way, space-time variation of the physical chemicals could be established, observing that in the rainy season and transition periods the largest pigment concentrations were reported, total suspended solids and turbid on the superficial layer, while in middle and bottom layers during the dry seasons and the transition periods, the largest concentration was of the nutrients (nitrates, orthophosphates).

As to the variables microbiological studied, total Coliforms are reported, *E coli* and of intestinal Enterococles above the established permitted limits of the IMO/2004, and due to this fact, the ballast taking is not recommended in any point of the Bay of Cartagena area, only twelve miles beyond. Due to the foregoing, international ports minimize the risk of contamination and the transportation of national species to other areas is avoided. It is worth mentioning that throughout the study the presence of *Vibrio cholerae* was not reported.

Finally in the zooplankton component, new reports are constantly found, all belonging to the Malacostraca class, that is: *Peisos petrunkevitchi* (sergestidae), *Platysanthus crenulatus* (Xanthidae)

Callinectis sartidus (Portinidae), *Xiphopenaeus Kroyeri* (Penaeidae), *Acanthocycclus gayi* (Atelecyclidae), *Halicarcinus planatus*, *Arpheus Armillatus* (Apheidae), *Alpheus heterochaelis haigae* (Alpheidae), *Betaeus liliane* (Alphidae), *Loxopagurus joxocheois* (Diogenidae), *Pachichelis haigae* (Porcellanidae), *Parapagunos Diogene* (Parapaguridae), *Plagucia chabrus* (Grapsidae), *Porcellana sigsbeiana* (Porcellanidae), *Polyonyx quadriungulatus* (Porcellanidae), *Ocypode quadrata* (Ocypodidae), *Corystoides chilensis* (Atelecyclidae), *antarticus* (hippolytidae).

Key Words: Marine contamination, physical chemicals, microbiological, plankton, stationary variation, Bay of Cartagena.

Introducción

En más de 350 estudios realizados a la Bahía de Cartagena entre los 70's hasta la actualidad, se ha concluido que la contaminación de la bahía obedece a varios factores, entre los que se pueden citar los vertimientos de aguas negras; los aportes provenientes del Canal del Dique; las descargas industriales, los vertimientos de hidrocarburos en sus diferentes formas y transporte y las descargas de buques. De las anteriores, la más preocupante por sus implicaciones de riesgo en la comunidad, es el vertimiento de aguas negras y se sabe que los niveles de contaminación por coliformes se presentan en forma crítica en la temporada de lluvias; sin embargo a lo largo del año se ha observado una contaminación crónica de la bahía desde el punto de vista sanitario (Tuckovenko & Rondon, [1]; Urbano, [2]).

La industria también ha influido de manera significativa en la descarga de contaminantes a este estuario, aportando buena parte de los residuos de aceites, combustibles, fertilizantes, vertimientos típicamente industriales como carbonatos, amoníaco, fenoles, aguas calientes, entre otros (INVEMAR [3];

CARDIQUE [4]; UNOPS-CIOH, [5]). Cabe mencionar que el control ejercido sobre los vertimientos industriales de las grandes empresas ha avanzado rápidamente en los últimos años en Cartagena. En este sentido, el número de empresas controladas a través del convenio de producción más limpia, liderado por el Ministerio el medio ambiente (MMA) y la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE), ha permitido disminuir las concentraciones en los vertimientos, permitiendo llevar al mínimo las cargas de contaminantes (INVEMAR [3]).

Continuando con el levantamiento de información en campo, para determinar la calidad de las aguas de la Bahía de Cartagena e identificar las características ambientales actuales de la misma a través del proyecto de investigación "Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques de tráfico internacional", se ha venido valorando estacionalmente desde el punto de vista fisicoquímico, planctónico y microbiológico dicha calidad de las aguas. De este modo, el trabajo buscó complementar la información recolectada en años anteriores (Rondon et al., [6], Cañón et al., [7], Gavilán et al., [8]), de manera que se pudiera observar en lapsos de tiempo más cortos la dinámica de estos componentes y sus variaciones a lo largo de las tres épocas climáticas características de la región. Adicionalmente se pretendió generar el levantamiento de información zooplanctónica que permitiera establecer la variación de la comunidad y la identificación de posibles invasores.

El trabajo se desarrollo en la Bahía de Cartagena, la cual se encuentra ubicada en la costa norte de Sur América, en el Suroeste, Mar Caribe colombiano departamento de Bolívar, entre las coordenadas 10°26' a 10°16' N y 75°30' a 75°36' W. Dado que a esta bahía llega el aporte de aguas continentales a través del Canal del Dique, en la actualidad se le da el calificativo de estuario.

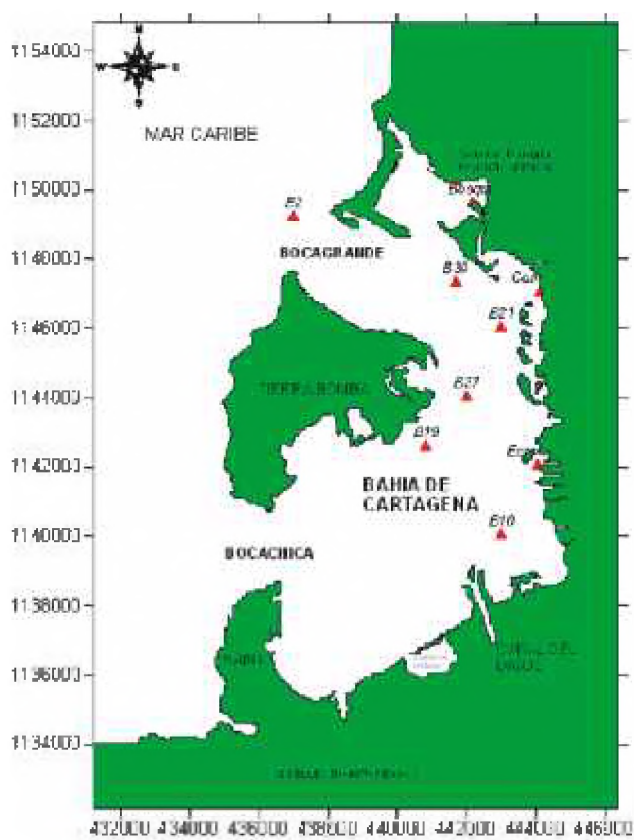


Figura 1. Área de estudio, Bahía de Cartagena con la localización de las estaciones monitoreadas.

La bahía con una superficie de 82 km² y una profundidad promedio de 16 m, consta de dos partes: la bahía externa e interna. La primera está conectada, con el Mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar (Tuckovenko & Rondon, [1]; Garay & Giraldo [9]; Urbano, [2]; Plagiardi et al., [10]).

Materiales y métodos

Fueron programadas 20 salidas de campo a la Bahía de Cartagena, siguiendo la grilla previamente establecida en los años anteriores (Cañón et al., [7]) (figura 1) y tres estaciones de referencia adicionales para el complemento de la información técnica. Dichas estaciones se ubicaron en el sector sureste (boya 10) y centro de la bahía (boyas 27 y 21).

Para la toma de parámetros químicos (oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes, salinidad, turbidez, sólidos suspendidos totales) se tomaron en campo muestras de agua en tres profundidades (superficie (0.5 m bajo el agua), media agua y fondo (1 m por encima del fondo)) a través del lanzamiento de una botella Niskin de 5 litros. En campo, el contenido de las botellas fue reenvasado en galones de 5 litros, previamente marcados y preservados en hielo para su posterior procesamiento en el laboratorio.

Adicionalmente en el campo se registró la lectura de datos correspondientes a oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, salinidad y turbidez, con sondas multiparamétricas de marcas WTW, HORIBA, WPA, refractómetro y turbidímetro, de cada una de las muestras. También se registró información sobre la identificación de la muestra, hora de toma de la misma y condiciones meteorológicas en el momento de la toma, junto con observaciones de características locales que complementarán la interpretación posterior de los datos.

En cuanto a la toma de muestras de zooplancton, se realizó un arrastre horizontal durante 1 minuto a lo largo de cada estación, en el cual se utilizó una red de 55 μ m. Esta red tiene un diseño cónico con un diámetro máximo de boca de 25cm y una longitud de 80 cm. En el extremo posterior de la red lleva adaptado un sistema colector o concentrador de la muestra filtrada, que entra a través de la boca hasta dicho dispositivo. Esta red se dispuso a un lado de la popa de la lancha y se le adaptó un flujómetro en la boca para estimar el volumen de agua filtrada. Una vez realizado el arrastre se procedió al marcado y preservación de las muestras con formalina al 4% neutralizada con bórax, para su posterior análisis en el laboratorio.

En el caso de la clorofila se tomaron muestras con botella Niskin en cada estación a tres profundidades, las cuales fueron transvasadas en galones de 5 litros, refrigeradas y marcadas para su posterior análisis en el laboratorio.

Para evaluar el componente microbiológico, se tomaron muestras de las estaciones en tres profundidades, el agua se colectó en botellas previamente esterilizadas y se refrigeraron las

muestras para su posterior análisis en el laboratorio. Al igual que en los numerales anteriores, se consignó información sobre las muestras en los registros correspondientes acuerdo con el procedimiento operativo de toma de las muestras.

Para el procesamiento de muestras se emplearon métodos previamente validados por el laboratorio de química, acuerdo con el manual de procedimientos técnicos y referidos en la tabla 1.

Para el análisis e interpretación de datos se aplicaron paquetes estadísticos (minitab, Excel y Primer) y graficadores (Surfer) de software que permitieron visualizar la distribución y comportamiento de las variables analizadas a los largo de todo el período estudiado. Actualmente este tipo de análisis es el que se debe establecer para incorporar la información de datos físicoquímicos, microbiológicos o biológicos a procesos más complejos, de manera que se pueda observar rápidamente la situación de la calidad de las aguas en el área de estudio.

Tabla 1. Métodos, técnicas y especificaciones empleadas para el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las muestras colectadas.

PRODUCTOS O MATERIAL A ENSAYAR	TIPO DE ENSAYO PROPIEDADES MEDIBLES RANGO DE MEDIDA	ESPECIFICACIONES, NORMA O TÉCNICA UTILIZADA
AGUAS MARINAS Y ESTUARINAS	pH 3.5 hasta 10	Método potenciométrico, MPT – Q. 05. [11]
	AMONIO 0.1 hasta 0.8 mg/L	Método colorimétrico de azul de indofenol y posterior lectura de ésta por espectrofotometría MPT – Q. 13. [12]
	NITRITO 0.02 hasta 0.5 mg/L	Método colorimétrico, coloración de las muestras con soluciones con sulfanilamida y diclorhidrato de N-(1-naftil) etilendiamina y posterior lectura de ésta por espectrofotometría. MPT – Q. 15. [12]
	ORTOFOSFATOS 0.02 hasta 0.5 mg/L	Método colorimétrico en el cual se forma un complejo y la subsiguiente reducción a un complejo azul cuya intensidad se mide espectrofotométricamente. MPT – Q. 15. [12]
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Método secado a 105° C. La técnica utilizada es gravimetría. En esta se mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables a través de una membrana. MPT–Q.21. APHA-AEEA-WEF. [13]
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Método Winkler. La técnica incubación y titulación MPT – Q. 27. APHA-AEEA-WEF. [13]

PRODUCTOS O MATERIAL A ENSAYAR	TIPO DE ENSAYO PROPIEDADES MEDIBLES RANGO DE MEDIDA	ESPECIFICACIONES, NORMA O TÉCNICA UTILIZADA
AGUAS MARINAS Y ESTUARINAS	ZOOPLANCTON	Método observación al esteroscopio
	COLIFORMES TOTALES	Método recuento de colonias, a través de la técnica filtración por membrana. MPT-M.01. APHA-AEEA-WEF. [13]
	COLIFORMES FECALES	Método recuento de colonias, a través de la técnica filtración por membrana. MPT-M.02. APHA-AEEA-WEF. [13]
	<i>Vibrio cholerae</i>	Método Enriquecimiento Selectivo y aislamiento TCBS MPT – M. 04. APHA-AEEA-WEF. [13]
	HONGOS	Método recuento de colonias, a través de la técnica siembre en profundidad. MPT-M.08. APHA-AEEA-WEF. [13]
	<i>Pseudomonas sp.</i>	Método recuento de colonias, a través de la técnica siembre en profundidad. MPT-M.08. APHA-AEEA-WEF. [13]
	<i>Salmonella sp</i> y <i>Schigella sp</i>	Método recuento de colonias, a través de la técnica siembre en profundidad. MPT-M.08. APHA-AEEA-WEF. [13]

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos

Durante el período de estudio el pH en la Bahía de Cartagena varió entre 7.52 y 8.72 unidades, observándose los valores más altos en las tres profundidades durante la temporada de lluvias, seguidos por la época seca y reportándose los más bajos para la temporada de transición. Se reportaron valores promedio entre 7.96 y 8.56 unidades de pH. Igualmente se observó que los valores más altos se observaron para las estaciones Ecopetrol, Contecar y boya 21 (figura 2).

De esta manera, se observó que los valores de pH, registrados para la bahía están por encima del rango establecido para las aguas marinas (7.5 a 8.4), significando que en la bahía se observan condiciones del medio alcalinas. Los valores altos de pH durante la estación de lluvia y en las estaciones del fondo, se explican porque en esta época al presentarse un aumento de nutrientes por las lluvias, hay disponibilidad de alimento el cual hace que aumente la productividad del sistema. En este sentido, al haber mayor actividad productiva se consume el CO_2 , haciendo que el pH aumente. Dicho aumento se debe a que la baja en concentración del CO_2 ocasiona a su vez una disminución en la concentración del ión hidroxilo (H^+) y por ende un aumento en el pH [14].

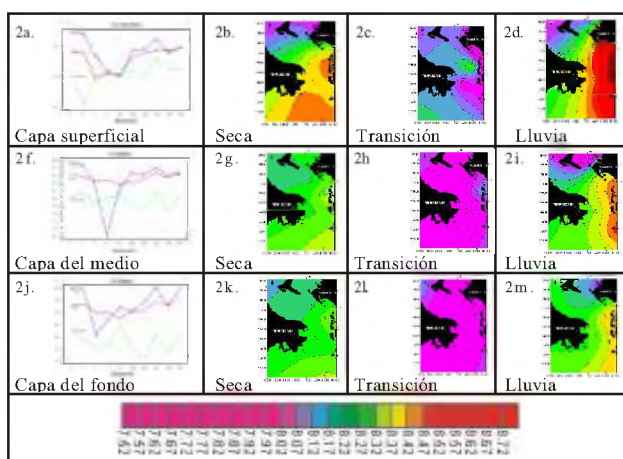


Figura 2. Variación espacio-temporal del pH en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

La concentración de oxígeno durante los tres períodos climáticos y para la columna de agua varió entre 2 y 8.7 mg/L (figura 3). De igual forma, se pudo observar que las mayores concentraciones (superiores a 5 mg/L) se reportaron en la capa superficial durante las tres temporadas del año. Por el contrario, en las capas del medio y fondo se mantuvieron niveles más bajos (2 y 5 mg/L) con excepción de la boya 2, la cual se encuentra ubicada fuera de la bahía interna y está influenciada por la dinámica del océano abierto (figura 1).

Este comportamiento se puede explicar por la incorporación a las capas superficiales de este gas desde la atmósfera, de modo que su concentración está determinada en gran parte por su solubilidad en el agua de mar [14]. También se observó que durante las temporadas seca y de transición, se presentaron valores más altos en las capas del medio y del fondo (3 y 6 mg/L) con respecto a la temporada de lluvias (2 y 5 mg/L).

Esta situación puede, de igual manera, atribuirse al intercambio de este gas con la atmósfera y su incorporación a la columna de agua, a través de procesos de mezcla generados por los vientos predominantes durante esta época y al mayor consumo durante la época de lluvias por parte de los consumidores y productores.

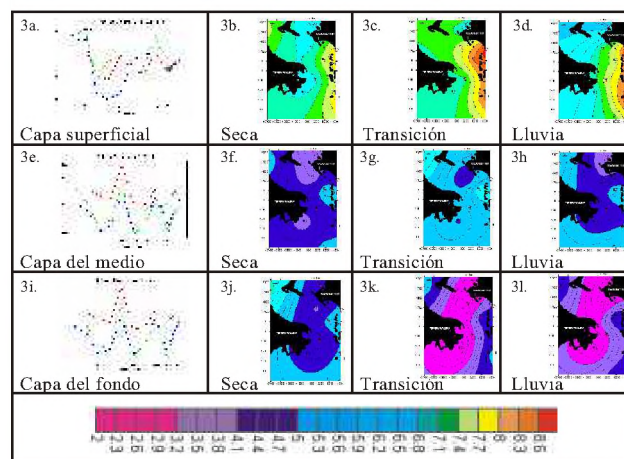


Figura 3. Variación espacio-temporal de oxígeno disuelto (mg/L) en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno se observaron valores entre 0.1 y 3.8 mg/L, registrándose los valores más altos durante la temporada de transición y lluvias en Contecar, Néstor Pineda, boya 30, boya 21 (figura 4). Dichos valores pueden explicarse por la cercanía o influencia de estas estaciones a zonas de aportes de materia orgánica como lo son el Canal del Dique, el emisario submarino y distintos caños de aguas servidas que realizan sus aportes a la bahía. En superficie, durante las tres épocas, se observaron las concentraciones más altas de DBO₅, con respecto a las estaciones del medio y fondo, característica que puede atribuirse a la influencia directa sobre las capas superficiales de aguas servidas o del Canal del Dique. Asimismo, se pudo observar que en el fondo durante la temporada de lluvias se presentó alta demanda en las boyas 30 y 21, las cuales están próximas a la desembocadura del emisario submarino, razón por la cual se consigue explicar los valores reportados.

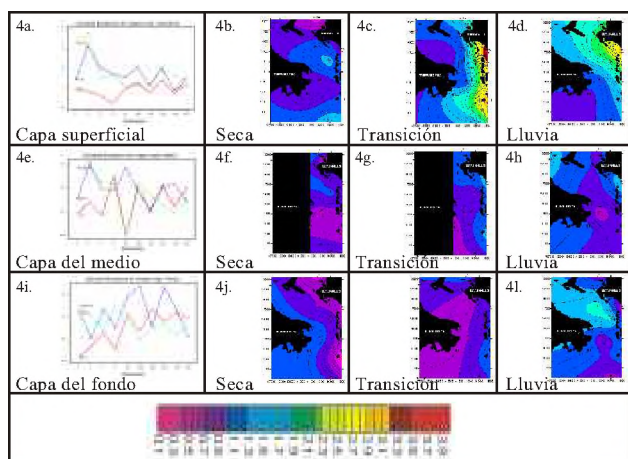


Figura 4. Variación espacio-temporal de la demanda bioquímica de oxígeno disuelto- DBO₅ (mg/L) en la bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

En las zonas estuarinas la salinidad presenta una variación estacional notable. Generalmente disminuye en la época de lluvias y aumenta en la de sequía. La salinidad interviene directamente sobre las características fisicoquímicas del agua del mar

relacionándose con la temperatura, la densidad y el pH; caracteriza las masas de agua oceánicas e influye en la distribución de los seres vivos, ya que sus estructuras y funcionamiento están íntimamente ligados a las variaciones de la salinidad [15]. Acuerdo con lo anterior, en la Bahía de Cartagena se logró observar una estacionalidad de esta variable, encontrándose los valores más bajos (entre 10 y 15) durante la temporada de lluvias en las capas superficiales, seguidos por las época de transición (15-32) y los más altos reportados para la temporada seca en las profundidades del medio y fondo (25 - 33) (figura 5).

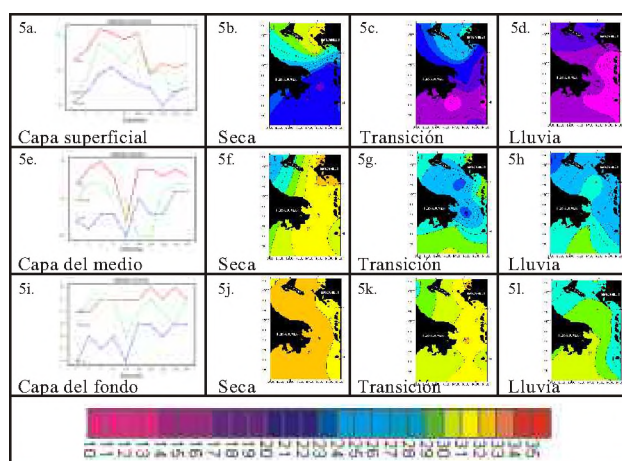


Figura 5. Variación espacio-temporal de la Salinidad en la bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de Lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

De esta manera, se observó una estratificación de la columna de agua en todas las estaciones, producto del aporte o flujo dominante de las aguas continentales del Canal del Dique en las capas superficiales y de aguas marinas en las capas del medio y profundas por las bocas que conectan a la bahía con el Mar Caribe. De este modo y acuerdo con lo expuesto por Chester [14], el flujo dominante de las aguas del Canal del Dique forma en las capas superiores de la bahía una capa de aguas menos densas sobre una de aguas más densas y salinas, que sumado al débil intercambio con las aguas saladas del mar hacen que se genere la estratificación en la columna de agua [16].

En el caso de los sólidos suspendidos totales, éstos variaron entre 10.45 y 40.25 mg/L, observándose la mayor concentración en las capas superficiales y del medio durante la temporada de lluvias, en tanto que en el fondo la mayor concentración se observó durante la época seca (figura 6). Debido a la alta estratificación salina, las concentraciones altas de sedimentos en la superficie obedecen a que estos quedan atrapados en esta capa, donde la turbulencia es suficientemente alta para mantener las partículas en forma suspendida [16].

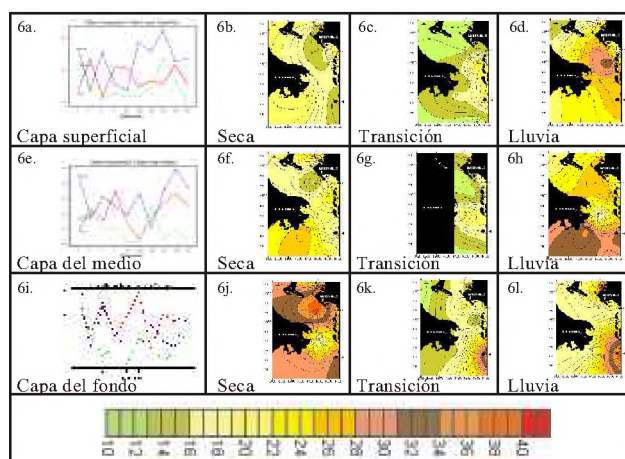


Figura 6. Variación espacio-temporal de los sólidos suspendidos totales-SST (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

Las estaciones que reportaron en promedio mayor concentración de sólidos fueron la boya 21 y Ecopetrol en superficie, la boya 19 y Ecopetrol en la capa del medio y la boya 30 y Ecopetrol en el fondo (figura 6). En el caso de las boyas 21 y 30 el aumento es resultado de la influencia directa que sobre estas dos estaciones ejerce el emisario submarino y en el caso de Ecopetrol y la boya 19 por su cercanía a la desembocadura del Canal del Dique, el cual aporta gran cantidad de material sedimentario a la bahía de Cartagena, especialmente durante la temporada de lluvias. Durante la temporada de lluvias, en las tres profundidades se observó una mayor concentración de sólidos, lo cual demuestra que con la llegada de las lluvias el aporte a través del Canal del Dique y los caños de aguas residuales incrementan los niveles de material suspendido en toda la bahía. Los valores altos

reportados en las estaciones de fondo durante la temporada seca resultan de la mezcla generada en la columna de agua por acción del viento. También se consiguió observar un patrón de distribución de sur a norte durante la temporada de lluvias de los sólidos, situación que demuestra igualmente el aporte de este tipo de material por el Canal del Dique.

En cuanto a los nutrientes se observó que la concentración promedio de nitritos en la época seca fue de 0.022 mg/L, con mínimos de 0.01 mg/L y máximos de 0.135 mg/L, en tanto que en la de transición el promedio fue más bajo con 0.010 mg/L, mínimos de 0.01 mg/L y máximos de 0.026 mg/L y en la época de lluvias a pesar del aporte continental que se supone debía ser mayor por el incremento del material aportado a través de caños y del Canal del Dique por el aumento del caudal, reportó los valores más bajos con respecto a las otras dos temporadas, con un promedio de 0.007 mg/L, mínimos de 0.01 mg/L y máximos de 0.021 mg/L (figura 7).

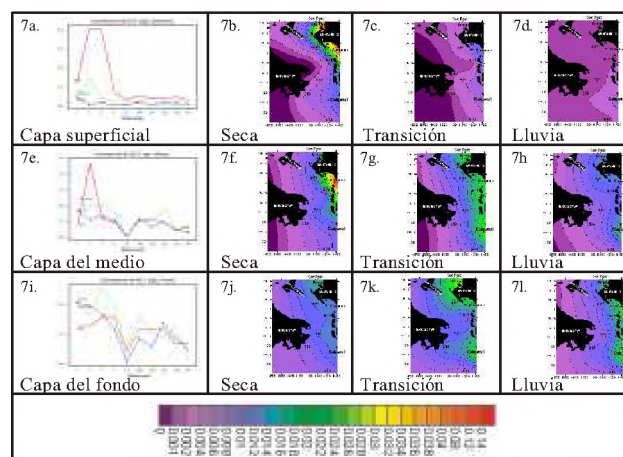


Figura 7. Variación espacio-temporal de la concentración de nitritos (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

Sin tener en cuenta los valores máximos de las estaciones Contecar, Muelles el Bosque y la boya 27, se observó que durante la temporada seca y de transición se presentaron las mayores concentraciones de nitritos las cuales se explican por aportes continentales y resuspensión de los materiales del fondo, generados por la mezcla que sobre la

columna de agua ejercen los vientos alisios característicos de estas épocas.

De las tres profundidades, en el fondo seguida de la capa del medio, fue donde se reportaron las mayores concentraciones con respecto a la superficie. Dicho comportamiento se atribuye a los procesos de degradación de la materia orgánica que sobre estas capas se presentan y porque adicionalmente en las capas superficiales, los productores primarios pueden consumir estos nutrientes, por lo cual las concentraciones superficiales se ven disminuidas [14].

De las tres épocas analizadas el promedio más alto de ortofosfatos se observó en la temporada de transición (0.04803 mg/L), seguidos de la época de lluvias (0.04697 mg/L) y por último en la temporada seca (0.02359 mg/L) (figura 8). Dichas concentraciones se atribuyen a la variedad de aportes que sobre la época de transición ocurren dentro de la bahía, pues es bien sabido que las fuentes de fósforo incluyen minerales y entradas antropogénicas.

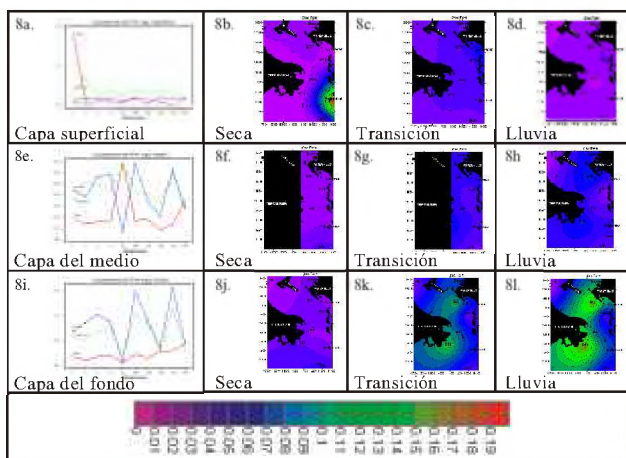


Figura 8. Variación espacio-temporal de la concentración de ortofosfatos (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

De este modo, durante la temporada de transición por el Canal del Dique el aporte es importante, teniendo en cuenta que se presentan algunas lluvias y también por la mezcla de las masas de aguas, las cuales se generan

por la presencia de vientos más débiles que en la temporada seca, pero que son suficientes para realizar la resuspensión de sedimentos y realizar el consecuente aporte a la columna de agua de este tipo de nutrientes. En las capas del fondo, las concentraciones de ortofosfatos fueron más altas que en las capas del medio y de superficie. Lo anterior, se atribuye a la producción de nutrientes por descomposición bacteriana de la materia orgánica depositada en el fondo. Y las bajas concentraciones del medio y la superficie, se explican por la remoción de este elemento durante la producción biológica o por los procesos químicos que involucran el equilibrio agua-minerales. Por esta razón es considerado este elemento en algunos sistemas como limitante.

Parámetros biológicos

Durante el período de muestreo, se evaluaron dentro de estos parámetros la dinámica durante las tres épocas del año, de concentraciones de sustancias que absorben en las mismas longitudes de onda de las clorofilas a, b y c, así como de la feofitina-a, así como la diversidad planctónica en la bahía.

La clorofila-a varió en promedio entre 0.13 y 16.91 mg/m³, observándose durante los períodos de transición y lluvias en las capas superficiales las mayores concentraciones (4.98 a 16.91 mg/m³). Por el contrario en las capas del medio y fondo fue durante la época seca donde se reportaron valores más altos (0.2 y 3.7 mg/m³) con respecto a las temporadas de transición y lluvias (0.2 y 2.2 mg/m³) (figura 9).

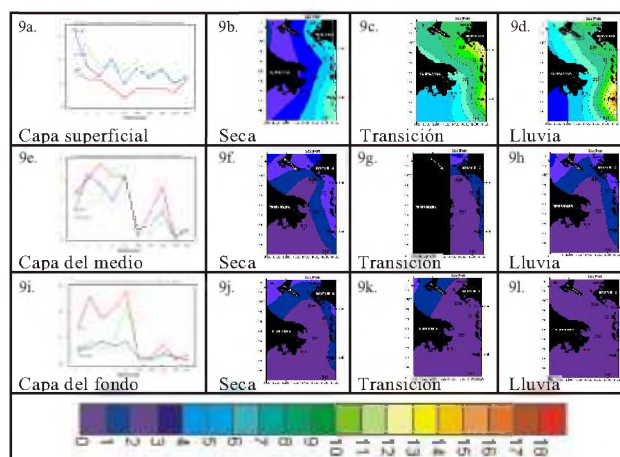


Figura 9. Variación espacio-temporal de concentración de sustancias que absorben en la misma longitud de onda de la clorofila-a (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a

la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

Las altas concentraciones en la capa superficial durante las temporadas de transición y lluvias, se explican por el aporte durante estas dos épocas de material nutritivo, a través del Canal del Dique. Dicho material nutritivo, es asimilado por los productores primarios, generando de esta forma una mayor concentración de clorofilas durante estas temporadas, mientras que durante la época seca dicha carga disminuye y por tanto el valor se ve reflejando en menores concentraciones. De este modo, concentraciones altas de clorofila son referidas muy a menudo como un indicador de la abundancia del fitoplancton [17], por lo cual se infiere que en las capas superficiales durante las temporadas de transición y lluvias la abundancia del fitoplancton es mayor con respecto a las capas del medio y fondo durante la temporada seca.

En las profundidades del medio y fondo, la concentración de clorofila-a se ve disminuida con respecto a la superficie, posiblemente porque la alta concentración de material suspendido en las capas superficiales, el cual impide la penetración de la luz, principal fuente de energía para que el proceso productivo se genere. De esta manera, el resultado se ve reflejado en concentraciones bajas de clorofila-a. En cuanto a los períodos estacionales, durante la temporada seca en estas dos profundidades se observaron mayores concentraciones de clorofila- a con respecto a la superficie. Este comportamiento obedece a procesos de mezcla que durante esta época se generan, permitiendo de este modo que el material nutritivo del fondo suba y enriquezca áreas más superficiales; adicionalmente la carga de material particulado durante esta temporada también es menor, situación que permite una mayor penetración de la luz en la columna de agua, haciendo que los productores primarios se desplacen unos metros hacia abajo, generando picos productivos a mayor profundidad.

En cuanto a las sustancias que absorben en la misma longitud de onda de la feofitina-a, se observó que en superficie la mayor concentración en promedio la reportó la boya 21 (6.98 mg/m³) durante la temporada seca. Por el contrario, durante las temporadas de

transición y lluvia en superficie fueron ECOPETROL y Contecar las estaciones que reportaron las concentraciones más altas con 39.94 y 28.62 mg/m³ respectivamente.

En la capa del medio las boyas 19, 27 y 27 durante la temporada seca reportaron valores entre 0 y 2 mg/m³ y las demás entre 2 y 4 mg/m³ (figura 10). En la época de transición fue en la Sociedad Portuaria donde se registró el mayor valor (6.64 mg/m³).

Y en el fondo durante la temporada seca la Sociedad Portuaria y El Bosque reportan las mayores concentraciones (6.87 y 6,66 mg/m³), en la de transición la Escollera 2 y Sociedad Portuaria (5.46 y 3.81 mg/m³) y en la época de lluvias la Escollera 2 y El Bosque (33.2 Y 3.13 mg/m³). La presencia de estas concentraciones de feofitina puede explicarse en términos de decaimiento y degradación de las poblaciones fitoplanctónicas por encontrarse en una etapa avanzada de la sucesión o bien en términos del pastoreo por el zooplancton [13].

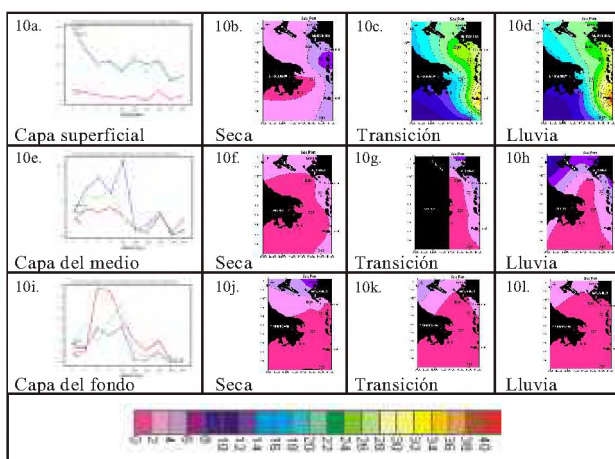


Figura 10. Variación espacio-temporal de concentración de sustancias que absorben en la misma longitud de onda de la feofitina-a (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de Lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

La concentración de sustancia que absorben en la misma longitud de onda de la clorofila-c, varió entre 0.12 y 1.34 mg/m³. En la superficie con respecto al

medio y fondo se observaron las mayores concentraciones. Con excepción de la boya 21 (1.34 mg/m^3) en la superficie durante las tres temporadas climáticas se observó un comportamiento similar, en tanto que en la capa del medio y fondo las mayores concentraciones se observaron durante la época seca (0.02 y 0.28 mg/m^3 , seguida de la de transición (0 y 0.12 mg/m^3) y por último la de lluvias (0 y 0.12 mg/m^3) (figura 11).

De las estaciones analizadas la boya 21 en superficie durante la temporada seca reporta la mayor concentración (1.34 mg/m^3), mientras que en la capa del medio la mayor concentración se presentó en Contecar (0.27 mg/m^3) y en el fondo en las estaciones de Muelles el Bosque y en la Boya de la Escollera (0.16 mg/m^3).

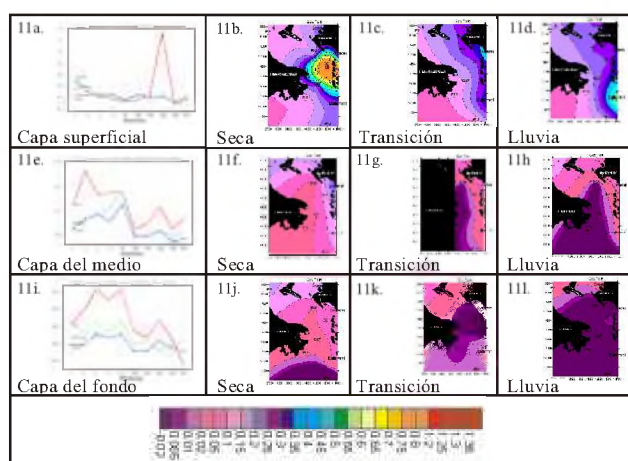


Figura 11. Variación espacio-temporal de concentración de sustancias que absorben en la misma longitud de onda de la clorofila-c (mg/L), en la Bahía de Cartagena. En el gráfico se representa con la línea roja a la época seca, con la verde a la de transición y con la azul a la de lluvias. A continuación de cada gráfico se ilustran los contornos para cada capa de la columna de agua durante las tres temporadas climáticas.

Los anteriores resultados sugieren que en la bahía predominan especies de algas con mayor concentraciones de clorofila a que de clorofila-c. También se pudo establecer que durante la temporada seca en las capas del medio y fondo las concentraciones son más altas que en la época de transición y lluvias. Esta distribución se presenta

porque al ser especies con otros pigmentos accesorios, pueden aprovechar otras longitudes de onda diferentes y ubicarse en áreas más profundas.

Cuando la clorofila b se encuentra en la muestra puede suceder una subestimación de la clorofila-a acompañada de una sobreestimación de la feofitina-a, el grado de interferencia depende del radio a:b. incluso la clorofila-c puede generar subestimación de la feofitina-a, sin embargo no es tan severa como con la clorofila b [18]. Durante el período analizado se observaron concentraciones de sustancias que absorben en la misma longitud de onda de la clorofila-b, en las temporadas seca y de transición con valores que oscilaron entre 0.01 y 0.10 mg/m^3 , no así durante el período lluvioso. En este sentido y acuerdo con lo expuesto arriba, con excepción de la época de lluvias, los valores de feofitina-a y clorofila-a, en las estaciones boya 27, Contecar, Bosque, Escollera y boya 21, pudieron subestimarse o sobreestimarse por la presencia de la clorofila b. Las bajas concentraciones reportadas sugieren presencia de pocas especies con este tipo de pigmento [17, 18].

De forma general se informa que con respecto al zooplancton, el total de especies registradas fue de 97 con un total de 1,504.757 individuos identificados y ubicadas dentro de 8 *phylum* diferentes (*Ciliophora*, *Chaetognata*, *Chordata*, *Echinodermata*, *Artrópodos*, *Mollusca* *Apellida*, *Cnidaria*).

Dentro de los copépodos se observó el nauplio 1 con 558.213 ind., reportando de esta forma el mayor porcentaje (45%) en abundancia con respecto a los demás individuos. Otras especies importantes fueron *Acartia sp.*, con 310.318 ind., *Oithona sp.*, con 258.237 ind., las cuales alcanzaron el 25% y 21% respectivamente en el grupo. El incremento en las abundancias de estas especies pone en manifiesto la eutrofización de las aguas según Crisafi y Cresenti [19]. De igual forma se pudo observar que las especies menos representativas, con un sólo individuo en todo el año fueron el género *Aetideus*, *Oithona setigera*, *Pseudodiaptomus gracilis*. Estudios anteriores en la bahía no registran estas especies, por lo anterior se reportan como una posible introducción.

Fue posible también observar que durante la época de lluvias se presentó una alta diversidad de especies, con una alta dominancia de individuos tolerantes a la baja salinidad. Al respecto, se puede mencionar a los Tintinnidos, los Nauplio de copépodo 1, *Oithona sp.*, y *Mytilus sp.* Por el contrario, en la época seca se observó alta diversidad de especies, a diferencia de los de la época de transición en el que bajó la diversidad pero se registró el aumento de la dominancia de algunas especies.

Parámetros microbiológicos

De los parámetros estudiados (Coliformes totales, *E. coli*, Enterococos fecales, *Vibrio sp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa* y Hongos) se observó que los coliformes totales se reportaron en mayor concentración en la época de transición en el muelle Contecar (4600 UFC/100mL). En tanto que para los demás indicadores de contaminación fecal, como *E. coli* y Enterococos fecales, se observó el mayor recuento durante la época de lluvias, pero en diferente estación ya que el primero fue predominante en Contecar y el segundo en Muelles el Bosque. Los resultados fueron de 3320 UFC/100mL y 3200 UFC/100mL para estas dos estaciones.

En cuanto a las especies de *Vibrio* (*V. alginolyticus* y *V. parahemolyticus*) fueron encontradas en todas las estaciones en la época de lluvias. Mientras, que en la temporada seca se observó la ausencia de éstas en Muelles el Bosque, indicando de esta manera que las condiciones de alta evaporación, aumento de temperaturas y altas salinidades, características de este período, pudieron influir para que dichas especies fueran ausentes.

En cuanto a *Pseudomonas aeruginosa*, se observó el mayor número en la época de lluvias en Muelles el Bosque (3540 UFC/100mL), Sociedad Portuaria y Escollera 2; en las demás estaciones la cantidad fue inferior. De esta forma se observó la fácil adaptabilidad de la especie a los ambientes acuáticos.

Finalmente los hongos estuvieron presentes en mayor cantidad en todas las estaciones monitoreadas en la bahía durante la temporada de lluvias. Cabe mencionar que se reportó un valor de 35400UFC/100mL en la boya B30 en la profundidad del medio, característica que está directamente relacionada con el aporte directo sobre esta boya del emisario submarino.

De acuerdo con lo establecido por la convención internacional sobre manejo de aguas y sedimentos de lastre emitida por la OMI [20], en las estaciones monitoreadas se reporta la presencia de las especies contempladas en la regla 2d y la mayoría sobrepasa los límites permisibles (tabla No. 2). En este sentido, las aguas de la Bahía de Cartagena representan un riesgo para puertos internacionales. Por lo anterior se recomienda evitar la toma de aguas de lastre en la bahía.

Tabla 2. Microorganismos de la Bahía de Cartagena durante las diferentes épocas climáticas (seca (S), transición (T) y lluvias (L); en superficie (Sup), media agua (Med) y fondo (Fon)) contempladas como de alto riesgo para la salud y que sobrepasan los límites permisibles establecidos en la convención sobre manejo de aguas de lastre de la OMI-2004.

Estación	Descripción	E. coli	Enterococos
Ecopetrol	Influencia directa Canal del Dique	S-T-L(Sup-Fon) /T-L(Med)	T(Sup-Med-Fon) /L(sup)
Contecar	Aporte de caños de aguas residuales y lixiviados del antiguo basurero	S-T-L(Sup)/T-L(Med)/S-T(Fon)	S-T-L(Med)/T-L(Sup)/S-T(Fon)
Bosque	Aporte de caños de aguas residuales	T(sup)/T-L(Med) /S-T-L(Fon)	S-T-L(med)/T-L(sup)/T-L(Fon)
Sociedad Portuaria	Alto tráfico marítimo	T-L(Sup) /T(Med)/T(Fon)	S-T-L(Sup)/T(Med-Fon)
B19	Influencia Canal del Dique	S(fon)	T(Sup)
B30	Descarga emisario contaminación coliformes	S-T-L (Sup_Med-Fon)	S-T-L(Med-Fon) /T-L(Sup)
E2	Influencia directa Mar Caribe	T(Sup-Fon)	
B10	Influencia Canal del Dique		
B21	Influencia islotes (Banco Santa Cruz)	T(Sup-Med-Fon)	S(Med)/T-L(Sup)/T(Med)
B27	Influencia emisario submarino	S(Fon)	

Conclusiones

Con la evaluación de los parámetros fisicoquímicos se pudo establecer que a través del aporte continental en las épocas de lluvia y transición se reportan las mayores concentraciones de pigmentos, sólidos suspendidos totales y turbidez, características que influyen directamente en la variación estacional de la

flora y fauna presentes en este cuerpo de agua, las cuales también se ven incrementadas en diversidad y cantidad de especies. En tanto que en las capas del medio y fondo durante las temporadas seca y de transición, la mayor concentración de nutrientes con respecto a la superficie y época de lluvias, pudo deberse a la mezcla o resuspensión de material del fondo, procesos de degradación de la materia orgánica y consumo en la superficie por los productores primarios.

Se continúan reportando especies planctónicas en la Bahía de Cartagena, lo cual sugiere que la comunidades biológicas responden a las variaciones estacionales características del área de estudio y a posibles fuentes de introducción de especies. Por lo anterior, es importante establecer con cada nuevo reporte estudios más específicos que permitan identificar si son flora habitual de este cuerpo de aguas o si son especies introducidas y sus impactos en las nativas.

La evaluación del componente microbiológico durante el período de estudio, reportó valores de Coliformes, *E.coli*, Enterococos y *Vibrio* por encima de los límites permisibles, consignados en la regla 2D de la convención sobre manejo de aguas y sedimentos de lastre emitida por la OMI en el 2004. Por esta razón, se puede establecer que el agua de la Bahía de Cartagena puede ser potencial fuente de contaminación para puertos internacionales si no se aplican las directrices emitidas por la OMI (intercambio en mar abierto).

Referencias bibliográficas

- [1] Tuchkovenko Y y Rondón S. estudio del comportamiento de la contaminación bacteriana en la Bahía de Cartagena. En Boletín Científico Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia. Diagnóstico nacional y regional 2003. Santa Marta - Colombia. Pag 263
- [2] Urbano J. Estado actual de la bahía v/s contaminación. En Boletín Científico CIOH No. 10. 1992. Cartagena, Colombia. Pp 3-9.
- [3] INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia. Diagnóstico nacional y regional 2003. Santa Marta - Colombia. Pag 263
- [4] CARDIQUE. Informe Preliminar sobre la contaminación de fuentes industriales a la Bahía de Cartagena. 1996. Cartagena
- [5] UNOPS - CIOH. Estudio de la contaminación por plaguicidas, hidrocarburos y eutrofización en lagunas costeras del Caribe colombiano Fases I y II. Bahía de Cartagena 1996 1997. Fondo para el Medio Ambiente Mundial Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Oficina de Servicio de Proyectos de Naciones Unidas (UNOPS), Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). 1997. Cartagena, Colombia. 133 p.
- [6] Rondón S y et al. Sampling Ballast water for pathogens: The Colombian approach. In: Globallast monograph series N° 9. 1st International Workshop on guidelines and standards for ballast Water Sampling. 2003. Rio de Janeiro, Brazil. Pp 89-96.
- [7] Cañón M, Vanegas T, Gavilán M, Morris L, Tous G et al. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. 2005. En Boletín Científico CIOH No. 23. Cartagena, Colombia. Cartagena. Pp 21-54
- [8] Gavilán M, Cañón M. y Tous G. Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. En Boletín Científico CIOH No. 23. 2005. Cartagena, Colombia. pp 46-59
- [9] Garay JA, y Giraldo LN. Influencia de los aportes de materia orgánica externa y autóctona en el decrecimiento de los niveles de oxígeno disuelto en la Bahía de Cartagena, Colombia. En Boletín Científico No. 18 CIOH. 1997. Cartagena, Colombia. Pág. 1 13.
- [10] Pagliardini J., et all. Síntesis del proyecto Bahía de Cartagena. En Boletín Científico CIOH No. 4. 1982. Cartagena, Colombia. pp 49-110.
- [11] METROHM. Instrucciones para el uso del TITRINO DMS 716, Serie 06 "Calibración pH". 1995. Versión de programa 716.0011. Herisau/suiza.
- [12] Parsons TR, Maita CM. y Lalli A. 1989. Manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Primera Edición 1984, reprinted 1985, with corrections. Gran Bretaña. Pág 200.
- [13] APHA-AEEA-WEF. Standard methods for the examination of water and waster water. 20Th Edition. New york. 1998. Pp 2-79a 2-81.
- [14] Chester R. Marine geochemistry. Second edition. Department of Herat Sciencies, university of Liverpool. 1999. ISBN 0-632-05432-8. 506 pp.
- [15] Libes Susan. An introduction to marine biogeochemistry. ISBN 0.471-50946-9. 1992. Unite States of America. 732 Pág.

[16] Lonin S, Parra C, Andrade C y Thomas Y. Patrones de la pluma turbia del Canal de Dique en la Bahía de Cartagena. En *Boletín Científico CIOH No. 22*. 2004. Cartagena, Colombia. Pág. 77-89.

[17] Millán R y Álvarez S. Series de tiempo de clorofilas a, b, y c y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. En: *Ciencias Marinas*. 1978. Ensenada/México, Volumen 5 (2). Pp 41 a 51.

[18] Riley & Wilson. *Chemical oceanography*. Segunda edición. 1965. London: Academic Press, p. 38-48.

[19] Boltovskoy D. (ed.). *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. INIDEP. 1981. Argentina. 936 p.

[20] OMI. Organización Marítima Internacional. *Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques*. 2004. Londres. 40 pp.