

BIODIVERSIDAD DEL FITOPLANCTON EN AGUAS DE LASTRE DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL Y EN LOS PRINCIPALES MUELLES CARGUEROS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA COLOMBIA

BIODIVERSIDAD DEL FITOPLANCTON EN AGUAS DE LASTRE DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL Y EN LOS PRINCIPALES MUELLES CARGUEROS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA - COLOMBIA

VIVIANA CAROLINA SUÁREZ VILLALBA

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
SANTA MARTA, D.T.C.H
2007**

BIODIVERSIDAD DEL FITOPLANCTON EN AGUAS DE LASTRE DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL Y EN LOS PRINCIPALES MUELLES CARGUEROS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA - COLOMBIA

VIVIANA CAROLINA SUÁREZ VILLALBA

Trabajo de Grado para optar el título de
Biólogo Marino

Director

Andrés Franco Herrera Ph.D

Asesores

Mary Luz Cañón
Biólogo Marino

Javier Giraldo
Biólogo Marino

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
SANTA MARTA, D.T.C.H
2007**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Santa Marta , Enero del 2007

DEDICATORIA

A ti hermanito, que desde la tierra y ahora desde el cielo hiciste parte fundamental en mis decisiones, para la realización y culminación de mi carrera como Biólogo Marino, Gracias.

Agradecimientos

Gracias a **Dios** por darme la oportunidad de vivir y conocer las maravillosas cosas que tenemos, en especial este inmenso mar el cual me enamoró su grandeza y belleza.

Mami y Papi, *MIL GRACIAS*, por su apoyo incondicional y por cada uno de sus consejos que siempre fueron muy oportunos, los cuales me han llevado a ser lo que soy hoy en día.

Nanita, tu ayuda en las famosas trasnochadas, siempre fueron muy oportunas y aunque no lo creas, sí aprendiste cosas de la biología marina, aunque tu carrera no tenga nada que ver con el mar.

Cherlio, has hecho parte fundamental en mi vida, cada instante he aprendido un poco más de la Biología Marina,

Gracias **Amor** por enseñarme, guiarme en cada una de las etapas en las que hemos estado juntos y aún todo lo que nos hace falta.

A mi director **Andrés Franco**, que más que ser un director ha sido un gran amigo, con cada una de sus orientaciones y paciencia hemos terminado juntos este proyecto. Muchas Gracias por tu apoyo incondicional.

Adolfo Sanjuán, tu confianza y todos aquellos consejos que fueron siempre muy oportunos, me han ayudado a ser una mejor persona cada día.

Andrés y Adolfo, Muchas Gracias, de todo corazón, por extenderme su mano y apoyo en el momento que más lo necesite.

Profe Vidal...Mil Gracias por cada uno de tus consejos fitoplanctónicos, sin ellos no se que hubiera pasado...De todo corazón Gracias por mostrarme la parte divertida de las pequeñas maravillas que nuestros mares poseen y pocos conocen.

Al señor **Almirante Mauricio A. Soto Gómez**, quien me brindó la oportunidad de poder realizar este proyecto, en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional de Colombia.

Mary, gracias por tu ayuda y orientación en cada parte del proyecto, al igual que tú, **Gustavo, Mauricio y Javi** con sus gratas compañías a la hora de visitar los buques y muelles, hicieron que cada momento fueran siempre experiencias nuevas. Gracias por sus enseñanzas.

Gracias **Torres**, por enseñarme a manejar la lancha, esas clases no se me olvidaran...

Javi y Marcial, su compañía en el laboratorio, hicieron siempre más agradable la observación de cada una de las muestras.

A todas aquellas personas en el **CIOH**, que participaron en este proyecto de alguna forma, hicieron que las salidas de campo fueran a cualquier hora. Muchas Gracias.

Muchas Gracias a todos los funcionarios de **Biblioteca y Laboratorio** del **CIOH** y **UJTL** sede en **Santa Marta**, quienes me abrieron todo el apoyo logístico para la elaboración de este gran trabajo....

Gracias a todas las personas que de una u otra forma hicieron parte de mi formación profesional....

Un especial agradecimiento a mi familia **gatuela** y **perruna** por sus largas compañías y trasnochadas.

GRACIAS A TODOS.....

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el estado actual de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía de Cartagena y compararla con aquella presente en las aguas de lastre de buques que arriban a la Bahía, se realizaron muestreos quincenales entre los meses de Marzo a Noviembre del 2005, donde se recolectaron muestras de agua para análisis fisicoquímico y fitoplanctónico. Se escogieron siete estaciones de muestreo donde se incluyeron cuatro muelles de alto tráfico internacional e importancia comercial, además, tres boyas de referencia. Paralelamente, se analizaron 18 buques que arribaron a diferentes puertos del área de estudio, teniendo en cuenta la composición, la densidad, la concentración de pigmentos fotosintéticos y las condiciones fisicoquímicas en cada buque. Las condiciones fisicoquímicas de la Bahía presentaron variaciones correspondientes a cada época climática. De esta forma, la transparencia y la salinidad, en época seca, presentaron los mayores valores, mientras que para el pH y la demanda bioquímica de oxígeno se encontraron las mayores concentraciones en la época de transición; los sólidos suspendidos totales y el oxígeno disuelto, fueron más altos en la época de lluvias. Las concentraciones de nutrientes en la Bahía de Cartagena dependen principalmente de los aportes fluviales, escorrentías y de aguas oceánicas, además de otras actividades que se realizan en la zona, los cuales contribuyen al desarrollo de procesos de eutroficación. Así, los nitritos presentaron concentraciones que oscilaron entre 0,001 y 0,374 mg NO_2^-/l , registrando las mayores concentraciones en la época de transición, al igual que los fosfatos cuyos valores oscilaron entre 0,009 y 0,483 mg PO_4^-/l , finalmente el amonio evidenció su mayor concentración en la época de lluvia, cuyas niveles fluctuaron entre 0,002 y 1,576 mg NH_4^+/l . Se encontraron un total de 125 especies fitoplanctónicas en la Bahía, las cuales ya han sido reportadas para el área y el Caribe colombiano. Pertenecientes a los grupos de Diatomeas (88), Silicoflagelados (1), Dinoflagelados (25), Cianófitas (3), Clorófitas (8), además de encontrarse 4 morfotipos y 9 estructuras de resistencia. La diatomea *Skeletonema costatum*, fue la especie más común entre las tres épocas. Las

concentraciones de clorofila a alcanzaron concentraciones hasta de 44,79 mg Chl a /m³. La actividad fotosintética de las especies encontradas en la Bahía mostró un descenso durante las tres épocas climáticas en el año de estudio, registrando una mayor degradación de la clorofila a en la época seca y de lluvia. De igual forma, se evidenció una variabilidad temporal en la comunidad fitoplanctónica teniendo en cuenta su composición y abundancia siendo la época de lluvia con la mayor abundancia y la menor en época seca. En las aguas de lastre se encontraron un total de 46 especies de fitoplancton, distribuidas en 25 géneros y 15 familias, además de la presencia de 7 estructuras de resistencia. Las densidades oscilaron entre 3,33 y 84,6 cel/l sobresaliendo las especies *Coscinodiscus wailesii*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros decipiens* y *Asterionellopsis glacialis*. Las concentraciones de clorofila a alcanzaron valores hasta de 0,35 mg/m³. Las condiciones fisicoquímicas del agua de lastre, estuvieron dentro de los rangos reportados para la Bahía durante las tres épocas climáticas del año 2005. Esto es posible debido a que los recambios del agua de lastre fueron realizados a lo largo del Caribe y algunos de la Bahía. Los resultados indican, que las condiciones de las aguas de lastre no son óptimas para el desarrollo fitoplanctónico, aunque en ella se mantiene una comunidad en estado activo o de hibernación debido a la presencia de pigmentos fotosintéticos. Aunque la composición fitoplanctónica que presentó el agua de lastre es similar a la encontrada en la Bahía, las especies que se identificaron, en su mayoría han sido catalogadas como causantes de problemas para el medio y la salud pública en distintas partes del mundo, pero este tipo de problemas no han sido reportados en Cartagena, sin embargo, algunas de estas especies podrían llegar a ser vectores potenciales de florecimientos tóxicos.

1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempo atrás, en especial durante el siglo XX, se ha presentado un gran crecimiento del comercio marítimo internacional aumentando actualmente la preocupación por la protección del medio marino. Por tal razón, la Organización Marítima Internacional (OMI), convocó a los países costeros a una conferencia para adoptar un nuevo convenio, que asume todos los aspectos relacionados con la contaminación marina causada por los buques y la capacidad de respuesta ante las posibles emergencias (OMI, 2004). De esta manera mediante la resolución A.774(18), reconoció que la descarga no controlada de agua de lastre y sedimentos desde los buques ha ocasionado la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos, por lo cual la resolución A.868(20) de 1997, tuvo como propósito ayudar a la implementación de medidas de carácter voluntario que reduzcan la transferencia de especies acuáticas exógenas indeseables del zooplancton y el fitoplancton, en todos sus estadíos, que tienen como vector el agua de lastre de buques (OMI, 1997).

Uno de los problemas de las especies marinas en el agua de lastre es que pueden convertirse en bioinvasoras, nocivas o tóxicas alterando la ecología nativa, las económicas y causar enfermedades entre otros factores, creando así graves problemas para el medio marino. Un ejemplo claro se observa en los organismos fitoplanctónicos, comúnmente llamados dinoflagelados, que son capaces de presentar estados de latencia o resistencia cuando este tipo de aguas produce condiciones ambientales adversas, desencadenando florecimientos algales si las condiciones ambientales son nuevamente favorables (Nielsen, 1975); este fenómeno también ha sido observado en las diatomeas, aunque su importancia es considerada menor, sin embargo este término no es del todo preciso, ya que no todos los eventos algales nocivos involucran una acumulación significativa de biomasa (Méndez *et al.*, 1993).

Cartagena se ha caracterizado por ser un puerto con alta influencia de transporte marítimo, por tal motivo, es indispensable establecer una solución para evitar que la descarga incontrolada de agua de lastre genere consecuencias que serían desastrosas para el medio marino, sabiendo que este sistema ya se encuentra afectado por otros agentes como las aguas residuales de origen doméstico e industrial, llegando también a afectar la salud pública y todos aquellos recursos que allí se encuentran.

Han sido pocos los estudios que se han realizado en la Bahía de Cartagena en cuanto al componente fitoplanctónico se refiere, la mayoría de ellos con un enfoque taxonómico. Es así como desde la década de los 70 se han registrado principalmente diatomeas y dinoflagelados para el sector, con una riqueza variada y una abundancia baja (Arosemena *et al.*, 1973). El estudio más completo fue realizado por Vidal y Carbonell (1977), quienes reportaron 62 géneros de diatomeas con 153 especies y 17 géneros de dinoflagelados con 85 especies, siendo el género *Chaetoceros* el de mayor abundancia y frecuencia por parte de las diatomeas y *Ceratium*, *Protoperidinium* y *Scrippsiella*, para los dinoflagelados. Además, plantean la posibilidad de que se pueda estar dando comportamientos por ciclos algales ya que su presencia disminuye en ciertas épocas del año. Por otro lado Carbonell (1979), realizó la descripción de 20 especies de dinoflagelados del género *Ceratium*, con algunas variedades y formas de transición, en donde también observó la presencia de especies oceánicas en las entradas de Bocagrande y Bocachica, con una diversidad alta de este género, característica que no es común en aguas estuarinas. A conclusiones similares llegaron Arias y Durán (1982), quienes definieron que el fitoplancton estaba constituido por especies tropicales de aguas neríticas especialmente por diatomeas. Su distribución y comportamiento eran dados por las condiciones ambientales de la zona, encontrando dos picos máximos de abundancia no homogénea que coinciden con la época lluviosa, la cual incrementa la entrada de aguas continentales por medio del Canal de Dique y la escorrentía, favoreciendo el aporte y aumento de nutrientes. Los valores máximos se reportaron en

los meses de junio y octubre en los muelles de ECOPETROL y El Bosque, representados por diatomeas de los géneros *Chaetoceros* y *Ceratium*.

Investigaciones sobre esta comunidad en sectores cercanos a la Bahía, también se han venido desarrollando en los últimos 25 años, es así como Vidal (1981), realizó estudios en las islas del Rosario reportando 28 géneros de diatomeas pennadas en las que se incluyen 74 especies reportadas como fitoplanctónicas, que indican una circulación continua del agua. De igual manera, el registro de especies variadas de dinoflagelados señala la presencia de aguas oceánicas. En lo que respecta a las concentraciones de clorofila *a* realizados cerca al área de estudio, específicamente en los Bancos de Salmedina, se registran concentraciones típicas de áreas marinas influenciadas por aguas oceánicas oligotróficas, con valores promedio durante todo el periodo de muestreo de 0.5 mg/m³, donde el fitoplancton se presentó escaso pero variado en el sector (Orejarena *et al.*, 2004).

La problemática de las aguas de lastre en Colombia, fue planteada por los estudios de Garay (1997) y Garay y Giraldo (1997), donde mencionan que la Bahía de Cartagena puede estar siendo afectada por la constante presencia de tráfico marítimo y la operación continua de buques y muelles. Debido a esta cantidad de tráfico, es de esperar que se enfrenten problemas de contaminación por la presencia de fallas en las operaciones de carga y descargue de buques, por la recepción inadecuada de residuos líquidos y/o sólidos, ya sean de tipo voluntarias e involuntarias como los vertimientos, aguas residuales, aguas de lastre y combustibles, entre otros.

A nivel del Caribe colombiano, se cuentan con pocos estudios sobre organismos que tienen como vector el agua de lastre. Carbones del Cerrejón L.C (Guajira), con el fin de dar cumplimiento a las disposiciones de la OMI en sus diferentes resoluciones empezó a implementar desde el año 2005 estudios de las comunidades fitoplanctónicas y

zooplanctónicas para los buques que arriban en este puerto (Fundación Museo del Mar, 2006).

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), viene desde el año 2002 analizando las aguas de lastre de los buques y los muelles de arribo, teniendo en cuenta la presencia de los componentes zooplanctónico, fitoplanctónico y la comunidad bacteriana. En las diferentes etapas de esta investigación, se reportaron un total de 91 especies para la fase I (Tigreros, 2002), 93 especies en la fase II (Tigreros, 2003) y 116 en la fase III (Cañón et al., 2004). Para la primera fase se realizaron nuevos registros de especies como *Climacodium frauenfeldii*, *Bacteriastrum hyalinum* entre otras especies, de igual forma se reportaron 11 especies que han sido registradas con poca frecuencia en el Caribe y el Caribe colombiano y algunas de ellas son especies que bajo condiciones propicias resultarían formadoras de FAN (Floraciones Algales Nocivos), aunque los reportes de estos casos, han sido pocos para la Bahía (Rendón et al., 2003). En la fase II, no se reportaron nuevas especies. Igualmente en la tercera fase se registraron por primera vez la presencia de dos cianófitas *Chroococcus* sp1. y *Nostoc* sp1, las diatomeas *Melosira granulata* y *Eunotia* sp1., las euglenófitas *Phacus* sp. y *Trachelomona* sp. y nueve clorófitas a saber: *Pediastrum simplex*, *Pediastrum tetras*, *Scenedesmus bicaudatus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum aff. setigerum*, *Ankistrodesmus spiralis*, *Sphaerocystis* sp., *Tetraspora* sp. y *Dictyosphaerium* sp. (Cañón et al., 2004).

Siguiendo el desarrollo de esta investigación del CIOH, el presente Trabajo de grado recopila parte de la información correspondiente a la fase IV, cuyo objetivo fue evaluar los cambios espacio-temporales del fitoplancton y de algunas variables fisicoquímicas en la Bahía de Cartagena, a lo largo de un ciclo anual (marzo-noviembre del 2005), acogiendo las tres épocas climáticas para la zona. De igual forma, establecer si las aguas lastre de buques de tráfico internacional que arriban a cuatro muelles de importancia dentro de la Bahía de Cartagena, constituyen un vector de ingreso de

especies fitoplanctónicas al área. Se tuvieron principalmente en cuenta los buques tanqueros sin descartar otros tipos de buques, ya que según los formatos de la OMI resolución A.868 deslastran en la Bahía con más frecuencia, en comparación con los otros tipos de motonaves como los cargueros. Aparte de los cuatro muelles, se tomaron como referencia tres boyas de señalización dentro de la Bahía, dentro de las cuales, una de ellas se encuentra influenciada por aguas oceánicas y de la Bahía (boya E2), otra se ubica en todo el centro de la Bahía (boya 30) y la tercera se encuentra influenciada por aguas que llegan del Canal del Dique (boya 19).

El presente estudio se encuentra enmarcado dentro de uno de los proyectos del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional llamado "*Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre, buques de tráfico internacional*", que ha sido desarrollado desde el año 2002 hasta la actualidad. Este trabajo se presenta como requisito para optar al título de Biólogo Marino del Programa de Biología Marina, de la Facultad de Ciencias Naturales, otorgado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

2 MARCO TEÓRICO

El océano y la superficie marina agrupan los graves impactos que la industrialización en todos los sentidos hace a las comunidades marinas, al paisaje del fondo, a la calidad y el cambio de la composición fisicoquímica del agua. En general, las consecuencias de la contaminación antropogénica del océano se pueden dividir en dos marcos principales: uno biológico que está asociado con los cambios de carácter bioquímico, morfológico, fisiológico y genético en los organismos marinos y otro ecológico que se revela en el cambio de la biomasa marina, el decrecimiento de la biodiversidad local, la aparición de nuevas especies, la transformación del proceso de producción y de destrucción de la materia orgánica, por mencionar solo algunos (Vergara, 2001; Dukes y Mooney, 1999).

La descarga en masa de los residuos y de aguas de lastre provoca nuevos problemas de carácter biológico y ecológico. Se estima que más de 3000 especies marinas viajan diariamente alrededor del mundo, organismos grandes y pequeños, desde bacterias hasta peces se han documentado en las muestras de agua de lastre de los buques. Estas especies son exóticas, extranjeras, invasoras o exógenas, esto significa que un miembro ó miembros del grupo ó de una población ó de una especie se incorporan en un ecosistema acuático fuera de su hábitat nativo, entonces se prepara el escenario para una posible invasión biológica que podría tener un impacto ecológico y económico negativo. Las especies invasoras exógenas son consideradas como la mayor amenaza para la diversidad biológica después de la destrucción del hábitat (Vergara, 2001).

Invasiones biológicas se refieren a especies de origen remoto que alcanzan un nuevo territorio y se propagan por él a gran velocidad, alterando la estructura y funcionamiento del ecosistema receptor y causando daños ecológicos y socioeconómicos (Mooney y Hobbs, 2000). Por ello, en los últimos años las invasiones biológicas están consideradas como un vector más del llamado cambio global (Dukes y Mooney, 1999; Mooney y

Hobbs, 2000), junto con la alteración de la composición atmosférica, la contaminación o la pérdida de suelo.

A diferencia de los derrames de hidrocarburos y otros contaminantes marinos causados por el tráfico marítimo, los organismos y las especies marinas exógenas no pueden ser limpiadas ni absorbidas por los océanos, una vez introducidas son casi imposibles de eliminar y pueden causar graves daños (OMI, 1998).

El mundo actual se encuentra dominado por la globalización, donde las distancias se hacen cada vez más cortas y hay una cierta tendencia hacia la homogenización que afecta no sólo al ámbito social o cultural, sino también a lo biológico, con sus desastrosas consecuencias ambientales. Un ejemplo claro es el de las múltiples especies que viajan como polizontes en las aguas de lastre que estivan en los buques cuando navegan sin carga, capaces de invadir un entorno que no les corresponde (Ballast Water, 2000).

La OMI hoy en día ha colocado mayor importancia en cuanto al transporte de organismos exógenos en aguas de lastre mediante sus diferentes Convenios y Resoluciones, que junto con el Protocolo MARPOL 73/78, se ha propuesto la formulación de disposiciones obligatorias sobre la gestión del agua de lastre, debido a que el transporte marítimo es un elemento fundamental para el comercio mundial. En él, se transporta más del 90% de las mercancías y productos básicos en todo el mundo. El lastre constituye una necesidad para que el buque pueda navegar en condiciones de seguridad y se ha reconocido que actualmente la única forma eficaz de impedir la propagación de organismos no deseados es prevenir que se descarguen en puertos extranjeros (OMI, 1997).

Dentro de la comunidad planctónica, los organismos autótrofos agrupados en el fitoplancton, pueden llegar a sobrevivir bajo condiciones ambientales propias de los tanques de lastre. Nielsen (1975) y Zeitzschel (1978, En: Sournia, 1978), establecieron que esta condición no es rara ya que tienen la capacidad de hacer heterotrofia facultativa, como es el caso de los dinoflagelados, o producir estados de latencia o resistencia que ha sido reportada tanto para estos como para las diatomeas. Se discute mucho acerca de la función de estas estructuras, Matsuoka y Fukuyo (2000), proponen que tienen un importante papel ecológico, como fuente para florecimientos en la expansión de su distribución geográfica.

Las embarcaciones al deslastrar sus aguas le brindan la oportunidad a estos organismos de encontrar condiciones ambientales nuevas incrementando la tasa de supervivencia de las especies (OMI, 1997), habiendo especies que tienen más probabilidades de sobrevivir cuando las condiciones son parecidas a las de su procedencia y desencadenando cualquiera de los siguientes procesos: a) mantenimiento del estado de latencia o resistencia en espera de condiciones favorables para su germinación; b) el desarrollo de fases móviles que no se adaptan genéticamente, por lo que no logran reproducirse y terminan siendo incorporadas o asimiladas por la red trófica propia del nuevo ambiente natural; c) producción de fases móviles que se reproducen lentamente y entran a competir con los recursos del nuevo ecosistema y d) desarrollo de fases móviles de reproducción y crecimiento alto, que entran a competir de manera eficaz por los recursos logrando desplazar o eliminar alguna o varias especies nativas (Tigreros, 2002).

Los dinoflagelados producen potentes toxinas que incluso pueden llegar a afectar a la salud humana. Estos organismos son los responsables de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) o en inglés Harmful Algal Blooms (HABs), comúnmente llamadas mareas rojas, los cuales producen coloración del agua por la proliferación de alguna especie de organismo planctónico pigmentado dando tonalidades que van desde un pardo

amarillento hasta un rojo intenso, dependiendo de la concentración y pigmentación de las especies (Méndez *et al.*, 1993). Este término es confuso ya que no todas las mareas rojas son tóxicas, ni todas las floraciones tóxicas son rojas. Algunas especies producen floraciones tóxicas sin coloración del agua y otras que son la mayoría, provocan coloraciones sin toxicidad. De las aproximadamente 2000 especies de dinoflagelados descritas solamente unas 30 producen toxinas.

Estos florecimientos, además de producir intoxicaciones a nivel humano, pueden causar la muerte de invertebrados y vertebrados marinos. El efecto negativo, por ejemplo sobre los peces, puede estar dado por la toxicidad de las microalgas o por asfixia como consecuencia de la obstrucción o daño a nivel branquial (Carreto *et al.*, 1985). Por otra parte, estas toxinas son acumuladas en moluscos comestibles que pueden ocasionar la muerte de sus consumidores. Para un ecosistema natural, dichos eventos tienen interesantes implicaciones a nivel ecológico, ya que generan condiciones de anoxia o bajan en gran medida las concentraciones de oxígeno, debido a la actividad bacteriana sobre la biomasa fitoplanctónica que se sedimenta durante la fase de finalización del florecimiento (Méndez, *et al.*, 1993).

Las intoxicaciones más peligrosas son las causadas por los géneros *Gymnodinium* y *Alexandrium*, que han afectado a las costas de Noruega y el Reino Unido; una de estas especies, *Alexandrium minutum*, fue observada por primera vez en la costa occidental de Suecia y desde allí se extendió al mar del Norte, luego a la costa oriental de Estados Unidos y por último a Australia y Nueva Zelanda. Otro dinoflagelado de importancia tóxica es *Pfiesteria piscicida*, especie descubierta en 1988 que tiene 24 formas distintas, algunas de las cuales producen una serie de toxinas inocuas para el ser humano, pero asociadas a lesiones y a mortandades de gran cantidad de peces, tras haber sido introducida en las aguas de lastre (Méndez *et al.*, 1993).

Por todo lo anterior, las aguas de lastre se han convertido en un problema de enorme magnitud, sin embargo, esta debe ser empleada para la seguridad de la embarcación porque le da balance y estabilidad, ya que sin el peso de la carga, su centro de gravedad puede quedar por encima de la línea de flotación y hacer que estas escoren, por lo tanto son necesarias para facilitar el proceso de carga y descarga de las mercancías (Figura 1). Las estrategias que han sido propuestas para reducir el riesgo de transferencia de organismos en las aguas de lastre incluyen: a) tratamientos mecánicos y físicos como filtración, separación y esterilización usando ozono, luz ultravioleta, corriente eléctrica y calor, b) tratamientos químicos como la adición de biocidas que puede resultar altamente riesgoso ya que estas sustancias igualmente tienen la capacidad de llegar a las aguas del medio natural ocasionando graves consecuencias y, c) el uso de pinturas “antifouling” (Ballast Water, 2000).

El intercambio del agua de lastre (en inglés Ballast Water Exchange - BWE) en mar abierto, es la única técnica recomendada por la OMI para reducir el riesgo de estas bioinvasiones, basándose en que las especies oceánicas no se adaptan a vivir en los ambientes cercanos a la costa, más aún cuando los puertos son ribereños o estuarinos, ya que el estrés osmótico de la salinidad actúa como biocida. Sin embargo, en algunos casos el proceso de intercambio puede empeorar la descarga de los organismos ya que no tiene en cuenta aquellos que son bentónicos ni los que tapizan las paredes internas de estos tanques, y se pueden proveer de agua rica en oxígeno y alimento favoreciendo el sostenimiento de algunas especies (Bella y Hulsmann, 2001).

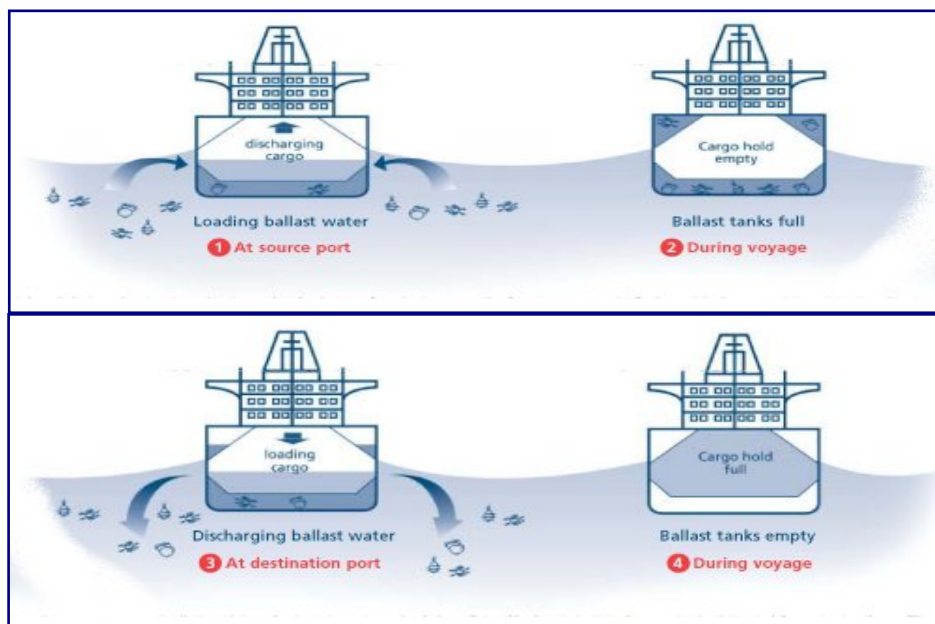


Figura 1. Transferencia de las aguas de lastre. 1) Embarcación descargando productos y tomando agua de lastre en el puerto inicial, 2) Embarcación sin carga transportando plancton durante un viaje, 3) Embarcación cargando productos y descargando lastre en el puerto de destino y 4) Embarcación con carga y tanques de lastre vacíos (Ballast Water, 2000).

3 METODOLOGIA

3.1 **ÁREA DE ESTUDIO**

La Bahía de Cartagena se encuentra localizada en el Caribe colombiano a los 10°26' – 10°16'N y 75°36' – 75°30'W (Garay y Giraldo, 1997; Figura 2). Por definición geológica se considera una bahía (Schaus, 1974); donde cuenta con un aporte significativo de aguas continentales provenientes del Canal del Dique, el cual generó grandes cambios morfológicos al introducir elementos adicionales como sedimentos, que debilitaron y ocasionaron rápidamente la muerte de sus formaciones coralinas (Ospina y Pardo, 1993).

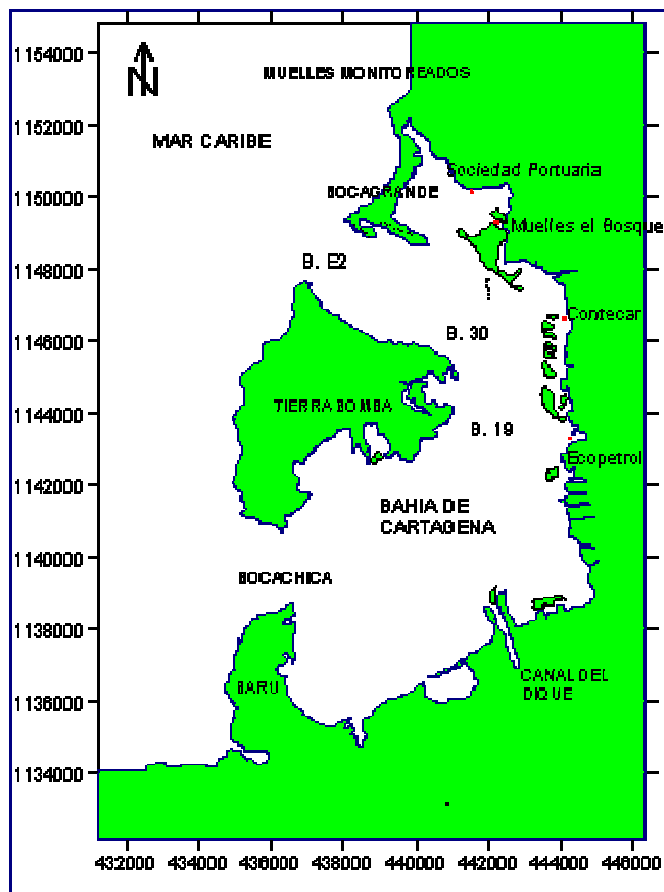


Figura 2. Bahía de Cartagena y los principales muelles de arribo de las embarcaciones (B: Boya) (CIOH, 2002).

Está Bahía es una cuenca somera con una profundidad promedio de 16 m y máxima de 26 m, abarcando una extensión aproximada de 82 km². Presenta dos entradas de renovación de aguas oceánicas, una en la parte norte o Bocagrande, que es una pared angosta, con profundidades entre 0.6 a 2.1 m y la otra en el sur que abarca tres estrechos donde el canal de navegación está constituido por Bocachica, que es el más importante desde el punto de vista de la renovación de las aguas debido a sus mayores profundidades (Garay, 1997).

El clima de la Bahía está determinada por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual le brinda características climáticas especiales, con tres épocas bien definidas y la presencia de vientos Alisios dominantes que soplan del NE. En los meses de diciembre a abril la acción de los vientos determina la época seca y entre agosto y noviembre la época humedad o lluviosa donde la acción de estos vientos disminuye; entre estas dos se presenta un periodo de transición entre mayo a julio con vientos suaves, aumento de la temperatura ambiental y lluvias de poca intensidad, denominado el Veranillo de San Juan (Andrade *et al.*, 1988).

Cartagena es uno de los puertos de mayor importancia en el Caribe colombiano. Hasta el año 1997, existían 56 muelles entre oficiales y privados de tipo petrolero, pesquero, recreacional, de turismo, astilleros, para carga y descarga de combustibles y productos químicos, para carga general y contenedores y de actividades varias (Tigeros, 2002).

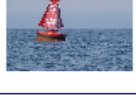
3.2 FASE DE CAMPO

3.2.1 Ubicación de las estaciones

Se escogieron siete estaciones de muestreo en la Bahía, ubicadas con un GPS Garmin 100 (Global Position System de ± 1 s de precisión), donde se incluyeron cuatro muelles de alto tráfico internacional e importancia comercial en la Bahía de Cartagena:

ECOPETROL, CONTECAR, El Bosque y Sociedad Portuaria, donde el arribo de motonaves es continuo. Además, tres boyas de referencia ubicadas así: la Boya 19 que se encuentra influenciada por las aguas que llegan del Canal del Dique, la Boya 30 que se localiza en el centro de la Bahía y la Boya E2 que se encuentra influenciada por aguas oceánicas y aguas procedentes de la Bahía (Figura 2). Las estaciones establecidas se ubicaron en las siguientes posiciones (Tabla 1).

Tabla 1. Posición de las estaciones en la Bahía de Cartagena 2005.

ESTACIONES	POSICION	
Muelle de ECOPELROL	10°19'04" N - 75°30'34" W	
Muelle de CONTECAR	10°22'34" N - 75°30'37" W	
Muelle El Bosque	10°23'57" N - 75°31'43" W	
Muelle de Sociedad Portuaria	10°24'12" N - 75°31'58" W	
Boya 19	10°20'09" N - 75°32'26" W	
Boya 30	10°22'42" N - 75°31'58" W	
Boya E2	10°23'44" N - 75°34'32" W	

Se realizaron dos monitoreos mensuales desde el mes de Marzo hasta Noviembre de 2005, cubriendo las tres épocas climáticas que se presentan a lo largo del año en la Bahía, donde la época seca va desde el mes de Diciembre a Abril, de Mayo a Julio comprende la época de transición y la finalmente la época de lluvia se encuentran los meses de Agosto a Noviembre.

Para los monitoreos del agua de lastre se escogieron buques tanqueros, siendo estos los de mayor facilidad para el ingreso a los manholes, de igual forma, se monitorearon buques containeros donde también fue posible acceder a las bombas de agua de lastre, a los tanques y a la expulsión del agua de lastre en cubierta; se muestrearon un total de 18 buques que arribaron a la Bahía entre el mes de Julio hasta Noviembre del 2005 y que deslastraron allí.

Se solicitó a cada embarcación una copia del formato de la OMI Resolución A.868 con el fin de tener en cuenta la procedencia, destino y el manejo que se le está aplicando al agua de lastre de acuerdo a las disposiciones de la Resolución, para así acceder a escoger un tanque a muestrear al azar (Anexo A).

3.2.2 Componente abiótico

La toma de muestras abióticas en los diferentes puntos de muestreo en la Bahía se recolectaron a dos profundidades: una superficial a 0,5 m de profundidad y otra profunda a 1 m arriba del fondo, utilizando la botella Niskin de 6 l de capacidad. Para la medición de la temperatura se empleó un termómetro de cazoleta con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, la salinidad con un refractómetro 10419 con ± 0.5 de precisión, el pH con un pHmetro Titrino con una precisión de $\pm 0,5$ y el oxígeno disuelto fue fijado en campo con Sulfato Manganeso (MnSO_4), Hidróxido de sodio (NaOH) y Yoduro de Potasio (KI), estos dos últimos reactivos combinados en una solución única; la transparencia se determinó con un disco Secchi de 11.5 cm de diámetro. En cuanto a la determinación de los nutrientes (nitritos, amonio y fosfatos), sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno y pigmentos fotosintéticos, las muestras se almacenaron en recipientes plásticos con capacidad de 5 l oscurecidos y almacenados en neveras de fibra de vidrio con hielo, con el fin de no alterar las características fisicoquímicas y biológicas, lo cual podría acarrear una degradación de los pigmentos y por lo tanto una subestimación de la clorofila o una sobrestimación de los feopigmentos (Parsons *et al.*, 1984).

A las muestras recolectadas en los buques, se les determinaron los parámetros fisicoquímicos *in situ* como la temperatura, la salinidad, el pH y el oxígeno disuelto, siguiendo las mismas metodologías descrita para muelles. Para la determinación de los demás parámetros se tomaron muestras adicionales en recipientes de 5 l oscurecidas y almacenadas en neveras de fibra de vidrio con hielo; para los nutrientes se empleó un volumen de 150 ml, para sólidos suspendidos totales el volumen tomado fue de 100 ml de la muestra, para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno se utilizó un volumen de 500 ml y para pigmentos fotosintéticos se tomó un volumen entre 1 l y 3 l, el resto de la muestra se almacenó como reserva a nivel de laboratorio.

3.2.3 Componente biótico

Para la recolección del componente fitoplanctónico en los muelles, se realizaron arrastres superficiales en una lancha con motor fuera de borda a una velocidad de 15,4 m/s aproximadamente, por un período de tiempo de 30 s con una red de plancton de 65 μm de diámetro de poro a una distancia de 2 m de la embarcación, las cuales fueron almacenadas en frascos de 500 ml y preservadas con formalina al 4% v/v y neutralizada con bórax.

La toma de muestras en los buques se hizo mediante una botella Niskin de 6 l de capacidad con cierre automático o con un recipiente volumétrico dependiendo del tipo de embarcación. La muestra se filtró en campo a través de un tamiz de 65 μm de diámetro de poro, que permitió tener en cuenta el microfitoplancton según la denominación empleada por Dussart (1965). Las muestras fueron igualmente preservadas en formalina al 4% v/v neutralizada con bórax en frascos plásticos de 500 ml.

3.3 FASE DE LABORATORIO

La metodología realizada hace parte de un proceso de acreditación del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional de Colombia (CIOH) empleando el Manual de Procedimientos Técnicos e Instructivos de Operación y Calibración de equipos de laboratorio de química (DIMAR – CIOH, 2005).

3.3.1 Componente abiótico

3.3.1.1 Sólidos Suspendidos Totales

La determinación de este componente se realizó mediante gravimetría, donde se filtra la muestra de agua a través de un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C de 1,2 μm , el cual posteriormente se seca a 103° - 105°C hasta obtener un peso constante.

3.3.1.2 Oxígeno disuelto

Este parámetro se determinó mediante el método clásico de Winkler (Garay *et al.*, 2003).

3.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La determinación de DBO_5 se realizó mediante el método de incubación donde es medida por el método de Winkler durante el periodo de incubación.

3.3.1.4 Nutrientes

La determinación de los nutrientes se realizó de acuerdo al Manual de Procedimientos Técnicos e Instructivos de Operación y Calibración de equipos de laboratorio de química

(DIMAR-CIOH, 2005), donde las lecturas de absorbancia se llevaron a cabo en un espectrofotómetro CARY 100.

Para los nitritos (NO_2^-), se utilizó el método de la sulfanilamida y diclorohidrato de N-(1-naftil) etilendiamina modificado por Bendschneider y Robinson (1952); el amonio (NH_4^+), se realizó mediante el método del azul de indofenol modificado por Strickland y Parsons (1968-1972) y para los fosfatos (PO_4^{3-}), se aplicó el método del ácido ascórbico (Strickland y Parsons, 1968-1972).

3.3.2 Componente biótico

3.3.2.1 Pigmentos fotosintéticos

La determinación de los pigmentos fotosintéticos fue realizada a partir de las muestras almacenadas en recipientes plásticos y refrigerados. Estas se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C de $0,47 \mu\text{m}$ y se extrajeron en acetona analítica al 90 %. La lectura de los extractos se efectuó en un espectrofotómetro CARY 100 contra un blanco de acetona al 90%, corrigiendo la turbidez al restar el valor de absorbancia a 750 nm a cada una de las mediciones a las diferentes longitudes de onda empleadas.

3.3.2.2 Composición y abundancia del fitoplancton

Para la observación de los microorganismos fitoplanctónicos para muelles y buques, se utilizó un microscopio óptico marca Olympus empleando oculares de 4x, 10x, 40x, donde se montaron alícuotas en una placa Sedgwick-Rafter (SR) de 2 ml, analizando la totalidad de esta; el número de alícuotas a observar se estableció mediante el método de curvas de diversidad acumulada mediante el índice de Shannon – Wiener (Ludwig y Reynolds, 1988):

$$H' = - \sum [(n_i / n) * \ln(n_i / n)]$$

Donde, H' es el índice de diversidad de Shannon-Wiener, n_i es el valor de importancia de cada taxa (número de individuos), n es el total de los valores de importancia (número total de individuos).

En caso de ser necesario, se utilizó el ocular de mayor aumento (100x) extrayendo las células que se necesitaban identificar en un portaobjetos; se tomaron iconografías como ayuda, de igual forma se consultaron los trabajos de Cupp (2005); Vidal y Carbonell (1977), Botes, 2001, Balech (1988), Rines y Margraves (1988), Moreno *et al.* (1996), Tomas (1996) y Matsuoka y Fukuyo (2000), para la identificación de los organismos.

3.4 FASE DE GABINETE

3.4.1 Pigmentos fotosintéticos

Se siguió el método tricromático para la determinación de clorofila a, b y c, y la determinación de clorofila a en presencia de feofitinas, de acuerdo a las siguientes ecuaciones propuestas por Jeffrey y Humphrey (1975):

$$\text{mg Chl } \underline{a} / \text{m}^3 = \frac{11,85 * (\text{Abs } 664) - 1,54 * (\text{Abs } 647) - 0,08 * (\text{Abs } 630) * v}{V * 1000}$$

$$\text{mg Feopigmento } \underline{a} / \text{m}^3 = \frac{26,7 (1,7 [665a] - 665o) * v}{V * l}$$

Donde 664_o, 647_o, 630_o y 665_o son las absorbancias (nm) tomadas antes de la acidificación con HCl 0.1 N; 665_a, es la absorbancia tomada después de la acidificación; v es el volumen de acetona empleado en la extracción (ml); V es el volumen de agua filtrada (l) y l es el ancho en centímetros de la celda empleada en la lectura.

Adicionalmente, se determinaron las concentraciones de clorofila b y c siguiendo las fórmulas propuestas por Jeffrey *et al.* (1997).

$$\text{mg Chl } \underline{b} / \text{m}^3 = \frac{-5,43 * E_{664} + 21,03 * E_{647} - 2,66 * E_{630} * v}{V * l}$$

$$\text{mg Chl } \underline{c} / \text{m}^3 = \frac{-1,67 * E_{664} - 7,60 * E_{647} + 24,52 * E_{630} * v}{V * l}$$

3.4.2 Concentración de nutrientes

Los valores de absorbancia que se realizaron para cada nutriente, fueron transformados en unidades de concentración mediante curvas de calibración con la siguiente fórmula:

$$\text{mg Nutrientes} / l = \frac{\text{Abs} \cdot b}{a}$$

donde Abs es la lectura del espectrofotómetro a la longitud de onda correspondiente corregida contra un blanco de reactivos; a y b son la pendiente y el intercepto de la recta obtenida por regresión lineal.

3.4.3 Composición y abundancia fitoplanctónica

Para las muestras obtenidas en muelles, se realizó una matriz primaria de información donde se registró el listado de las especies encontradas sistemáticamente con su nombre dicotómico (género-especie). Se realizaron histogramas de abundancia relativa para encontrar los grupos de mayor aporte dentro del fitoplancton, estos se realizaron

tanto para cada estación como para todo el muestreo. Para detectar las posibles diferencias en la composición entre las estaciones se realizó un análisis de clasificación cualitativo de Jaccard, empleando la estrategia de ligamento promedio no ponderado (UPGMA), mediante el programa CLUSTER 1990 para DOS (Ludwing y Reynolds, 1988).

Para los buques, la composición de especies se reportó siguiendo las mismas estrategias que para los muelles. La densidad de células, se calculó a partir de la ecuación:

$$\text{Cel/l D} = \frac{\left[\frac{\text{Vol ()} * \text{N}^\circ \text{ cel}}{\text{Va}} \right]}{\text{Vb}}$$

donde Vol () es el volumen concentrado de la muestra en ml; N° cel es el número de células encontradas; Va, es el volumen en ml total de las alícuotas observadas; Vb es el volumen filtrado de la botella Niskin o recipiente volumétrico usado (litros).

A partir de la información obtenida, se determinaron los atributos ecológicos como los índices de Riqueza, Abundancia, Uniformidad de Pielou, Diversidad de Shannon, Predominio de Simpson, realizados mediante el programa Primer® 5.2.2. De igual forma, se adelantaron análisis de clasificación mediante el índice cualitativo de similaridad de Jaccard y el índice de disimilaridad cuantitativo de Bray-Curtis, para establecer los posibles agrupamientos entre buques a partir de la presencia-ausencia y/o densidad de especies fitoplanctónicas. Se aplicó la estrategia de ligamento promedio no ponderado (UPGMA), mediante el programa CLUSTER 1990 para DOS (Ludwing y Reynolds, 1988). Con la información biológica obtenida en los muelles y las aguas de lastre de los buques muestreados, se hizo una descripción en términos de composición,

considerando qué especies se presentaron en común y cuáles de ellas podrían representar riesgos para el ecosistema.

3.4.4 Encuestas

La información recolectada de los buques muestreados, se tabularon en una matriz primaria donde se registraron datos básicos como: origen del agua tomada y deslastrada, volumen de toma y descarga del agua.

3.4.5 Dinámica espacio temporal de las variables bióticas y abióticas

Con las variables de nitritos, amonio, fosfatos, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, transparencia, salinidad, temperatura, pH, clorofila a, b y c y feopigmento a, se calculó la media, la desviación estándar y valores máximos y mínimos. Se realizó un Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP) para observar las variaciones espacio temporales de los buques y los muelles.

Para observar las posibles uniones de los patrones bióticos con las variables abióticas, se realizó un análisis de correlación de Spearman (BIO –ENV), lo que permitió definir las variables abióticas que mejor explicaran el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica. Los datos usados para este análisis, se estandarizaron con el fin de llevarlos a una escala numérica comparable mediante la siguiente fórmula:

$$Z:= \text{Ln} (X+1)$$

donde, Z es la variable estandarizada y X es el valor de importancia de la variable.

4 RESULTADOS

4.1 MUELLES BAHÍA DE CARTAGENA

Los resultados brutos de los parámetros fisicoquímicos se encuentran registrados en el Anexo B.

4.1.1 Transparencia

Se registraron valores de transparencia del agua entre 0,1 y 3,5 m, observándose para la época seca un promedio de $1,6 \pm 0,9$ m, seguida de la época de transición con $0,97 \pm 0,49$ m y por último la de lluvia con $0,78 \pm 0,29$ m (Figura 3).

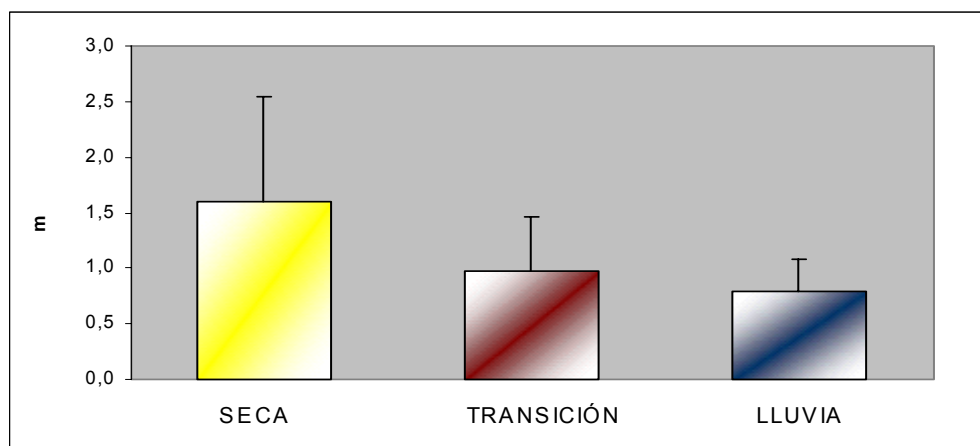


Figura 3. Datos promedio transparencia del agua en cada uno de los períodos climáticos en el año 2005, para la Bahía de Cartagena.

4.1.2 Temperatura del agua

La temperatura del agua durante el período de muestreo osciló entre los 24 y 33°C, registrándose un promedio de temperatura de $29 \pm 1,0$ °C. Los mayores promedios de temperaturas se registraron en las épocas de transición y lluvias con $29,4 \pm 1,4$ °C y $29,3$

$\pm 1,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente, mientras que en la época seca se reportó un valor de $27,6 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ (Figura 4).

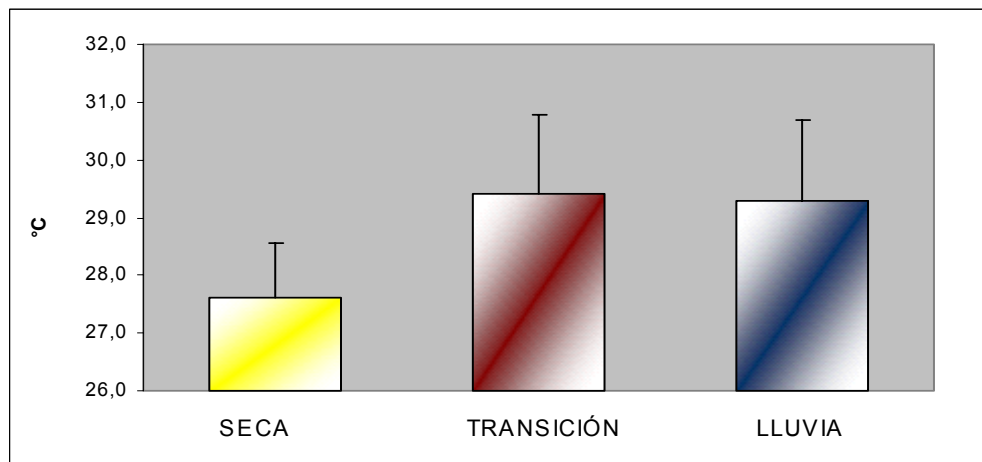


Figura 4. Temperatura promedio del agua en las épocas climáticas presentes en la Bahía de Cartagena durante el año 2005.

A nivel superficial, todas las estaciones presentaron promedios de temperaturas del agua similares entre los $29,1 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$, y los $30,1 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$, con un promedio total de $29,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$; de igual forma, a nivel de fondo las temperaturas oscilaron entre $28,6 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ y los $28,9 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ con un promedio total de $29 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Figura 5).

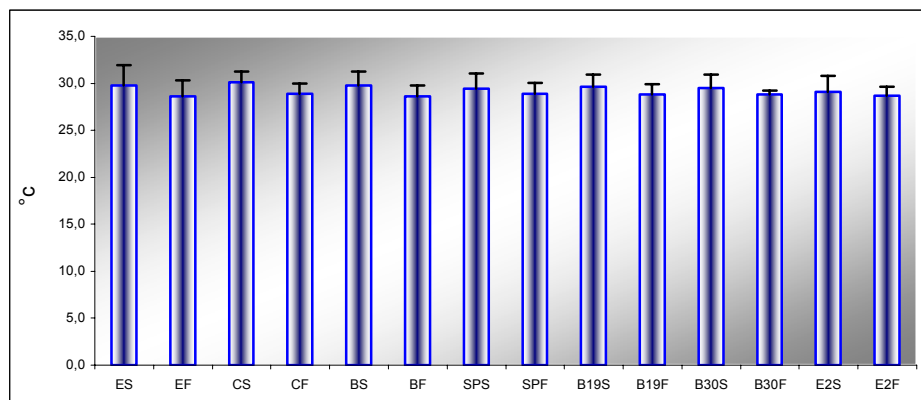


Figura 5. Datos promedio de temperatura del agua para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.3 Salinidad

La salinidad varió en un amplio rango entre 2 y 35 UPS, con un promedio de $26,2 \pm 7,1$ en la época seca; $26,1 \pm 6,6$ para la época de lluvia, mientras que para la época de transición se presentó una salinidad promedio de $25 \pm 7,6$ (Figura 6).

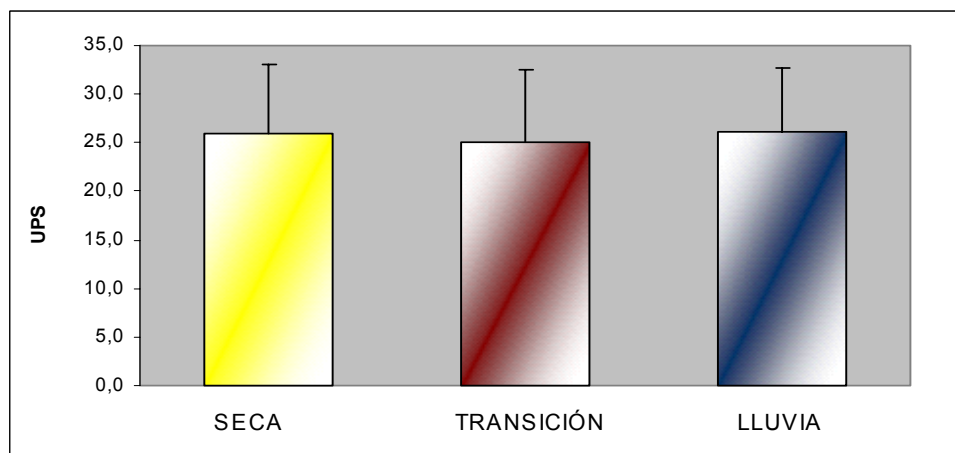


Figura 6. Concentraciones promedio de salinidad para las épocas climáticas presentes en la Bahía de Cartagena durante el año 2005.

A nivel superficial, las estaciones con mayor promedio de salinidad fueron El Bosque, Sociedad Portuaria y la Boya E2 ($25 \pm 3,87$; $25 \pm 4,48$; $25 \pm 4,2$, respectivamente) y las de menor valor la Boya 19 con $14 \pm 8,01$ y ECOPETROL ($15 \pm 4,1$). En cuanto a las estaciones de fondo, las mayores salinidades se encontraron en ECOPETROL ($30 \pm 1,6$), CONTECAR ($30 \pm 1,1$), Sociedad Portuaria ($31 \pm 1,2$), El Bosque ($30 \pm 2,2$), Boya 19 ($32 \pm 1,37$) Boya 30 ($32 \pm 1,7$) y Boya E2 ($32 \pm 2,8$) (Figura 7).

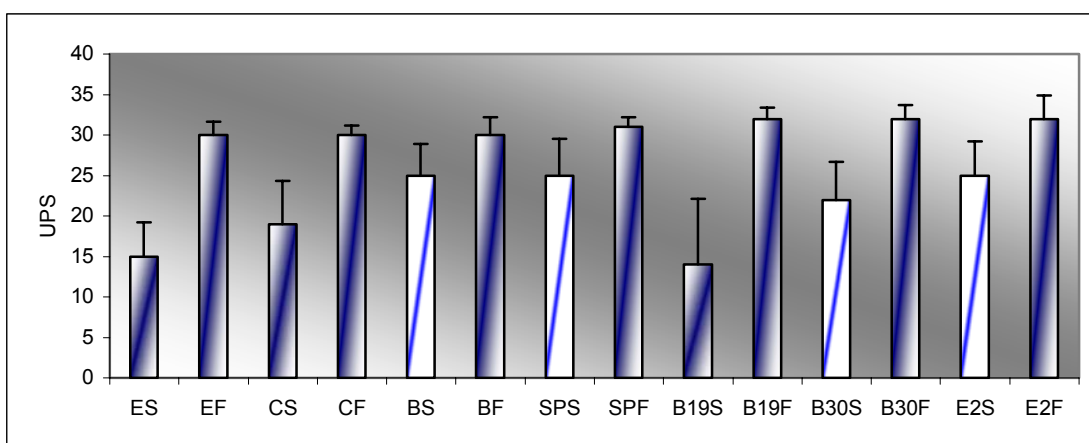


Figura 7. Datos promedio de salinidad para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena a lo largo del año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.4 pH

Los valores de pH oscilaron entre 6,98 y 8,61 para todo el muestreo, la mayor concentración promedio se registró en la época de transición con $8,18 \pm 0,14$, seguida de la época seca $8,13 \pm 0,17$ en y por último $8,08 \pm 0,24$ en lluvia (Figura 8).

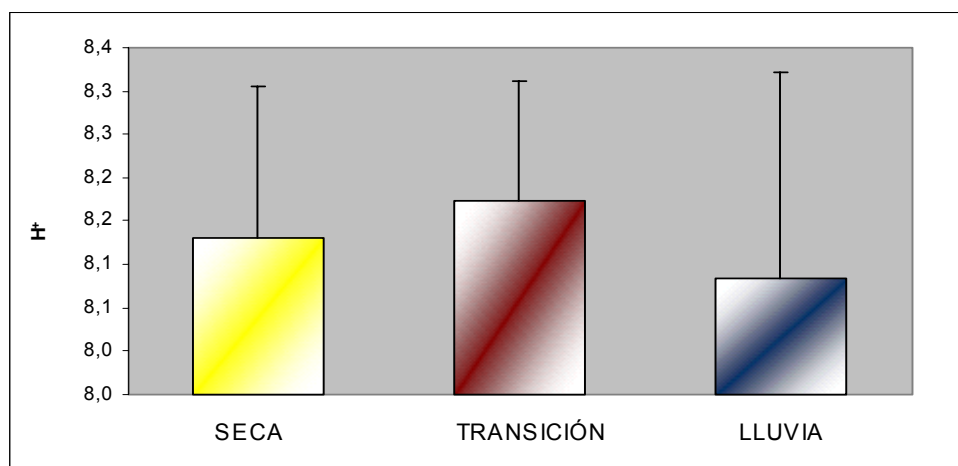


Figura 8. Concentraciones promedio de pH en las épocas climáticas para la Bahía de Cartagena durante el año 2005.

Las mayores concentraciones promedio de pH se registraron a nivel superficial en los muelles de ECOPETROL ($8,23 \pm 0,1$), CONTECAR ($8,22 \pm 0,1$), Boya 19 ($8,22 \pm 0,1$) y Boya 30 ($8,20 \pm 0,2$) y el menor valor se reportó en la Boya E2 con $8,11 \pm 0,5$. En cuanto a las estaciones de fondo, se presentó el valor más alto en la Boya 30 con $8,12 \pm 0,07$ y las menores concentraciones en CONTECAR y Sociedad Portuaria con un valor de $7,99 \pm 0,1$ (Figura 9).

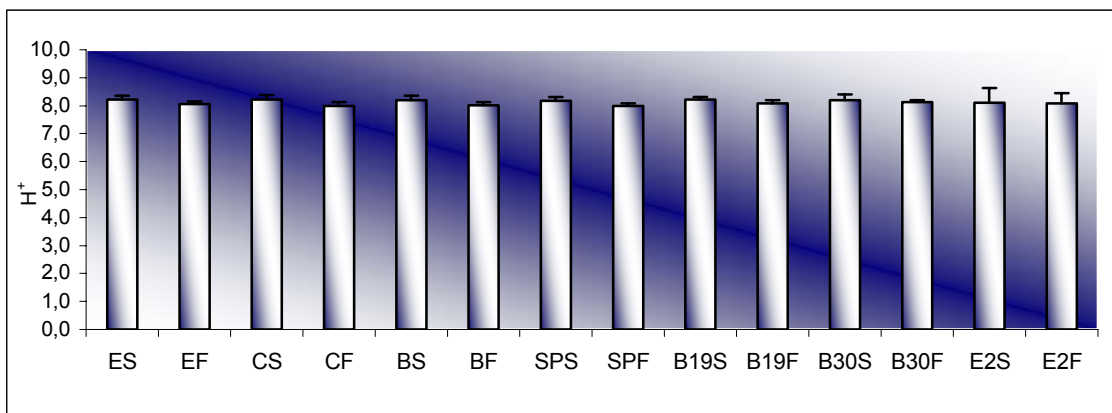


Figura 9. pH promedio para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena durante el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.5 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales oscilaron entre 1,0 y 283 mg/l para todo el muestreo, la época que presentó la mayor concentración promedio fue la de lluvias con $45,3 \pm 60,3$ mg/l, seguida de la época seca con $25,5 \pm 34,5$ mg/l y la de transición con $19,2 \pm 21,8$ mg/l, que registró la menor concentración (Figura 10).

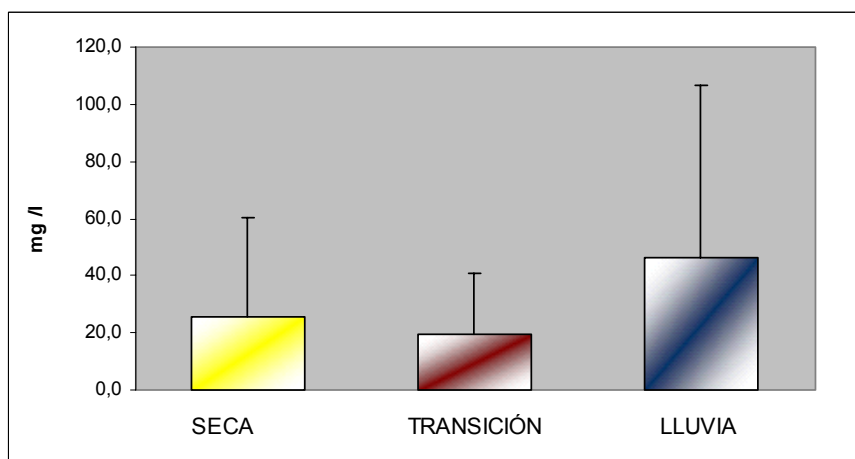


Figura 10. Datos promedio de sólidos suspendidos totales en las tres épocas climáticas para la Bahía de Cartagena en el año 2005.

Los muelles que reportaron las mayores concentraciones promedio a nivel superficial fueron ECOPETROL con $30 \pm 38,0$ mg/l, Boya 19 ($24,1 \pm 11,1$ mg/l) y Boya 30 con $20 \pm 19,0$ mg/l; la estación que presentó la menor concentración fue la Boya E2 ($8,4 \pm 3,61$ mg/l). A nivel de profundidad, se encontró que los muelles de ECOPETROL ($63,1 \pm 75$ mg/l) y Sociedad Portuaria ($58,9 \pm 80,8$) mg/l) presentaron las concentraciones más altas y la menor concentración se registró en la Boya E2 con $24,7 \pm 32$ mg/l (Figura 11).

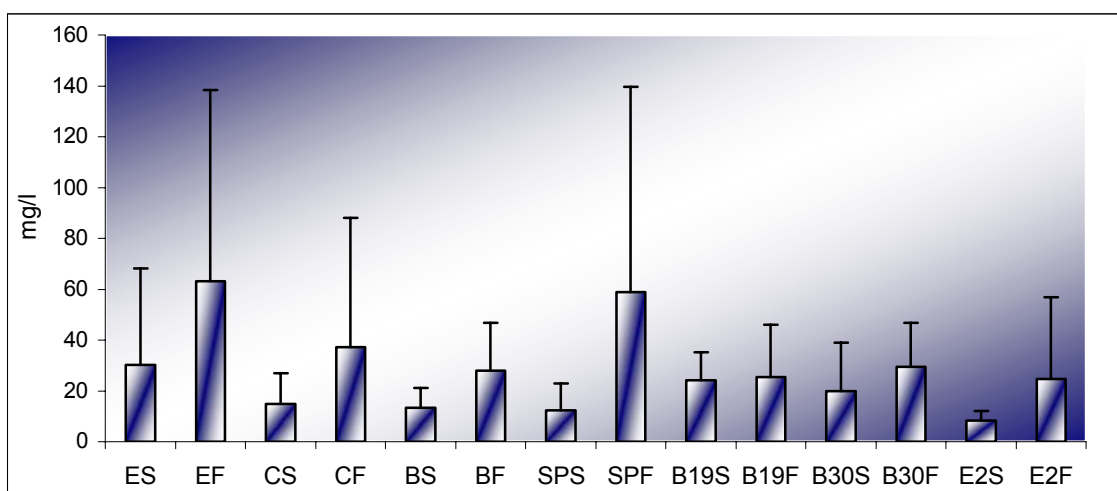


Figura 11. Datos promedio sólidos suspendidos totales para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena durante el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.6 Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron entre 0,46 y 9,95 mg O₂/l, con un promedio de $5 \pm 2,2$ mg O₂/l, presentándose la mayor concentración promedio durante la época de lluvia con un valor de $5,3 \pm 2,1$ mg O₂/l, seguida de las épocas seca ($4,85 \pm 1,9$ mg O₂/l) y transición con $4,85 \pm 2,4$ mg O₂/l (Figura 12).

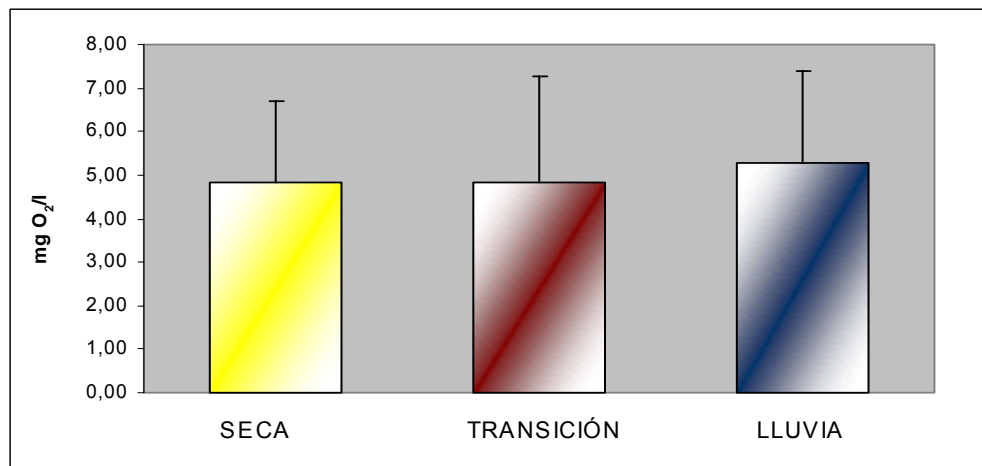


Figura 12. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena a lo largo del año 2005.

A nivel superficial, el muelle que presentó la mayor concentración promedio fue la Boya 30 con $7,41 \pm 0,36$ mg O₂/l y ECOPETROL con $6,82 \pm 1,04$ mg O₂/l, mientras que la estación con la menor concentración fue la Boya E2 ($6,16 \pm 0,72$ mg O₂/l). A nivel de profundidad el muelle que presentó los más altos niveles de oxígeno disuelto fue ECOPETROL ($4,51 \pm 1,32$ mg O₂/l) y El Bosque fue la estación que presentó el menor valor con $2,86 \pm 2,24$ mg O₂/l (Figura 13).

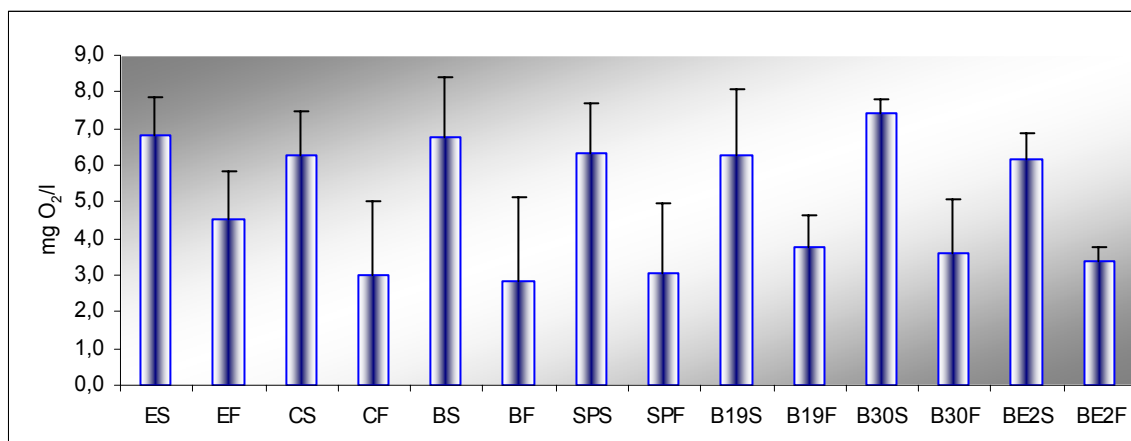


Figura 13. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo)

4.1.7 Demanda bioquímica de oxígeno

Los resultados oscilaron entre 0,023 y 509 mg DBO/l, el período de mayor promedio de demanda fue la época de transición ($72,8 \pm 115$ mg DBO/l), seguida de la seca con $70,22 \pm 104,4$ mg DBO/l y finalizando con la de lluvia ($27 \pm 40,0$ mg DBO/l) que presentó la menor concentración (Figura 14).

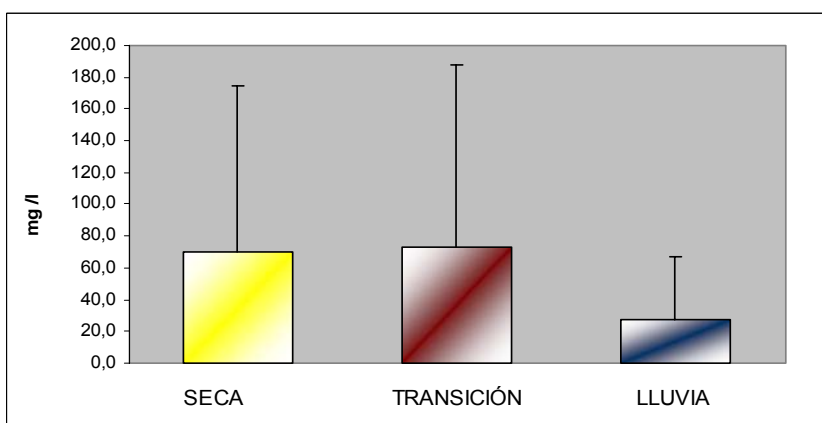


Figura 14. Concentraciones promedio de demanda bioquímica de oxígeno para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena en el año 2005.

A nivel superficial, la estación que presentó la mayor concentración promedio fue la Boya 19 con $12,3 \pm 35,4$ mg DBO/l, mientras que El Bosque con $1,9 \pm 0,9$ mg DBO/l, reportó el menor valor. A nivel de profundidad, las estaciones de Sociedad Portuaria ($137,4 \pm 117$ mg DBO/l); Boya 19 ($123,2 \pm 71,0$ mg DBO/l); ECOPETROL (113 ± 130 mg DBO/l) y finalmente El Bosque con $106,9 \pm 106,2$ mg DBO/l, presentaron las concentraciones más altas, mientras que los niveles más bajos fueron en la Boya 30 ($36,9 \pm 40,4$ mg DBO/l) y la Boya E2 con $33,7 \pm 47,3$ mg DBO/l (Figura 15).

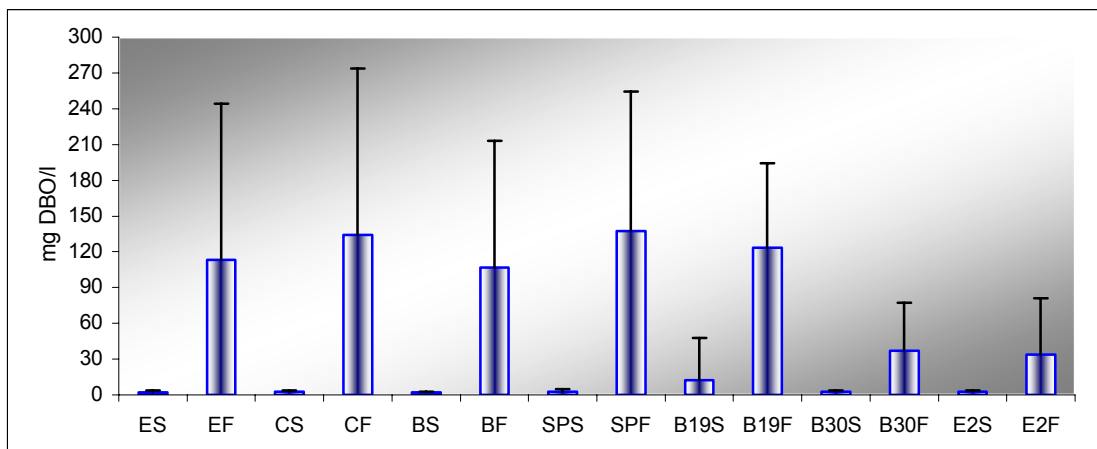


Figura 15. Valores promedio de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.8 Nitritos

Las concentraciones de nitritos para todo el muestreo oscilaron entre 0,001 hasta 0,374 mg NO₂⁻/l. La época de transición registró el valor promedio más alto de 0,02 ± 0,04 mg NO₂⁻/l, seguida por la época de lluvia con un promedio de 0,011 ± 0,012 mg NO₂⁻/l y por último la época seca con 0,008 ± 0,012 mg NO₂⁻/l (Figura 16).

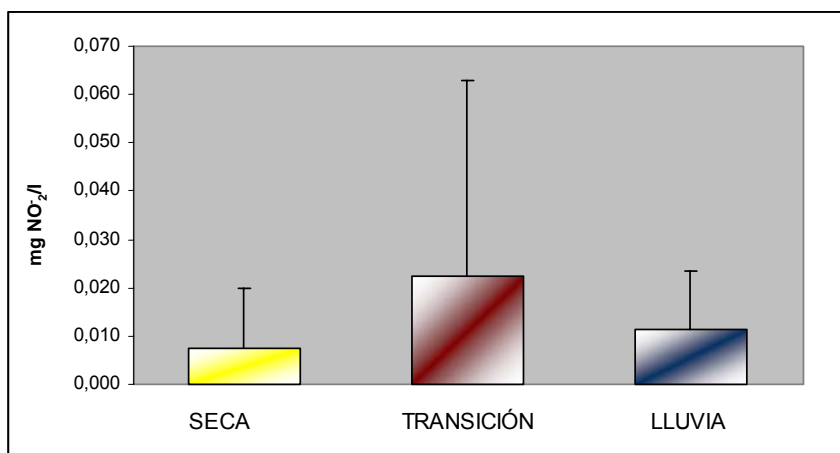


Figura 16. Concentraciones promedio de nitritos para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena durante el año 2005.

La mayor concentración promedio de nitritos a nivel superficial se presentó en el muelle de ECOPETROL con un valor de 0,033 ± 0,08 mg NO₂⁻/l, la menor fue de 0,004 ± 0,006 mg NO₂⁻/l para la estación El Bosque. En cuanto a las concentraciones en el fondo, se presentaron las más altas en El Bosque (0,032 ± 0,019 mg NO₂⁻/l) y Sociedad Portuaria (0,026 ± 0,015 mg NO₂⁻/l), de igual forma, los valores más bajos fueron de 0,007 ± 0,008 mg NO₂⁻/l en la Boya 19 y 0,005 ± 0,007 mg NO₂⁻/l en la Boya E2 (Figura 17).

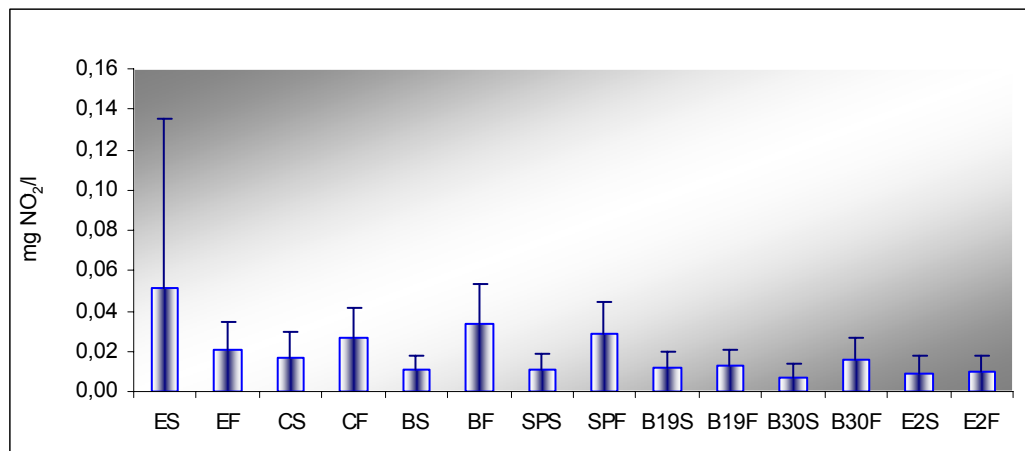


Figura 17. Concentraciones promedio de nitritos para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.9 Amonio

Los niveles de amonio variaron desde 0,002 mg NH₄⁺/l hasta 1,576 mg NH₄⁺/l, durante todo el muestreo. La mayor concentración promedio se presentó en la época de lluvia con un valor promedio de 0,095 ± 0,25 mg NH₄⁺/l, seguido por la época seca con un promedio de 0,04 ± 0,08 mg NH₄⁺/l y por último la época de transición con 0,02 ± 0,03 mg NH₄⁺/l (Figura 18).

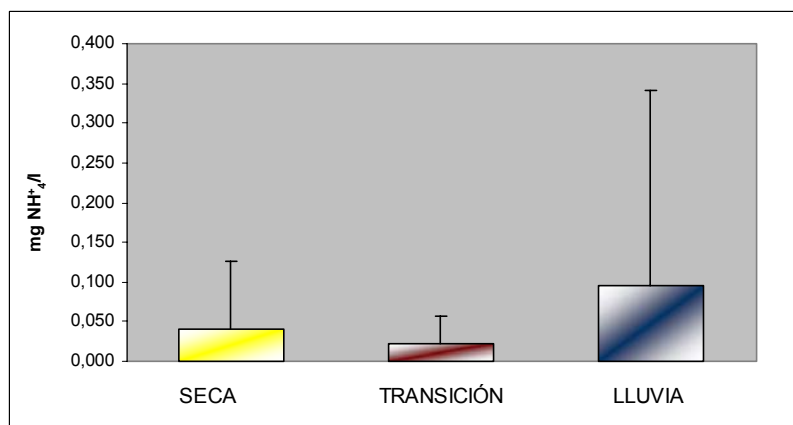


Figura 18. Concentraciones promedio de amonio para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena en el año 2005.

En cuanto a las estaciones a nivel superficial, el muelle de ECOPETROL presentó la concentración promedio más alta $0,220 \pm 0,38$ mg NH₄⁺/l y el menor valor se encontró en el muelle El Bosque ($0,019 \pm 0,03$ mg NH₄⁺/l). En las estaciones de fondo se encontraron concentraciones altas en El Bosque ($0,025 \pm 0,044$ mg NH₄⁺/l) y la Boya 30 ($0,024 \pm 0,038$ mg NH₄⁺/l) y las más bajas en Sociedad Portuaria con $0,013 \pm 0,02$ mg NH₄⁺/l (Figura 19).

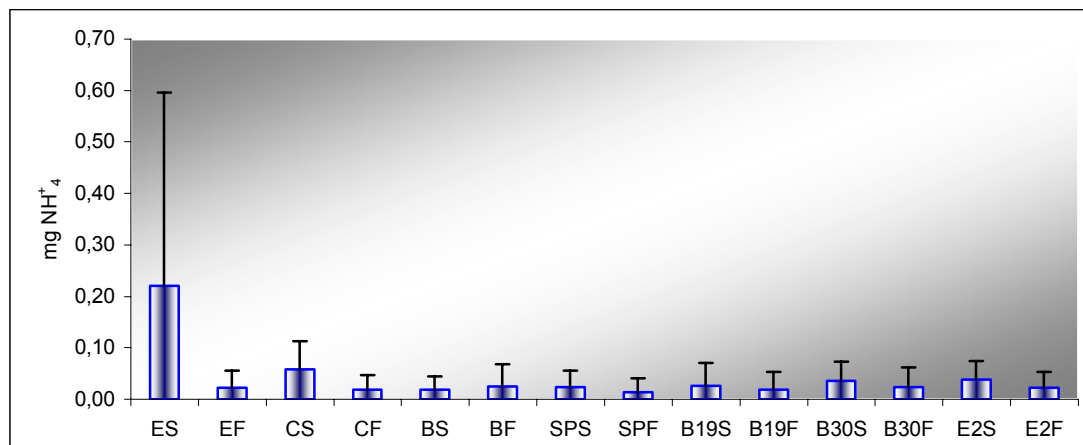


Figura 19. Concentraciones promedio de amonio para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficial; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficial, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficial; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficial; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficial; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficial; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficial; BE2F: Boya E2 fondo).

4.1.10 Fosfatos

Las concentraciones obtenidas para este componente fluctuaron entre 0,009 y 0,483 mg PO_4^-/l . El mayor valor promedio se evidenció en la época de transición ($0,04 \pm 0,07$ mg PO_4^-/l), mientras que en las épocas seca y de lluvia la concentración promedio fue de $0,02 \pm 0,27$ mg PO_4^-/l y $0,02 \pm 0,018$ mg PO_4^-/l , respectivamente (Figura 20).

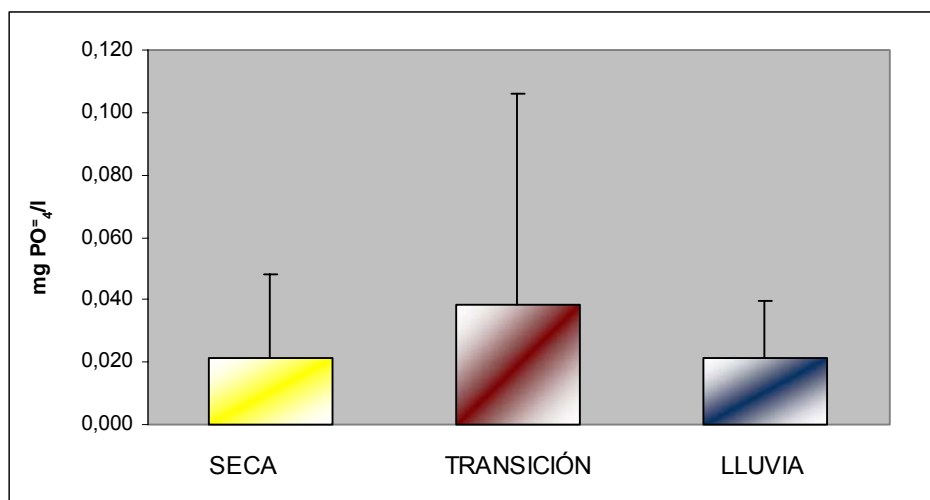


Figura 20. Concentraciones promedio de fosfatos para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena durante año 2005.

El muelle que presentó la concentración más altas fue ECOPETROL con promedio de $0,09 \pm 0,13$ mg PO_4^-/l y la más baja en Sociedad Portuaria con $0,014 \pm 0,009$ mg PO_4^-/l ; para las estaciones de fondo se registraron los valores más alto en El Bosque ($0,037 \pm 0,019$ mg PO_4^-/l) y Sociedad Portuaria con $0,032 \pm 0,019$ mg PO_4^-/l y la menor en la Boya E2 con $0,010 \pm 0,002$ mg PO_4^-/l (Figura 21).

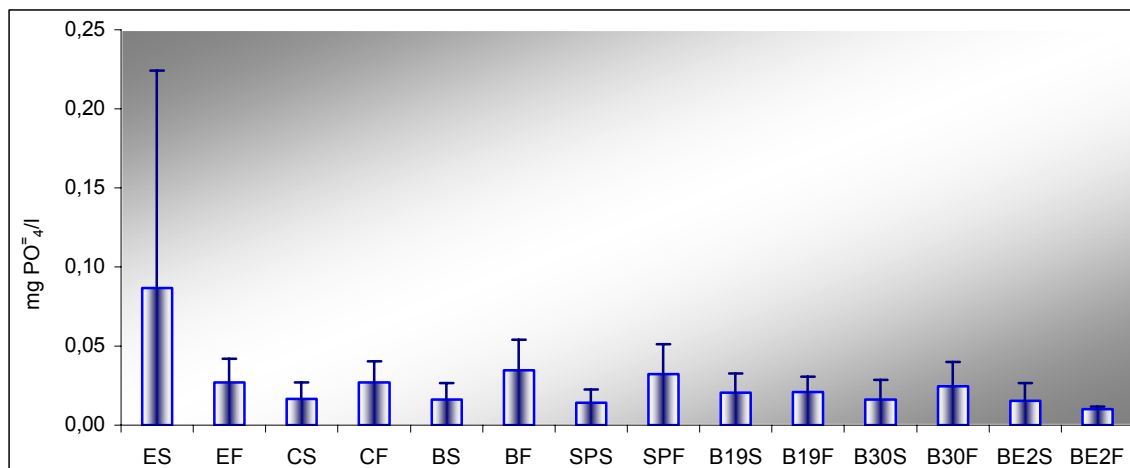


Figura 21. Concentraciones promedio de fosfato para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

4.2 AGUAS DE LASTRE

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en los buques se registran en el Anexo C.

4.2.1 Temperatura

La temperatura de los tanques del agua de lastre osciló entre 25 y 32 °C, registrándose la mayor temperatura en el buque Palenque y la menor en Punta Arenas (Figura 22).

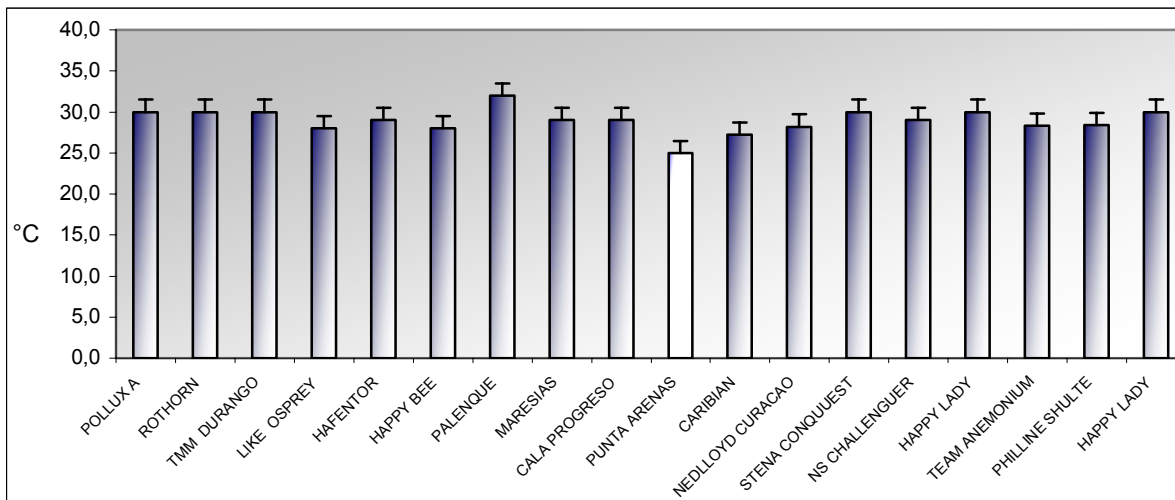


Figura 22. Datos de temperatura para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.2 Salinidad

La salinidad registrada osciló entre los 22 y 35 UPS presentando la menor concentración en el buque Team Anemonium y la mayor en Happy Lady (Figura 23).

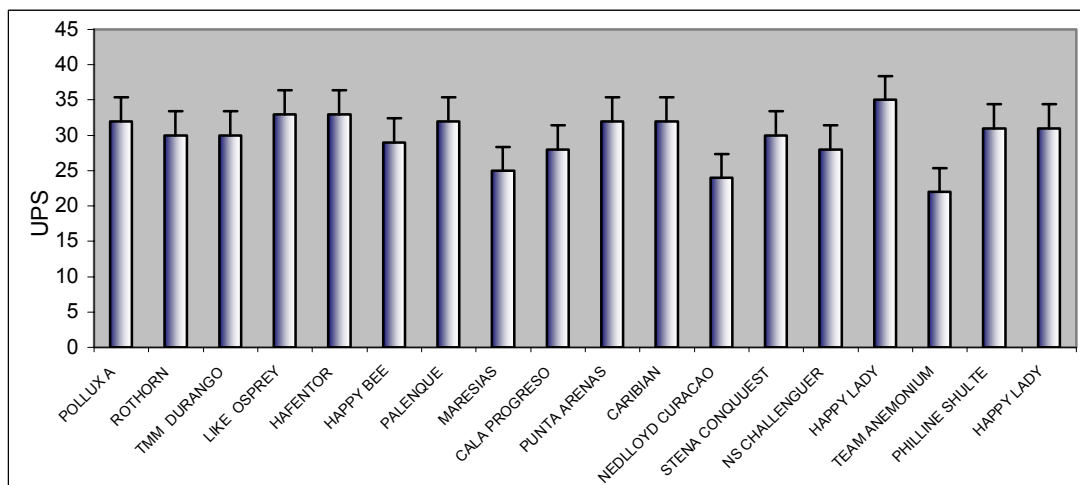


Figura 23. Datos de salinidad para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.3 pH

Los rangos de pH variaron entre los 6,20 a 8,22, registrándose un promedio de $7,87 \pm 0,6$ en diez tanques muestreados (Figura 24), la ausencia de los datos de los buques, Hafentor, Happy Bee, Cala Palenque, Maresias, Cala Progreso, Punta Arenas, Caribbean Express, Nedlloyd Curacao, se presentó debido a una falla técnica con el pHmetro.

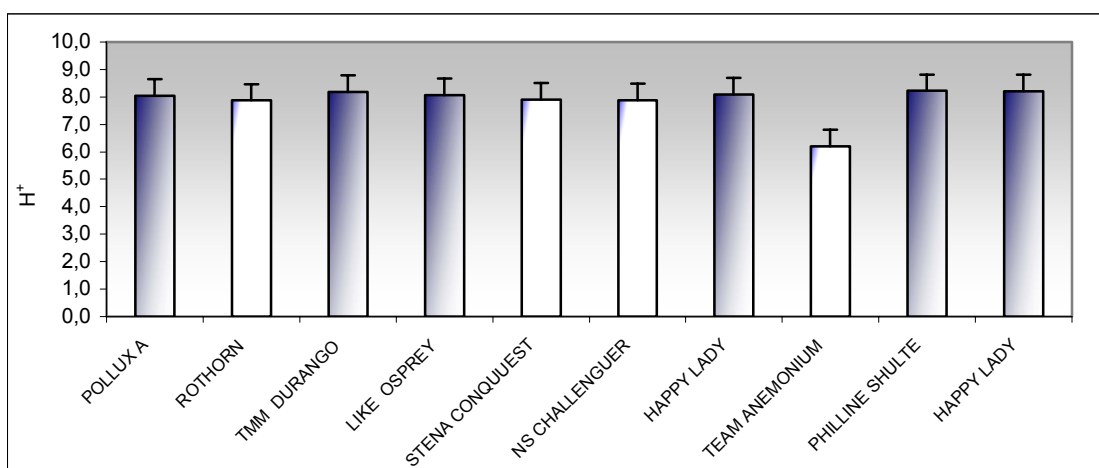


Figura 24. Valores de pH para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.4 Sólidos suspendidos totales

Los valores obtenidos variaron entre 3 y 297 mg/l de sólidos suspendidos totales teniendo como promedio 44 ± 82 mg/l. Las concentraciones más altas se encontraron en los buques Happy Bee (297 mg/l) y Philline Shulte con 236,3 mg/l y los más bajos en los buques Pollux A (3,0 mg/l), Palenque (6,3 mg/l), Cala Progreso (70 mg/l) Nedlloyd Curacao (7,7 mg/l) y NS Challenguer con 9,3 mg/l (Figura 25).

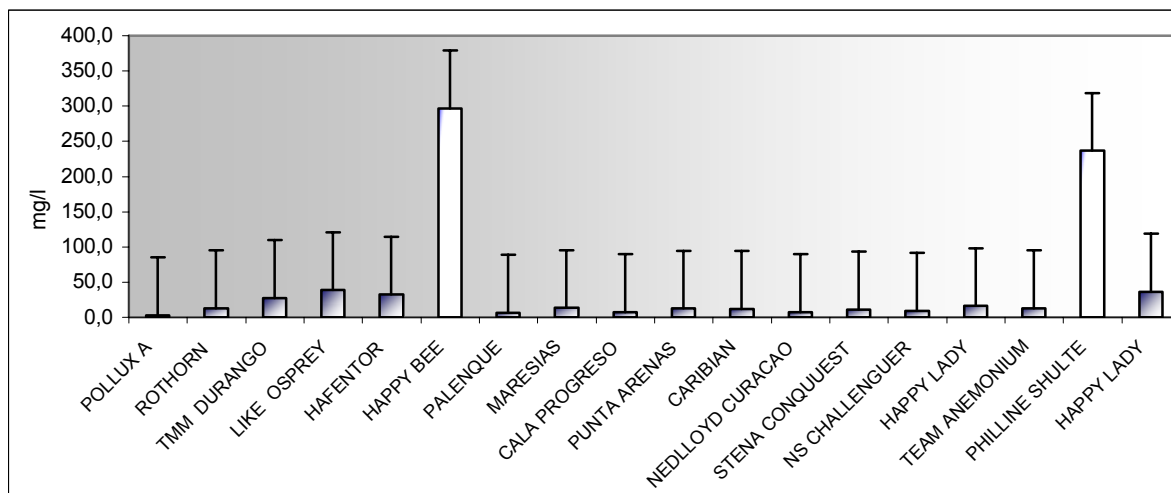


Figura 25. Datos de sólidos suspendidos totales para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.5 Oxígeno Disuelto

Para los buques Durango, Hafentor, Punta Arenas, Caribia Express y Nedlloyd Curazao, no se les realizó la prueba de oxígeno disuelto debido a que la toma de agua se realizó por medio de expulsión de esta, por lo tanto tomarla en esas condiciones se sobrestimaría este gas, para el resto de los buques, los valores variaron entre 2,21 y 8,08 mg O₂/l con un promedio de 5,92 ± 1,8 mg O₂/l. La mayor concentración de oxígeno se observó en el buque Like Osprey (8,08 mg O₂/l) y la menor en el buque Rothorn con 2,94 mg O₂/l (Figura 26).

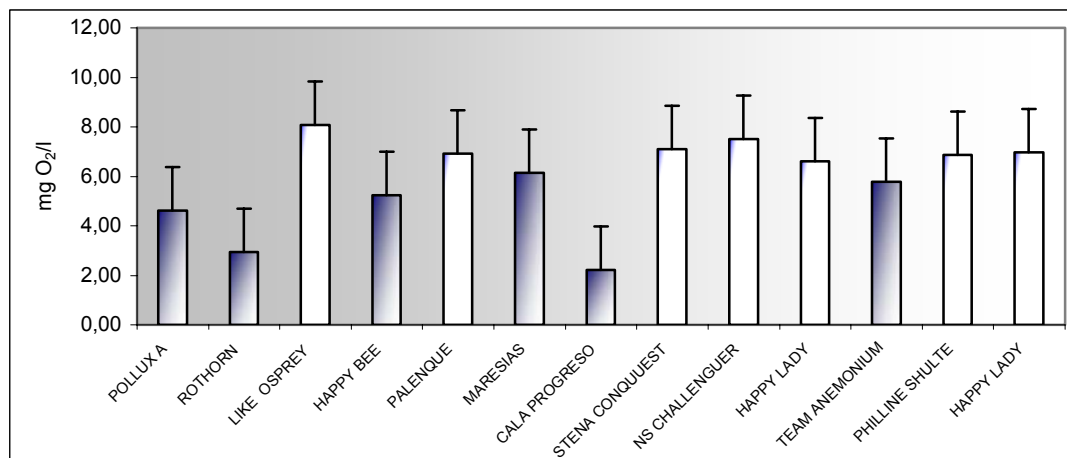


Figura 26. Concentraciones de oxígeno disuelto para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los datos oscilaron entre 0,45 y 37,6 mg DBO/l, presentando un promedio de $5,15 \pm 8,2$ mg DBO/l, la concentración más alta de este componente se registró en el buque Happy Lady (37,6 mg/l) y la más baja en los buques Rothorn (0,45 mg DBO/l) y Pollux A con 0,92 mg DBO/l (Figura 27).

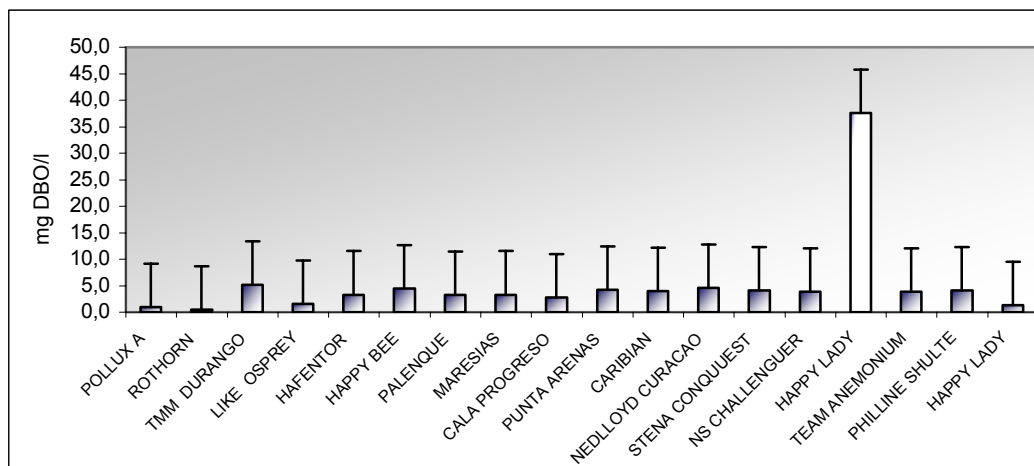


Figura 27. Concentraciones Demanda Bioquímica de Oxígeno para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.7 Nitritos

Las concentraciones de este componente variaron entre 0,001 y 0,180 mg NO₂⁻/l, registrándose un promedio de 0,020 ± 0,004 mg NO₂⁻/l, la mayor concentración de nitritos se observó en Stena Conquest (0,180 mg NO₂⁻/l Figura 28), el valor del límite de detección fue de 0,001 mg NO₂⁻/l, el cual se registró en cinco buques.

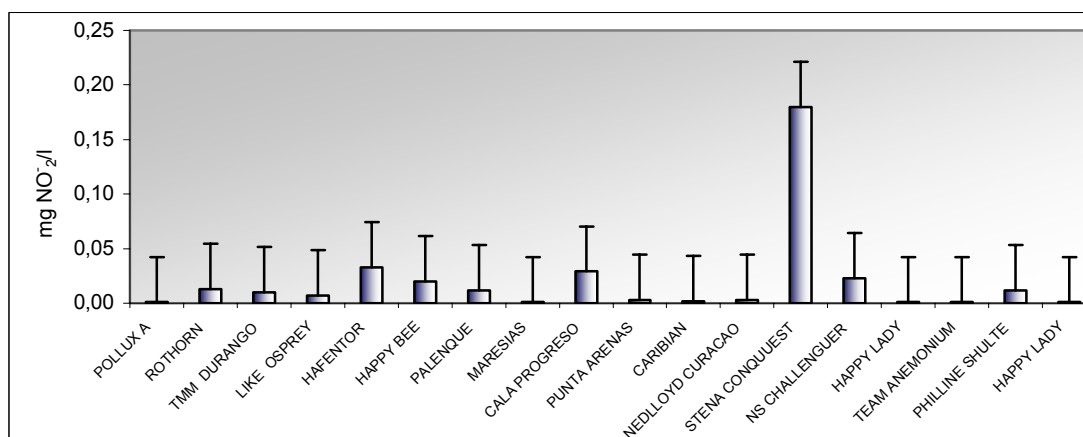


Figura 28. Concentraciones de nitritos para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.8 Amonio

Los datos variaron entre los 0,002 y 1,64 mg NH_4^+ /l, registrándose un promedio de $0,25 \pm 0,5$ mg NH_4^+ /l, las concentraciones más altas se observaron en los buques Rothorn (1,64 mg NH_4^+ /l) Pollux A (1,26 mg NH_4^+ /l) y Durango (1,10 mg NH_4^+ /l), mientras que las concentraciones más bajas se registraron con el límite de detección (0,002 mg NH_4^+ /l) en los buques, Punta Arenas, Caribbean Express, Nedlloyd Curacao, Stena Conquest, Challenger, Happy Lady I, Team Anemonium y Philline Shulthe. (Figura 29).

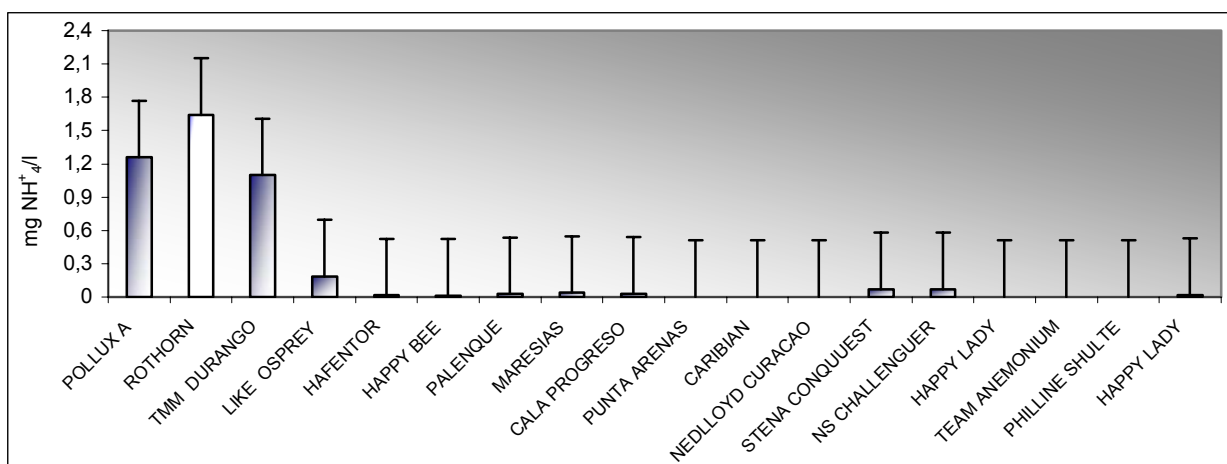


Figura 29. Concentraciones de amonio para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

4.2.9 Fosfatos

Las concentraciones oscilaron entre 0,009 y 1,173 mg PO_4^- /l, presentándose un promedio de $0,19 \pm 0,36$ mg PO_4^- /l; los buques que registraron las concentraciones más altas fueron Pollux A (1,173 mg PO_4^- /l) y Hafentor (1,123 mg PO_4^- /l, Figura 30), en cuanto a las menores concentraciones se reportaron con el valor del limite de detección (0,009 mg PO_4^- /l) en los buques Happy Lady I, Philline Shulthe y Happy Lady II.

BIODIVERSIDAD DEL FITOPLANCTON EN AGUAS DE LASTRE DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL Y EN LOS PRINCIPALES MUELLES CARGUEROS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA COLOMBIA

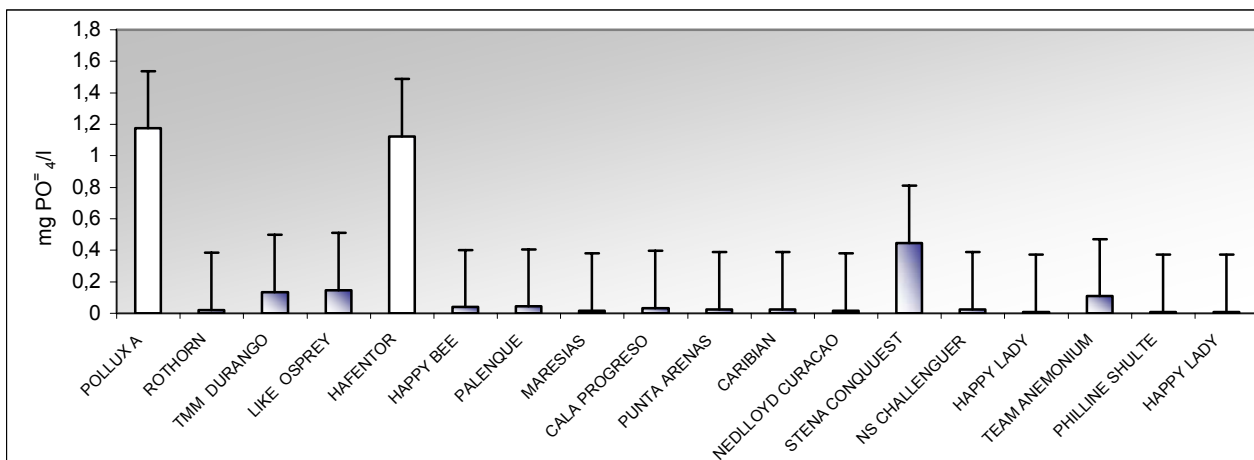


Figura 30. Concentraciones de fosfatos para el agua de lastre de algunos buques que arribaron a la Bahía de Cartagena en el año 2005.

5 COMPONENTE BIÓTICO

5.1 PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA.

5.1.1 Épocas climáticas

La clorofila a durante el período de muestreo osciló entre no detectable (0,02) y 44,79 mg Chl a /m³. La mayor concentración promedio se presentó en la época de transición con $7,7 \pm 9,55$ mg Chl a /m³ seguida de la época seca con $3,73 \pm 2,92$ mg Chl a /m³, mientras que en la época de lluvia se reportó con un valor de $2,88 \pm 4,95$ mg Chl a /m³ (Figura 31; Anexo D).

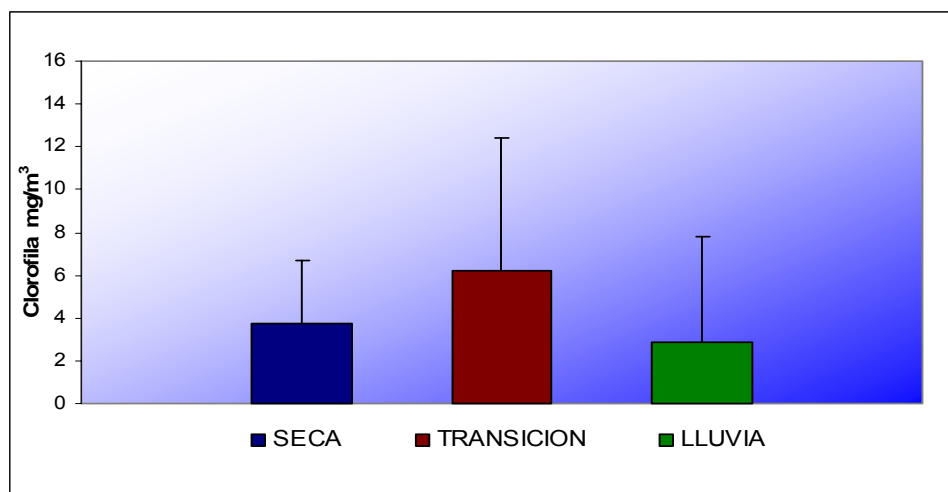


Figura 31. Concentraciones promedio de clorofila a en el agua, para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena durante el año 2005.

La concentración de la clorofila b se encontró entre no detectable (0,02) y 7,08 mg Chl b /m³ y la clorofila c se fluctuó entre 0,02 (valor no detectable) y 10,87 mg Chl c /m³. Las mayores concentraciones promedio de clorofila b se registro en la épocas seca ($1,08 \pm 1,29$ mg Chl b /m³) y las menores concentraciones en las épocas de transición y lluvia ($0,58 \pm 0,67$ mg Chl b /m³ y $0,53 \pm 1,09$ mg Chl b /m³ respectivamente). Para la clorofila

c, se encontraron los mayores valores promedio en la época seca con $1,17 \pm 1,94$ mg Chl c /m³, seguida de transición con $1,11 \pm 1,7$ mg Chl c /m³ y finalmente la época de lluvia con $0,99 \pm 1,56$ mg Chl c /m³ (Figura 32).

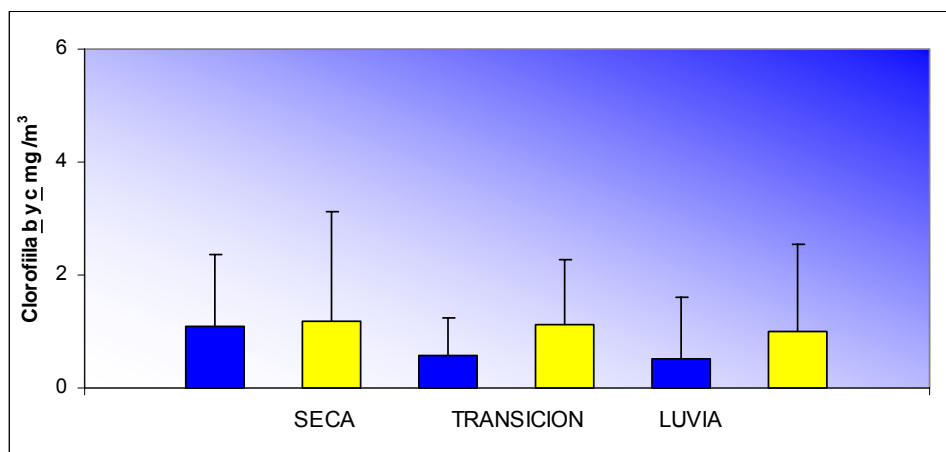


Figura 32. Concentraciones promedio de clorofila b y c para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena año 2005 (Azul: Clorofila b; Amarillo: Clorofila c)

Las concentraciones de feopigmento a variaron entre no detectable (0,03) y 42,98 mg /m³, presentándose la mayor concentración promedio durante la época seca con un valor de $6,19 \pm 6,67$ mg /m³, seguida por la época de lluvia ($3,47 \pm 4,28$ mg /m³) y por último la de transición con $2,51 \pm 8,84$ mg /m³ (Figura 33).

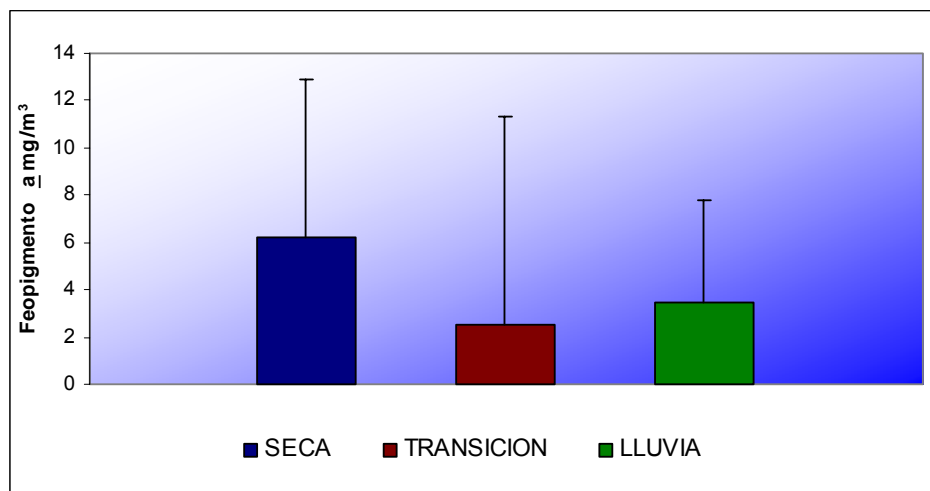


Figura 33. Concentraciones promedio de feopigmento a para las épocas climáticas de la Bahía de Cartagena en el año 2005.

La mayor concentración promedio a nivel superficial de clorofila a se presentó en el muelle de ECOPETROL con un valor de $11,08 \pm 13,16$ mg Chl a /m³ la menor concentración fue de $5,84 \pm 7,70$ mg Chl a /m³ para la Boya 30. En cuanto a las concentraciones en el fondo, se presentaron los mayores valores en el muelle El Bosque ($2,05 \pm 2,08$ mg Chl a /m³), mientras que las concentraciones más bajas fueron de $0,69 \pm 0,78$ mg Chl a /m³ en el muelle de ECOPETROL y las Boyas 19 y E2 ($0,83 \pm 1,56$ mg Chl a /m³ y $0,87 \pm 0,66$ mg Chl a /m³, respectivamente; Figura 34).

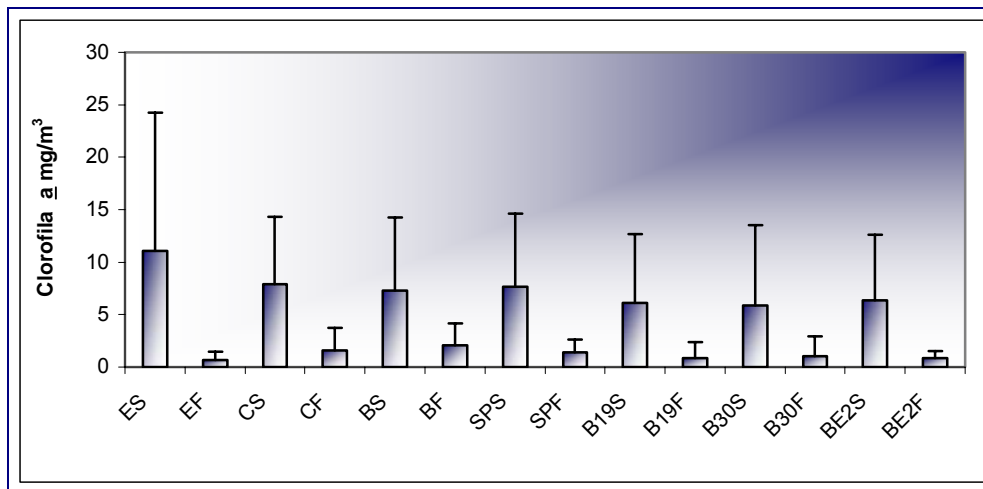


Figura 34. Concentraciones promedio de clorofila a para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

Para la clorofila b a nivel a superficial, la boya E2 presentó la mayor concentración promedio con $1,39 \pm 2,15$ mg Chl b /m³ y la menor fue en el muelle de Sociedad Portuaria con $0,52 \pm 0,54$ mg Chl b /m³. A nivel de profundidad, la estación que presenta la mayor concentración es la Boya 30 con $1,27 \pm 2,59$ mg Chl b /m³, mientras que el nivel más bajo se encontró en el muelle de ECOPETROL con $0,27 \pm 0,25$ mg Chl b /m³ (Figura 35).

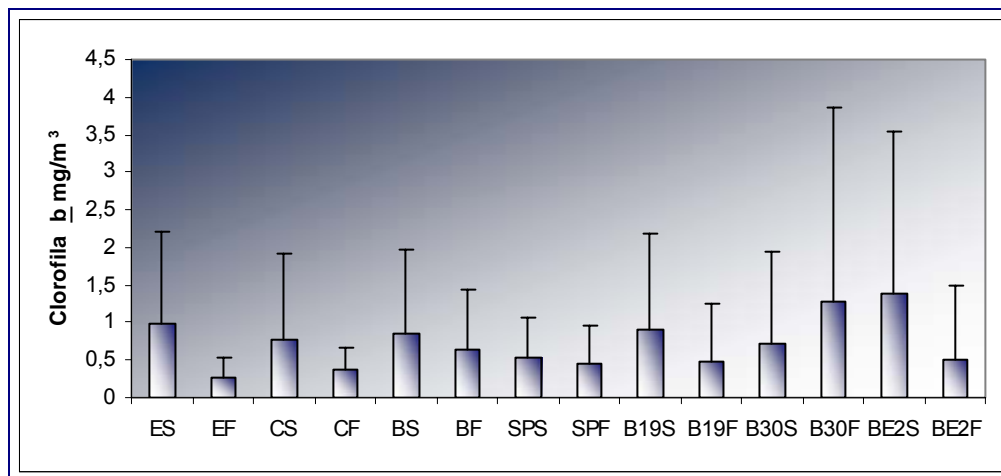


Figura 35. Concentraciones promedio de clorofila b para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

Las estaciones que reportan la mayor concentración promedio de clorofila c a nivel superficial son la Boya E2 con $2,47 \pm 2,94$ mg Chl c /m³ y el muelle de ECOPETROL con $2,40 \pm 3,04$ mg Chl c /m³ y las que presentaron las menores concentraciones fueron el muelle de Sociedad Portuaria con $1,22 \pm 1,17$ mg Chl c /m³ y la Boya 19 con $1,35 \pm 1,60$ mg Chl c /m³. A nivel de profundidad, se encontró que el muelle de CONTECAR ($4,14 \pm 15,47$ mg Chl c /m³) y la Boya 30 ($1,66 \pm 3,28$ mg Chl c /m³) presentaron los valores más altos, mientras que la menor concentración se registró en el muelle de ECOPETROL con $0,37 \pm 0,34$ mg Chl c /m³ (Figura 36).

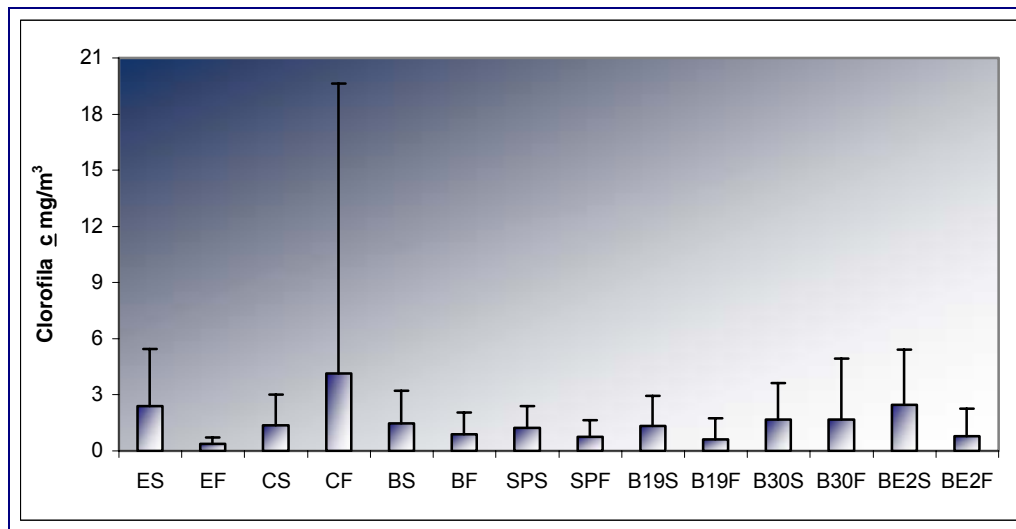


Figura 36. Concentraciones promedio de clorofila a para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

A nivel superficial, la mayor concentración promedio de feopigmento a fue en el muelle de ECOPETROL con $7,11 \pm 10,73 \text{ mg / m}^3$ y la boya E2 con $6,99 \pm 5,28 \text{ mg / l m}^3$ y el menor valor se encontró en el muelle de Sociedad Portuaria ($2,62 \pm 3,38 \text{ mg / m}^3$). En cuanto a las estaciones de fondo, se encontraron concentraciones altas en la boya E2 con $3,72 \pm 5,58 \text{ mg / m}^3$, y la más baja con $0,99 \pm 1,41 \text{ mg / m}^3$ en la boya 19 (Figura 37).

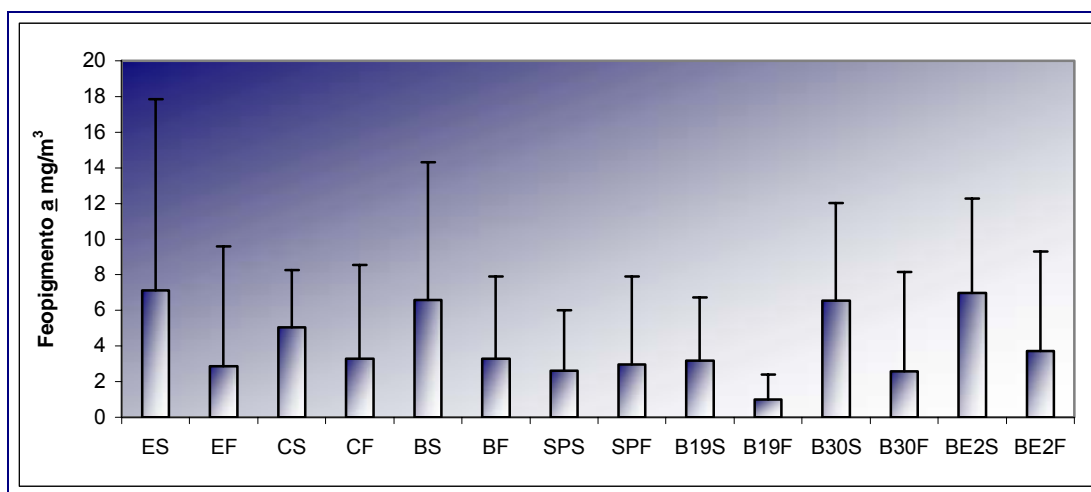


Figura 37. Concentraciones promedio de feopigmento a para las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

5.2 COMPONENTE FITOPLANCTÓNICO EN LA BAHÍA DE CARTAGENA

Se encontraron un total de 125 especies, distribuidas en 49 géneros y 18 familias, además de 4 morfotipos y la presencia de 9 estructuras de resistencia. Del total, 91 especies fueron identificadas plenamente (Anexo F) y las restantes se dejaron a nivel taxonómico de género, las fotografías tomadas se encuentran en el Anexo G.

5.2.1 Épocas climáticas

En la época seca, las diatomeas centrales dominaron sobre los demás grupos fitoplanctónicos presentando un 54,27% de abundancia relativa, seguida de las diatomeas pennadas (19,75%), los dinoflagelados (11,53%), el grupo de las cianófitas con 4% y finalmente las clorófitas con 0,55% (Figura 38).

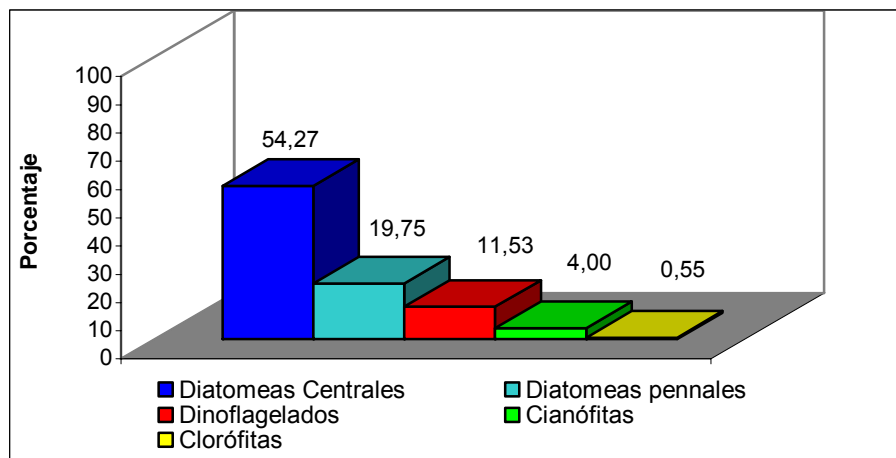


Figura 38. Abundancias relativas (%) de los principales grupos fitoplanctónicos encontrados en la época seca en la Bahía de Cartagena en el año 2005.

Para la época climática de transición, el grupo de las diatomeas centrales continuaron dominando con un 65,07%, seguidas de los dinoflagelados (9,54%), las diatomeas pennadas (9,07%), el grupo de las cianófitas (1,75%) y finalmente las clorófitas con 1,24% (Figura 39).

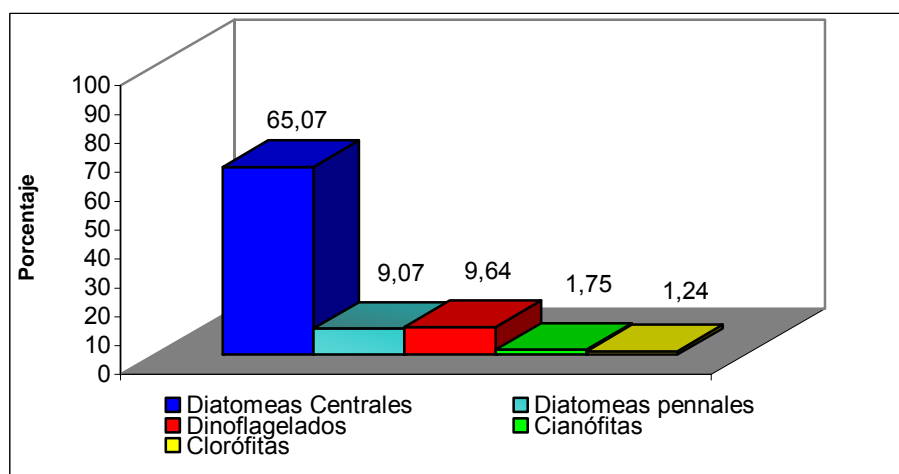


Figura 39. Abundancias relativas (%) de los principales grupos fitoplanctónicos encontrados en la época de transición en la Bahía de Cartagena en el año 2005.

En cuanto la época de lluvia, el grupo de las diatomeas centrales presentaron su mayor abundancia relativa con un 80,6% (Figura 40), seguida del grupo de los dinoflagelados con 5,68%, las diatomeas pennadas (5,46%), las cianófitas con 2,22% y las de menor valor el grupo de las clorófitas con 0,51%.

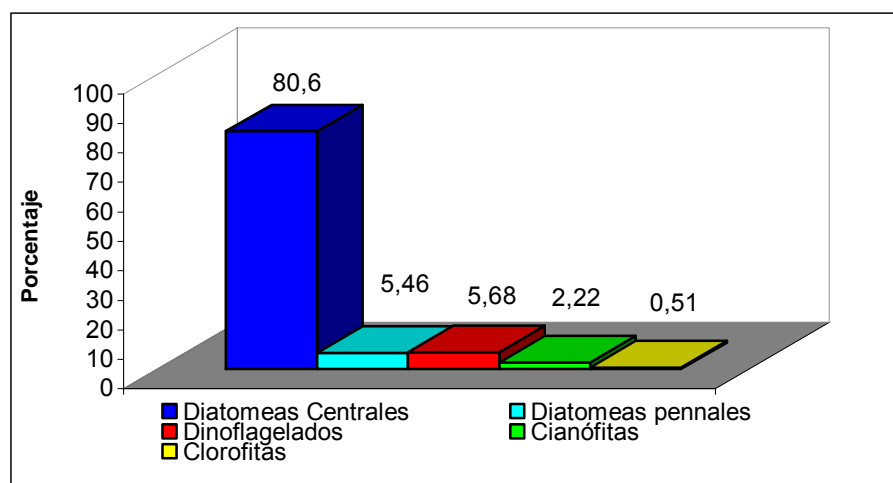


Figura 40. Abundancias relativas (%) de los principales grupos fitoplanctónicos encontrados en la época de lluvia en la Bahía de Cartagena en el año 2005.

Las abundancias relativas para cada una de las especies encontradas en los muelles de la Bahía de Cartagena se registran en el Anexo E.

5.2.2 Muelles de la Bahía de Cartagena

5.2.2.1 Muelle de ECOPETROL

Se registró una marcada influencia de las diatomeas centrales presentándose una mayor abundancia de algunas especies como *Skeletonema costatum* durante las tres

épocas climáticas, así como del género *Coscinodiscus* y *Chaetoceros*. De igual forma algunas especies del grupo de las cianófitas se presentaron durante todo el muestreo en este muelle. Algunas especies del grupo de los dinoflagelados se registraron en menor abundancia que las diatomeas centrales. La presencia de algunas estructuras de resistencia se hizo presente durante las tres épocas climáticas (Figura 41).

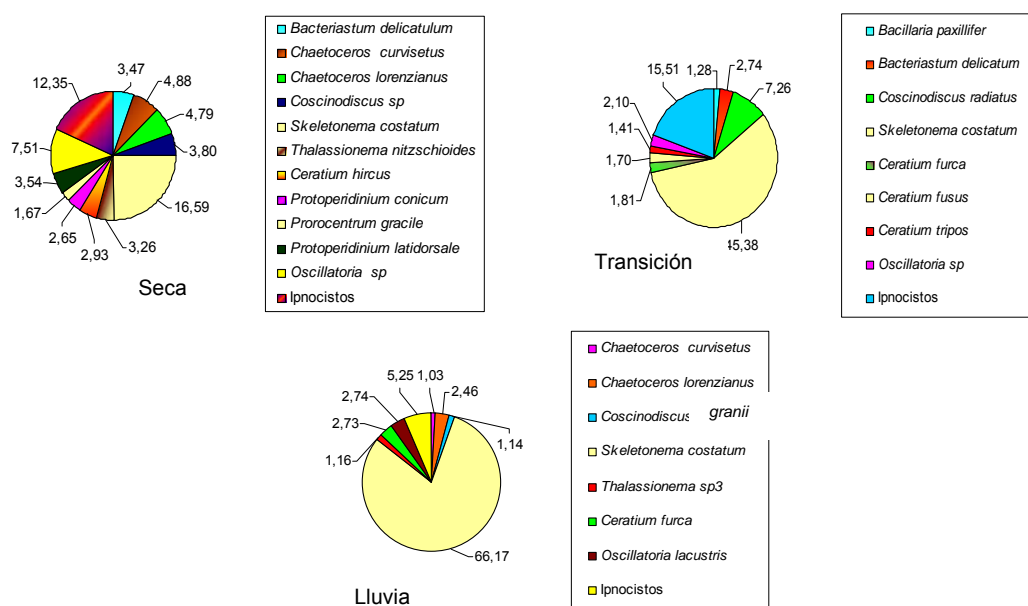


Figura 41. Abundancias relativas de algunas especies encontradas en el muelle de ECOPETROL durante las tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.2 Muelle de CONTECAR

La diatomea *Skeletonema costatum* registró igualmente en este muelle una marcada presencia durante las tres épocas climáticas, al igual que la especie *Chaetoceros curvisetus*, cuya mayor abundancia fue en la época seca; en cuanto a las diatomeas pennadas se presentaron en menor abundancia en comparación a las diatomeas centrales, al igual que el grupo de los dinoflagelados. Para este muelle la presencia de

las cianófitas es baja y al igual que en la estación anterior, se evidenció una marcada presencia de esporas de *Chaetoceros* (Figura 42).

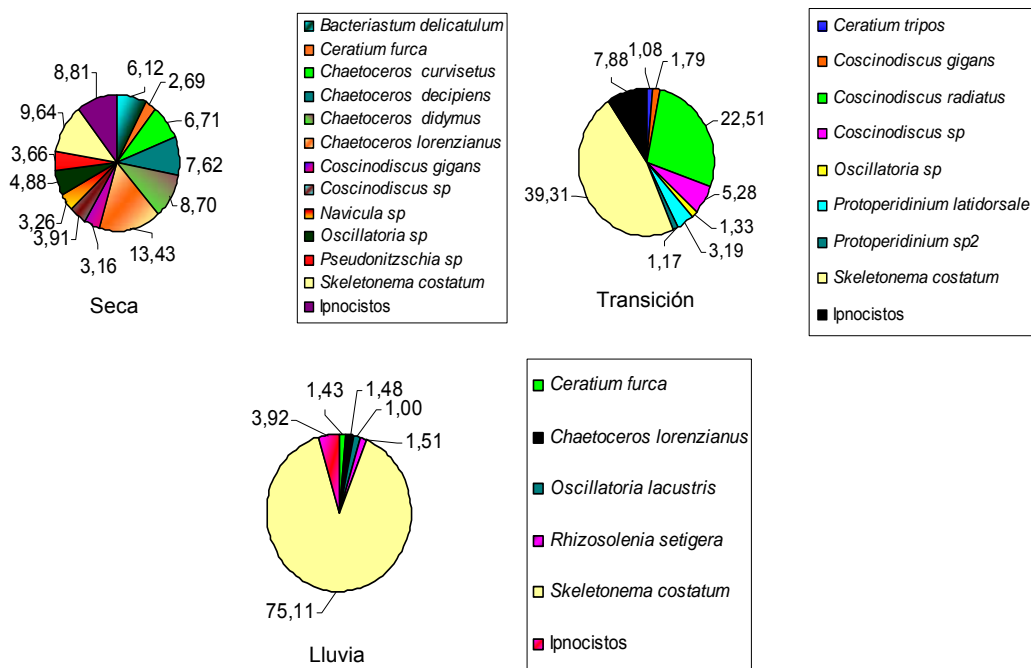


Figura 42. Abundancias relativas de algunas especies encontradas en el muelle de CONTECAR durante tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.3 Muelle de El Bosque

Durante las tres épocas climáticas se notó una marcada influencia de hipnocistos como de las diatomeas centrales (*Skeletonema costatum*, *Bacteriastrium delicatulum* y algunas especies del género *Coscinodiscus* entre otras); en cuanto a las diatomeas pennadas se registraron en determinadas épocas como *Pseudonitzschia sp.*, y *P. seriata*. No se observó una marcada presencia de dinoflagelados y de las cianófitas, durante el periodo de estudio (Figura 43).

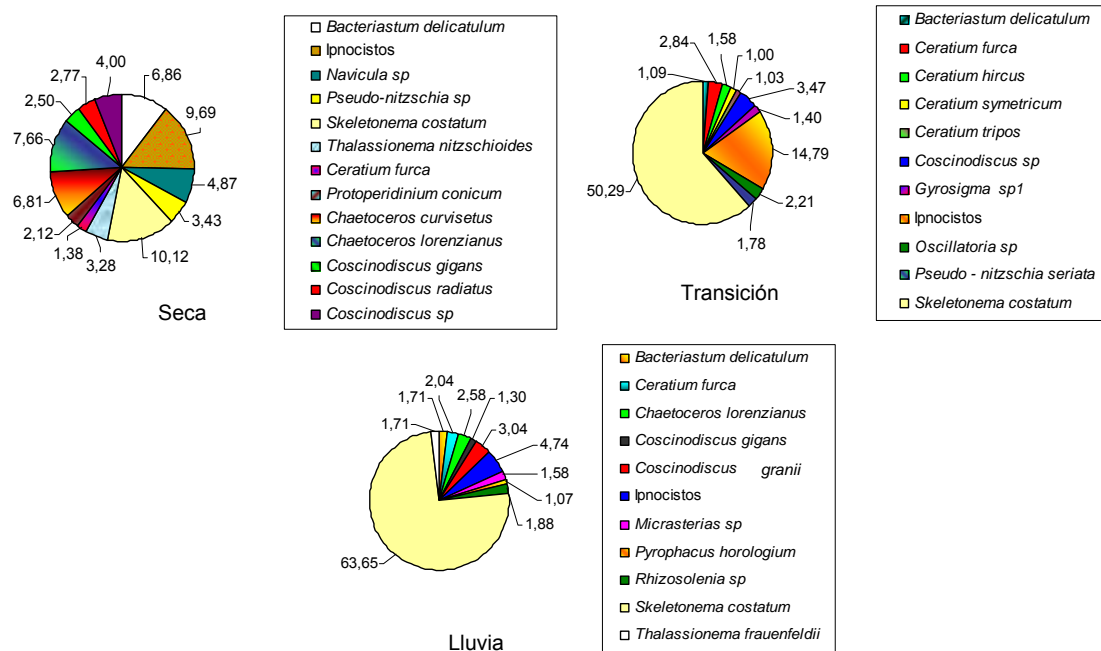


Figura 43. Abundancias relativas de las especies encontradas en el muelle de El Bosque durante la tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.4 Muelle Sociedad Portuaria

Las diatomeas centrales se presentaron en mayor abundancia en comparación a los demás grupos; para este muelle sobresale *Skeletonema costatum* durante las tres épocas climáticas; en cuanto a las diatomeas pennadas se reportaron algunas especies como *Thalassionema nitzschioides* en época seca y las especies *Pleurosigma sp*₂, *Pseudonitzschia sp.* y *P. seriata* y la clorófito *Pediastrum duplex* en la época de transición. Finalmente algunos géneros de dinoflagelados como *Ceratium* se hicieron presentes durante todo el periodo de muestreo (Figura 44).

BIODIVERSIDAD DEL FITOPLANCTON EN AGUAS DE LASTRE DE BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL Y EN LOS PRINCIPALES MUELLES CARGUEROS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA COLOMBIA

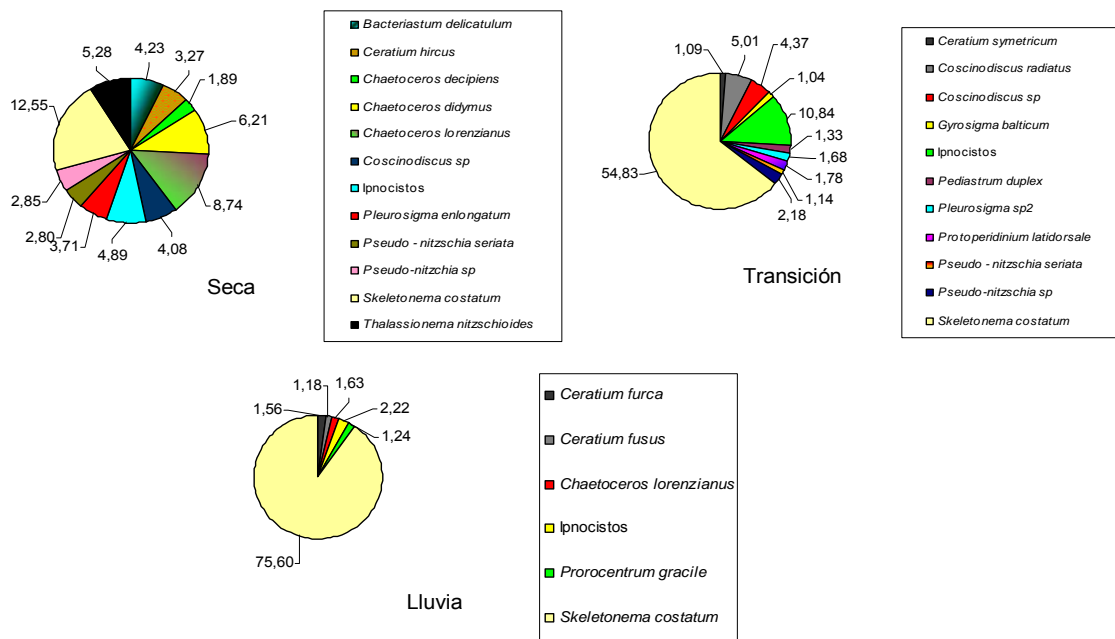


Figura 44. Abundancias relativas de algunas especies encontradas en el muelle de Sociedad Portuaria durante las tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.5 Estación Boya 19

A diferencia de las demás estaciones de muestreo, en este punto las diatomeas pennadas se registraron con bajas abundancias, encontrándose algunas especies como *Pseudonitzschia seriata* en la época de transición y *Thalassionema* en las épocas seca y lluvia; las diatomeas centrales se encontraron en las tres épocas climáticas donde *Skeletonema costatum* fue la especie más abundante, junto con otras especies de los géneros *Coscinodiscus* y *Chaetoceros*, entre otros. De igual forma, se encontraron algunas estructuras de resistencia con una mayor abundancia en la época seca, sin que estuvieran ausentes en las otras dos épocas (Figura 45).

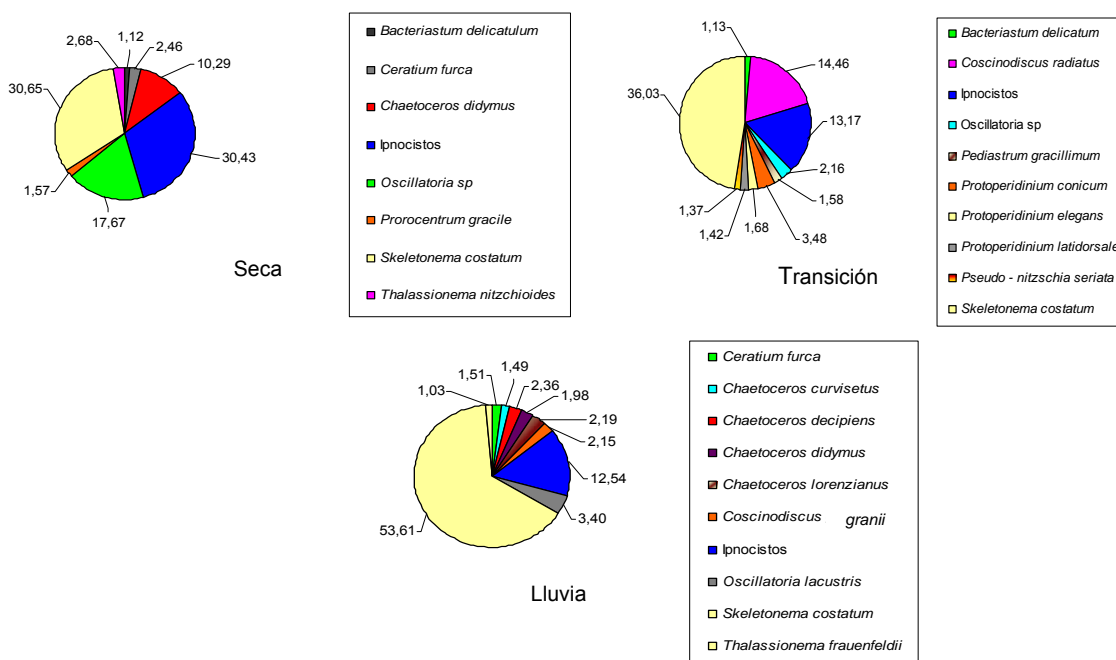


Figura 45. Abundancias relativas de algunas especies encontradas en la estación Boya 19 en las tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.6 Estación Boya 30

Algunas diatomeas centrales se registraron con una marcada influencia en ciertas épocas como *Skeletonema costatum* la cual se presentó como una de las especies más abundantes en las tres épocas, sobresaliendo en la de lluvia; de igual forma, *Chaetoceros lorenzianus* fue muy abundante en la época seca y *Coscinodiscus radiatus* en transición. En cuanto al grupo de los dinoflagelados, se presentaron especies con bajas abundancias en comparación al grupo de las diatomeas centrales. También fueron evidentes la presencia de quistes de *Pyrophacus* en la época de transición y algunas esporas como los hipnocistos en las otras dos épocas climáticas (Figura 46).

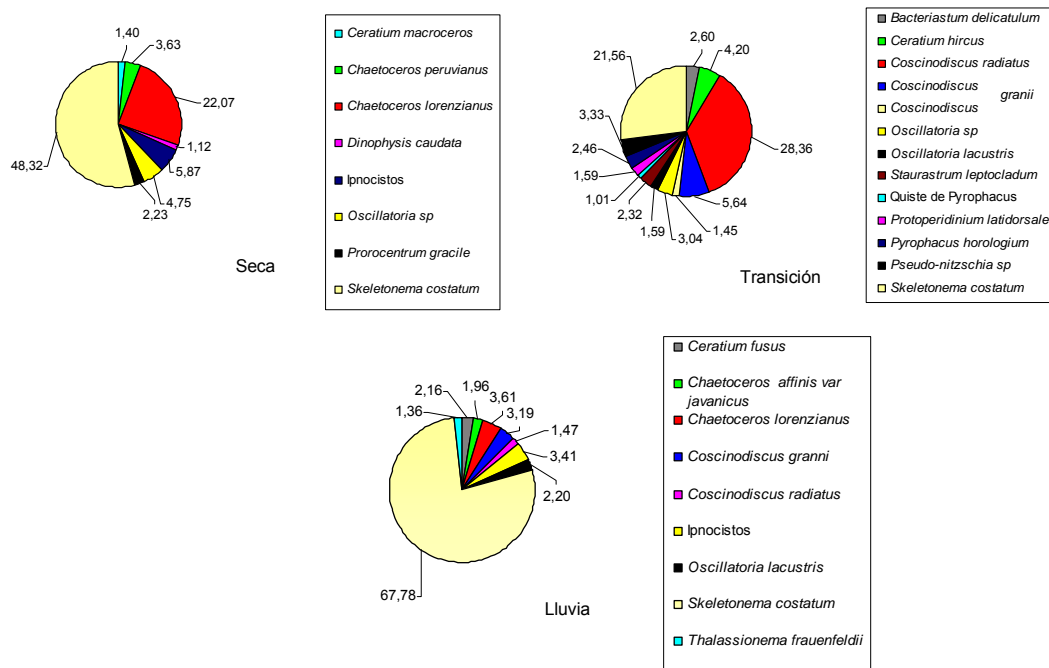


Figura 46. Abundancias relativas algunas especies encontradas en la estación Boya 30 durante las tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.2.7 Estación Boya E2

Algunas especies fueron más abundantes que otras como el caso de *Skeletonema costatum*, la cual se presentó en la tres épocas siendo mayor en la época de lluvia. Especies como *Bacteriastum delicatulum*, *Chaetoceros curvisetus*, *C. didymus* y *Coscinodiscus granii* entre registran entre las tres épocas climáticas. Se encontraron quistes de *Pyrophacus* en la época de transición al igual que estructuras de resistencia como los hipnocistos en las tres épocas presentando una mayor abundancia en la época seca (Figura 47).

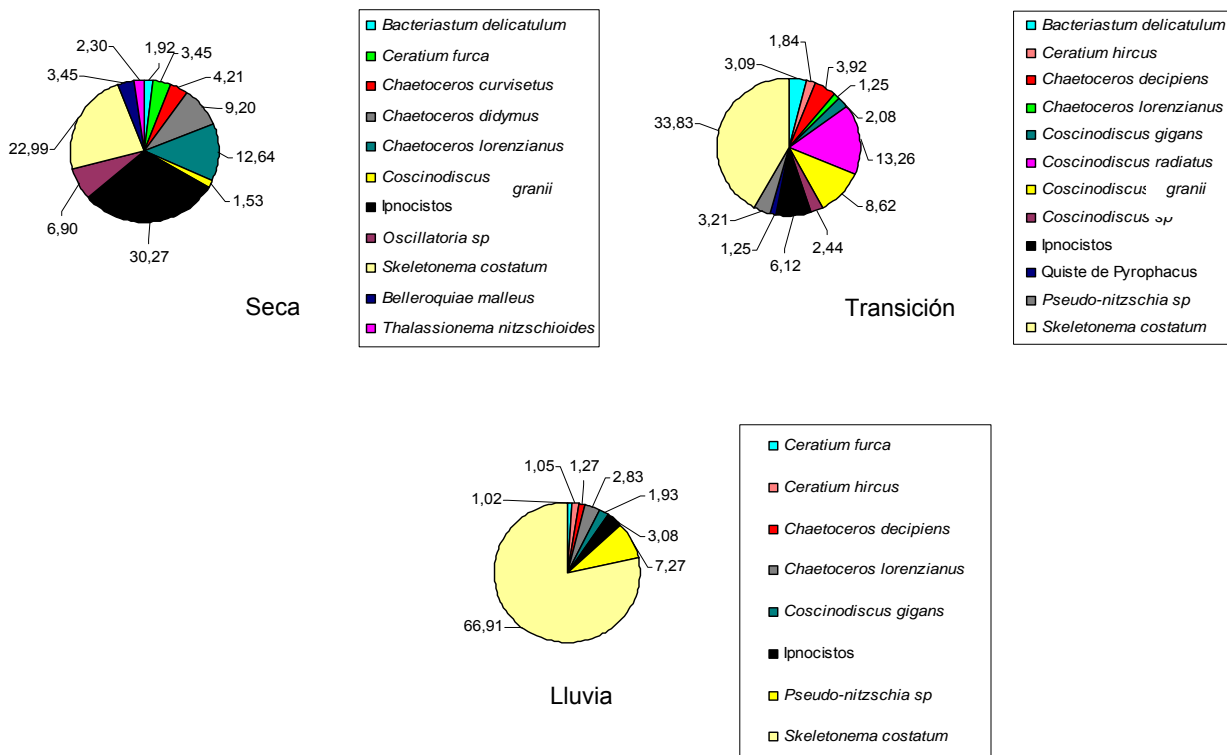


Figura 47. Abundancias relativas de algunas especies encontradas en la estación Boya E2 durante las tres épocas climáticas en la Bahía de Cartagena 2005.

5.2.3 Variabilidad espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica

El análisis de clasificación de Jaccard para las estaciones muestreadas refleja la conformación de tres grupos evidentes por cada época climática; el primero corresponde a la época seca, conformada por los cuatro muelles. Esta similitud se da por la presencia de algunas especies en común como *Nitzschia sp*₃, *Chaetoceros lorenzianus*, *Skeletonema costatum*, *Staurastrum leptocladum*; la segunda agrupación corresponde a la época de transición donde las especies como *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus radiatus*, *Ceratium pentagonum*, *Chaetoceros eibonii*, *Planktoniella sol* y el quiste₁ son típicas para este período climático. La tercera agrupación se encuentra constituida por

todas las estaciones muestreadas durante la época de lluvias, presentando como especies en común a *Chaetoceros lorenzianus*, *Skeletonema costatum*, *Ceratium furca*, *Dinophysis caudata*, entre otras. En cuanto a las boyas que no se incluyeron en los tres primeros grupos, se observó una agrupación de forma independiente por época. Estas estaciones se encuentran alejadas de los muelles y su similaridad se ve reflejada por la aparición de unas pocas especies en común como *Skeletonema costatum*, *Bacteriastrum delicatulum* ó aquellas pertenecientes a los géneros *Chaetoceros*, *Ceratium*, así como estructuras de resistencia como los hipnocistos. Finalmente, la Boya E2 en época seca se registra como la estación más disímiles de todas, siendo la única que presenta las especies como *Bellerochea malleus*, *Chaetoceros affinis* var *javanicus*, *Triceratium pentacrinus* y el morfotipo₄ (Figura 48).

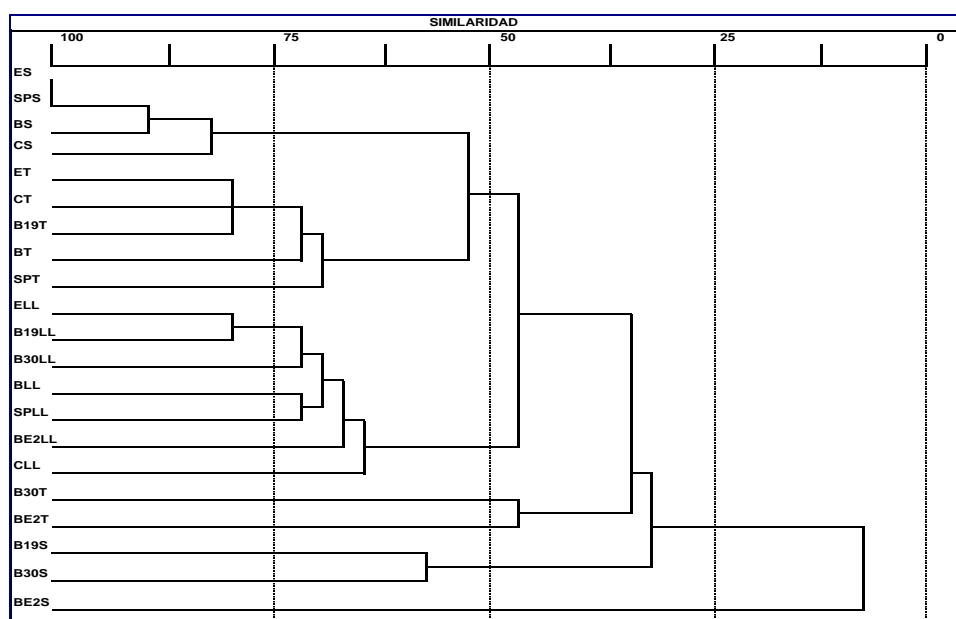


Figura 48. Dendrograma cualitativo de similaridad de Jaccard (Índice cofenético: 0.9665), obtenidos entre las estaciones la Bahía de Cartagena en el año 2005 (ES: Ecopetrol Seca; ET: Ecopetrol Transición; ELL: Ecopetrol Lluvia, (CS: Contecar Seca; CT: Contecar Transición; CLL: Contecar Lluvia, BS: Bosque Seca; BT: Bosque Transición; BLL: Bosque Lluvia, SPS: Sociedad Portuaria Seca; SPT: Sociedad Portuaria Transición; SPL: Sociedad Portuaria Lluvia, B19S: Boya 19 Seca; B19T: Boya 19 Transición; B19LL: Boya 19 Lluvia, B30S: Boya 30 Seca; B30T: Boya 30 Transición; B30LL: Boya 30 Lluvia, BE2S: Boya E2 Seca; BE2T: Boya E2 Transición; BE2LL: Boya E2 Lluvia) .

5.2.4 Análisis multivariado abiótico-biótico

Las variables para la realización del PCA, se hizo inicialmente un análisis de correlación, cuyos resultados se encuentran en el Anexo H. El PCA se reflejó en dos componentes donde el primero explica el 61,13% de la varianza encontrada. El primer componente se encuentra definido por las variables abióticas: amonio (NH_4^+), pH y sólidos suspendidos totales con una varianza del 36,8% y el segundo componente lo definen la temperatura, salinidad y feopigmento a , con una varianza del 24,3%. La definición de las variables abióticas definieron tres conjuntos conformados los cuales se encuentran conformados por las estaciones muestreadas, donde se observan agrupamientos de la misma estación en diferentes épocas y algunas formaciones entre los muelles mixtos es decir de diferentes épocas climáticas (Figura 49).

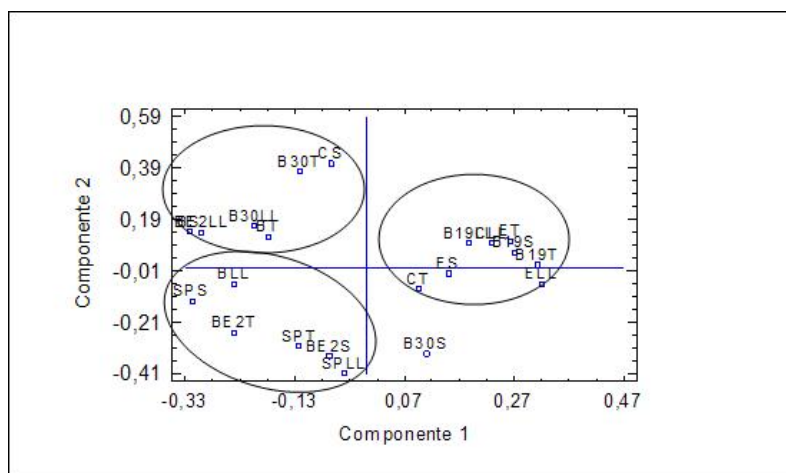


Figura 49. Análisis de Componentes Principales en los muelles de la Bahía de Cartagena en el año 2005. (ES: Ecopetrol Seca; ET: Ecopetrol Transición; ELL: Ecopetrol Lluvia, (CS: Contecar Seca; CT: Contecar Transición; CLL: Contecar Lluvia, BS: Bosque Seca; BT: Bosque Transición; BLL: Bosque Lluvia, SPS: Sociedad Portuaria Seca; SPT: Sociedad Portuaria Transición; SPL: Sociedad Portuaria Lluvia, B19S: Boya 19 Seca; B19T: Boya 19 Transición; B19LL: Boya 19 Lluvia, B30S: Boya 30 Seca; B30T: Boya 30 Transición; B30LL: Boya 30 Lluvia, BE2S: Boya E2 Seca; BE2T: Boya E2 Transición; BE2LL: Boya E2 Lluvia).

5.3 PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DEL AGUA DE LASTRE

Los valores registrados de clorofila (a, b y c) en las aguas de lastre de los buques muestreados, se encontraron algunos por debajo del nivel de detección de la técnica empleada. En cuanto a los demás buques se registraron valores de concentración de clorofila a, entre 0,02 y 0,31 mgChl a /m³. Para clorofila b, las concentraciones oscilaron entre 0,02 hasta 0,30 mg Chl b /m³ y de clorofila c, desde 0,03 hasta 0,44 mg Chl c /m³. Finalmente el feopigmento a, se registraron concentraciones que oscilan 0,03 y 0,43 mg / m³ (Tabla 2; Anexo I).

Tabla 2. Concentraciones de clorofila a, b, c y feopigmento a en el agua de lastre (el símbolo < indica que son valores que se encuentran por debajo del nivel de detección de la técnica empleada).

BUQUES	Clorofila <u>a</u> mg/m ³	Clorofila <u>b</u> mg/m ³	Clorofila <u>c</u> mg/m ³	Feopigmento <u>a</u> mg/m ³
POLLUX A	<	<	<	<
ROTHORN	<	<	<	<
TMM DURANGO	0.24	0.30	0.36	0.44
LIKE OSPREY	<	<	<	<
HAFENTOR	<	0.02	0.03	0.03
HAPPY BEE	0.02	0.02	0.03	0.43
PALENQUE	0.35	0.09	0.05	0.36
MARESIAS	<	0.02	0.03	<
CALA PROGRESO	0.31	0.16	0.15	0.15
PUNTA ARENAS	0.09	0.02	0.04	0.23
CARIBIAN	0.19	<	<	0.12
NEDLLOYD CURACAO	<	<	<	0.18
STENA CONQUEST	<	<	0.06	<
NS CHALLENGER	0.16	0.28	0.44	0.20
HAPPY LADY	<	<	<	0.04
TEAM ANEMONIUM	0.10	0.05	<	<
PHILLINE SHULTE	0.07	0.09	0.10	0.21
HAPPY LADY II	0.10	0.12	0.23	0.19

5.4 COMPONENTE FITOPLANCTONICO EN EL AGUA DE LASTRE

Se encontraron 46 especies, distribuidas en 25 géneros y 15 familias, además de 4 morfotipos y la presencia de 7 estructuras de resistencia. Del total, 41 especies fueron identificadas plenamente (Anexo F) y las 6 restantes se dejaron a nivel taxonómico de género. Las fotografías de las principales especies encontradas se encuentran en el Anexo G.

5.4.1 Atributos ecológicos

El buque que presentó la mayor cantidad de especies (S) fue el Pollux A (23), seguido del Rothorn (19), Happy Bee (13), Cala Progreso (12), Durango (11), Maresias, Caribbean Express y Philline Shulthe (9), Happy Lady II (8), Likes Osprey (7), Nedlloyd Curacao (5) y los que registraron la menor cantidad de especies fueron Hafentor, Cala Palenque, Punta Arenas, Stena Conquest, Challenger, Happy Lady I y Team Anemonium, con 4 especies cada uno (Tabla 3).

En cuanto a la abundancia (N), los buques que presentaron mayores valores se encuentran Pollux A, Cala Progreso, Rothorn, Cala Palenque, Happy Bee II (Tabla 3) y los buques de menor abundancia fueron Challenger, Stena Conquest, Hafentor, Punta Arenas y Likes Osprey. Por otro lado, se refleja que la diversidad de Shannon (H') es relativamente similar entre algunos buques, presentándose el más alto valor en el buque Pollux A, Durango, Happy Bee y Rothorn y en cuanto a los de menor diversidad están los buques Nedlloyd Curacao y Team Anemonium. El predominio de Simpson (λ), presento valores entre 0,35 y 0,94 siendo el más bajo en Nedlloyd Curacao y el más alto en Pollux A. , Finalmente la equidad de Pielou (J') registró valores similares en todos los buques, a excepción de la embarcación Nedlloyd Curacao que registra el menor valor de equidad con respecto a los demás buques muestreados (Tabla 3).

Tabla 3. Atributos ecológicos para el agua de lastre de cada buque muestreado en el año 2005 (S: Riqueza; N: Abundancia; J': Uniformidad de Pielou; H': Diversidad de Shannon; λ : Predominio de Simpson).

BUQUES	S	N	J'	H'	λ
POLLUX A	23	84,58	0,94	2,94	0,95
ROTHORN	19	76,25	0,69	2,03	0,74
DURANGO	11	16,25	0,88	2,10	0,91
LIKES OSPREY	7	7,5	0,96	1,86	0,96
HAPPY BEE	13	32,5	0,82	2,10	0,85
HAFENTOR	4	6,25	0,71	0,99	0,61
MARESIAS	9	11,25	0,80	1,76	0,83
CALA PALENQUE	4	34,58	0,58	0,80	0,48
CALA PROGRESO	12	79,58	0,72	1,79	0,78
CARIBIAN EXPRESS	9	16,25	0,88	1,93	0,87
PUNTA ARENAS	4	7,08	0,64	0,89	0,54
NEDDLLOYD CURACAO	5	10,83	0,46	0,75	0,37
STENA CONQUEST	4	3,75	0,95	1,31	0,98
CHALLENGER	4	3,33	0,91	1,26	0,98
HAPPY LADY I	4	13,33	0,65	0,90	0,54
TEAM ANEMONIUM	4	17,92	0,55	0,76	0,43
HAPPY LADY II	8	26,67	0,72	1,49	0,71
PHILLINE SHULTHE	9	20,42	0,80	1,76	0,81

5.4.2 Composición

Las especies más abundantes en los buques muestreados fueron *Coscinodiscus wailesii*, *C. granii*, seguidas de *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros decipiens*, *Asterionellopsis glacialis*, *Ceratium vultur*, *Oscillatoria* sp., *Ceratium tripos*, *Coscinodiscus* sp. y *C. gigas*. Las especies que presentaron menor densidad fueron *Bacteriastrium furcatum*, *Proboscia alata*, *Striatella unipunctata*, *Chaetoceros radicans*, *Dinophysis caudata*, *Melosira moniliformes* y *Planktoniella sol* (Tabla 4). La presencia de estructuras de resistencia como los hipnocistos y algunos quistes también se hicieron evidentes en algunos buques con una alta densidad (Anexo J).

Tabla 4. Especies de mayor y menor abundancia (cel /l) encontradas en las aguas de lastre de los diferentes buques muestreados en el año 2005 (MAR: MARESIAS; P. SHUL: PHILLINE SHULTHE; DUR: DURANGO; C.PRO: CALA PROGRESO; P.A: POLLUX A; HAP: HAPPY BEE; C.EX: CARIBIAN EXPRESS; C.PAL: CALA PALENQUE; ROT: ROTHORN; L.OS: LIKES OSPREY; S. CON: STENA CONQUEST; H. LAD2: HAPPY LADY II; HAF: HAFENTOR; N.CUR: NEDDLLOYD CURACAO; H.LAD: HAPPY LADY).

ESPECIES	ABUNDANCIA (ce /l)	BUQUE
Mayor abundancia		
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	12,91	P.A, ROT, HAP, HAF
<i>Ceratium vultur</i>	11,25	P.A, ROT
<i>C. tripos</i>	10	C.PRO
<i>Coscinodiscus</i> sp.	9,58	C.PAL
<i>C. gigas</i>	9,58	P.A, DUR, L.OS, MAR, C.PAL, S.CON, H.LAD2, P.SHUL
<i>C. granii</i>	20	C.PRO
<i>C. wailesii</i>	30	C.PRO
<i>Chaetoceros decipiens</i>	13,75	P.A, ROT
<i>Oscillatoria</i> sp.	11,25	HAP
<i>Skeletonema costatum</i>	23,33	C.PAL
Menor abundancia		
<i>Dinophysis caudata</i>	0,83	ROT
<i>Melosira moniliformes</i>	0,83	DUR
<i>Planktoniella sol</i>	0,83	C.EX
<i>C. radicans</i>	0,42	DUR
<i>Proboscia alata</i>	0,42	C.EX
<i>Striatella unipunctata</i>	0,42	ROT
<i>Bacteriastrum furcatum</i>	0,42	MAR
Estructuras de resistencia		
HIPNOCISTOS	97,09	P.A, ROT, DUR, L.OS, HAP, MAR, C.EX, N.CUR, H.LAD, H.LAD2, P. SHU
QUISTES	13,76	C.PRO, C.EX, P.AR, N.CUR, P. SHU

5.4.3 Variabilidad de composición fitoplanctónica entre buques

Mediante el análisis de clasificación de carácter cualitativo (Figura 50 a) se observaron cuatro agrupaciones donde solo dos buques presentan la máxima similaridad (100%), debido a la presencia de la mayor abundancia de algunas especies como *S. costatum*. En cuanto a los demás grupos, la similaridad se encontró entre el 62 y 77%, donde las especies generalistas que aparecen en la mayoría de los puntos de muestreo fueron *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus* sp₁. y *C. granii* entre otras. Un solo buque (Pollux A) fue composicionalmente muy diferente a los demás, presentando una baja similaridad del 37,5%, debido a la aparición de algunas especies que no se registraron en las demás embarcaciones como *Pediastrum duplex* y *Plagiotropis lepidoptera*. En el análisis cuantitativo (Figura 50 b) se observó la conformación de seis grupos donde la disimilaridad varió entre 28 y 72 %, además, tres buques no hicieron parte de las agrupaciones (Happy Lady I, Neddllloyd Curazao y Cala Progreso), a causa de la alta abundancia de algunas especies como *Coscinodiscus* sp. *C. radiatus*, *Coscinodiscus granii*, *C. wailesii*, *Ceratium tripos*, *Prorocentrum gracile*, *Odontella aurita* y *Oscillatoria* sp y algunas estructuras de resistencia como quistes e hipnocistos.

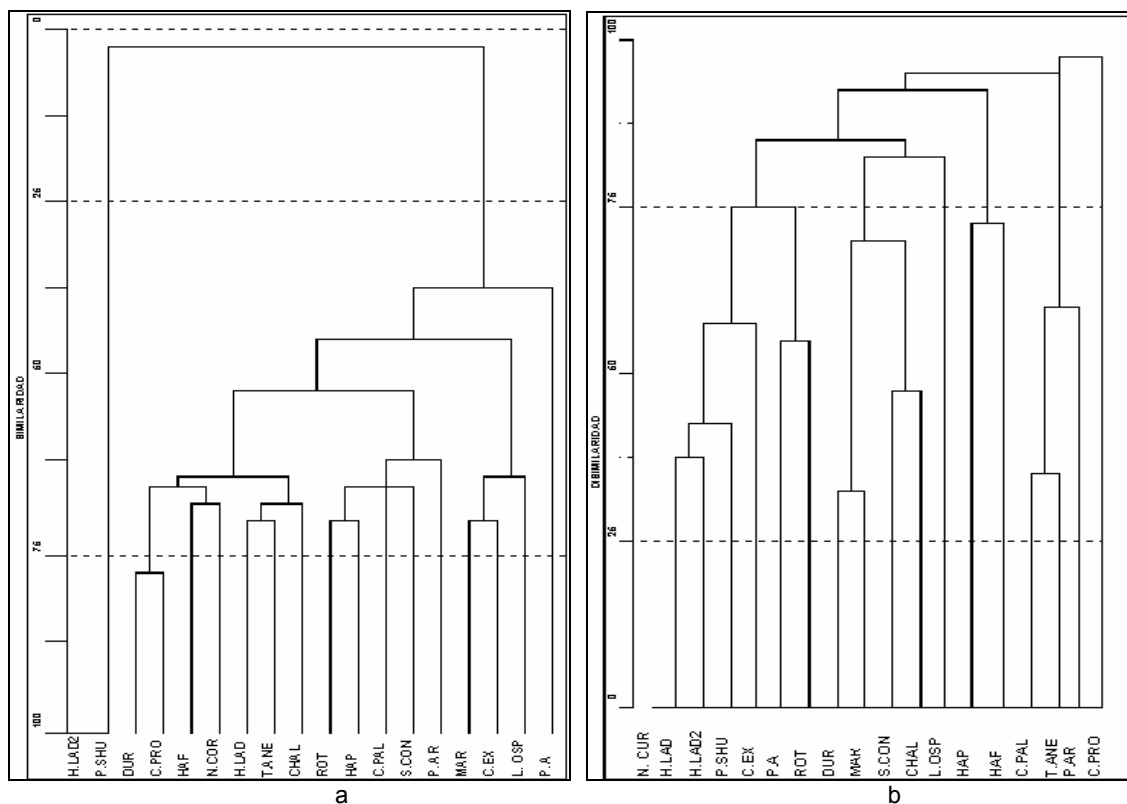


Figura 50. Análisis de clasificación de las aguas de lastre de los buques muestreados en la Bahía de Cartagena (a.) Dendrograma de similaridad de Jaccard (índice cofenético 0,9777) y (b.) dendrograma de disimilaridad de Bray-Curtis (índice cofenético 0,8575) (MAR: MARESIAS; P. SHUL: PHILLINE SHULTHE; DUR: DURANGO; C.PRO: CALA PROGRESO; P.A: POLLUX A; HAP: HAPPY BEE; C.EX: CARIBIAN EXPRESS; C.PAL: CALA PALENQUE; ROT: ROTHORN; L.OSP: LIKES OSPREY; S. CON: STENA CONQUEST; H. LAD2: HAPPY LADY II; HAF: HAFENTOR; N.CUR: NEDDLLOYD CURACAO; H. LAD: HAPPY LADY; CHAL: CHALLENGER; T.ANE: TEAM ANEMONIUM; P.AR: PUNTA ARENAS).

5.4.4 Análisis de Componentes Principales (PCA) en las aguas de lastre

Para la determinar cuales variables se usarían para la realización del PCA, se hizo inicialmente un análisis de correlación, cuyos resultados se encuentran en el Anexo K. En este componente se reflejó una varianza total de 42,4% explicada por dos componentes principales, donde el primer componente explica el 18,1 % de la varianza

y está dado por las variables oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, salinidad y clorofila a . El segundo componente lo definen el nitrito, amonio, fosfatos y finalmente la temperatura, con una varianza del 24,3%. A pesar de que la varianza explicada es baja, se alcanzaron a conformar tres grupos de buques muestreados (Figura 51), donde los principales factores que causan la diferenciación, resaltan la amplia distribución de los buques en el PCA, debido a las características de las propiedades fisicoquímicas de cada buque, lo que hace a cada uno ser una identidad independiente.

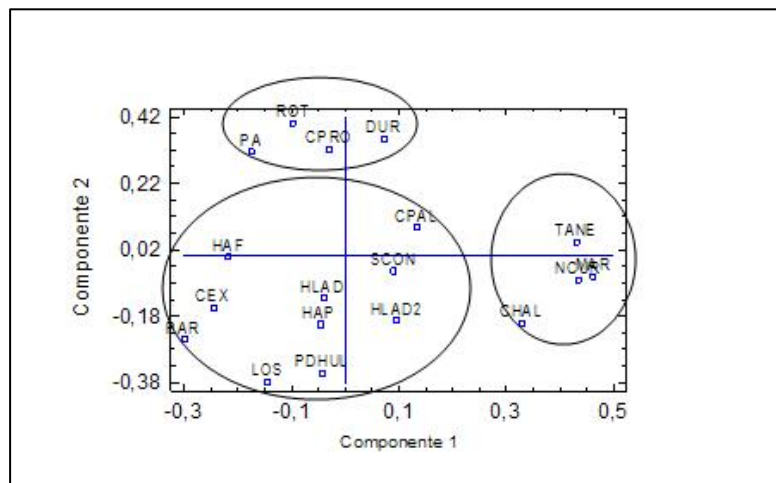


Figura 51. Análisis de Componentes Principales en las aguas de lastre en los buques muestreados en el año 2005. (MAR: MARESIAS; P. SHUL: PHILLINE SHULTHE; DUR: DURANGO; C.PRO: CALA PROGRESO; P.A: POLLUX A; HAP: HAPPY BEE; C.EX: CARIBIAN EXPRESS; C.PAL: CALA PALENQUE; ROT: ROTHORN; L.OSP: LIKES OSPREY; S. CON: STENA CONQUEST; H. LAD2: HAPPY LADY II; HAF: HAFENTOR; N.CUR: NEDDLLOYD CURACAO; H. LAD: HAPPY LADY; CHAL: CHALLENGER; T.ANE: TEAM ANEMONIUM; P.AR: PUNTA ARENAS).

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 BAHÍA DE CARTAGENA

6.1.1 Características fisicoquímicas

Las diferentes épocas climáticas presentes en la Bahía de Cartagena modulan el comportamiento de las variables fisicoquímicas en la columna de agua. Ejemplo de ello se refleja en la transparencia, donde los mayores valores de esta variable se presentaron en la época seca y las menores en lluvia (Figura 3), datos similares se obtuvieron en la fase anterior de esta investigación Cañón *et al.* (2004) donde las menores transparencias se registraron también en la época lluviosa o de transición (Sanjuán *et al.*, 2003). En la época seca, la Bahía presenta una depuración superficial, donde se generan corrientes norte – sur, desplazando las aguas superficiales hacia el sur de esta, permitiéndose el intercambio con aguas oceánicas. Durante este mismo periodo, el caudal del Canal del Dique disminuye y la transparencia del agua alcanza su máximo (Tuckovenko *et al.*, 2002). Los bajos valores de transparencia en la época lluviosa se evidencian por las descargas de agua del Canal del Dique en el área de estudio. La continua pluma que se presenta en la Bahía ha hecho con el tiempo, que se haya convertido en un factor que limita la actividad fotosintética del fitoplancton limitando la luminosidad en el agua (Tuckovenko *et al.*, 2002).

Esta variabilidad climática, se refleja igualmente en la concentración de SST. En este estudio, los mayores niveles se registraron en la época de lluvias y los menores en transición, mientras que durante la época seca la disminución de los sólidos no es tan clara inicialmente, debido a que todavía se encuentran ingresando aguas fluviales

provenientes del interior aportadas por el río Magdalena (Urbano, 1992), mientras que para la época de lluvias se presenta aún una marcada influencia de una “pluma turbia” la cual se desarrolla hacia el norte arrastrando materias en suspensión afectando una gran parte de la Bahía, donde la concentración de estos sólidos suspendidos alcanzan a superar valores mayores a 1000 mg/l (Lonnin *et al.*, 2004; Castro, 1995). Finalmente en la época de transición o “Veranillo de San Juan” hay una continuidad de los vientos Alisios con menos frecuencia lo que favorece que se presenten momentos de transparencia y bajas concentraciones de sólidos suspendidos, los cuales van disminuyendo y aumentando respectivamente, con la llegada de la época de lluvias (Urbano, 1992; Tuckovenko *et al.*, 2002). En cuanto a los muelles ECOPETROL y Sociedad Portuaria que registraron las más altas concentraciones, principalmente a nivel de fondo (Figura 11), fue debido posiblemente a que están posicionados geográficamente uno cerca a la entrada del Canal del Dique y el segundo frente a uno de los desagües de aguas domésticas de Cartagena (Sanjuán *et al.*, 2003).

La temperatura del agua ha sido uno de los factores más importantes en el medio marino, ya que esta controla los procesos químicos y biológicos en el océano; para este estudio se presentó en un amplio rango oscilando entre los 26 y 33°C durante todo el período de muestreo, en estudios anteriores (2002-2004), se registraron valores de temperatura entre 28 y 33°C (Tigreros, 2002; Sanjuán *et al.*, 2003; Cañón *et al.*, 2004). Para el año 2005 las épocas que registraron las mayores temperaturas fueron las de lluvia y transición y el menor valor en época seca, similar comportamiento fue registrado en la fase III, en donde la época de lluvia presentó la mayor temperatura (Cañón *et al.*, 2004). Esta época se define como la más caliente por la nubosidad que se presenta, la cual aumenta la temperatura tanto atmosférica y marina (CIOH, 2005); otros autores han reportado temperaturas en la Bahía de 37 y 38 °C (Munera y Ortiz, 1992; Ramírez, 1976, respectivamente) estableciendo que se presenta un tipo de contaminación térmica, debido a que funcionan varias plantas termoeléctricas, efluentes de desperdicios domésticos, descargas naturales de agua dulce, actividades bioquímicas

entre otros factores (Cañón *et al.*, 2004; Espinosa-Carreón *et al.*, 2001). En cuanto a las estaciones muestreadas se presentaron las mayores temperaturas a nivel superficial y las de fondo se registran con menor valor diferenciándose en 1° C con respecto a las superficiales; investigaciones anteriores (fase I y II) también reportaron las capas superficiales con las mayores temperaturas, esta particularidad se presenta principalmente porque la luz no alcanza a penetrar hasta el fondo de la columna del agua, calentando solamente la capa superficial del agua (Ramírez, 1976).

Para el año 2005, se registraron salinidades desde 2 hasta 35 UPS, presentándose las mayores salinidades en el fondo para todas las estaciones (Figura 5), similar comportamiento se evidenció en las fases anteriores, con rangos que oscilan entre 14,5 y 31,7 (Fase I) y 12 y 34 (Fase III, Tigreros 2002; Cañón *et al.*, 2004), este comportamiento es debido principalmente a la capa de mezcla que se forma entre el agua dulce proveniente del Canal y el agua oceánica, de igual forma también se muestra un efecto de dilución que afecta la parte superficial realizando una estratificación salina que puede estar entre 0 y 30 UPS, siendo este uno de los factores principales que influyen en la dinámica de la Bahía clasificándola como un estuario típico (Lonnin *et al.*, 2004).

El pH en el agua de mar usualmente se encuentra en rangos entre 7,5 a 8,5 (Parsons y Takahashi, 1973), en este estudio las concentraciones de este parámetro variaron entre 6,98 a 8,61, presentándose el mayor valor de pH en la época seca y el menor en la época de lluvia. Estos valores tendieron a ser concentraciones de carácter básico encontrándose cercanas a los valores estimados para el medio natural y relativamente cercanas a los reportes desde el 2002, donde el pH varió entre 7,83 y 8,40 mientras que para la fase III, los valores oscilaron entre 7,83 y 8,55 (Cañón *et al.*, 2004; Tigreros, 2002; Sanjuán *et al.*, 2003). En este estudio, el muelle de ECOPETROL registró la mayor concentración a nivel superficial, de igual forma Tigreros (2002), reporta esta misma estación con la de mayor concentración, en cambio Cañón *et al.* (2004), indican

que la mayor concentración se da en el muelle de CONTECAR. Según Margalef (1991), es normal encontrar pocas diferencias de pH en aguas marinas, debido a la alta capacidad tampón que tiene el agua de mar, la cual permite que no se presenten grandes cambios de pH; sin embargo, algunos niveles menores a 7 son debidos a los aportes continentales a este cuerpo de agua, causantes de procesos de acidificación, lo cuales, pueden ser magnificados en sistemas tendientes a la eutroficación (Roldán, 1992), como es el caso de la Bahía de Cartagena, la cual ha perdido su rastro inicial dejando de ser una bahía costera, convirtiéndose a su vez en una cuenca estuarina (Tuckovenko *et al.*, 2002; Lonin *et al.*, 2004)

Factores físicos como la temperatura y la salinidad afectan la cantidad de oxígeno disuelto presente en un cuerpo de agua, la concentración de este es proporcionalmente inverso a la temperatura, debido a que si esta sube, el oxígeno disuelto disminuye e inversamente en cuanto con la salinidad, al encontrarse mayores sales disueltas en el agua, menor será la disolución del oxígeno (Fuentes, 2002). Para el año 2005, el oxígeno disuelto registró la mayor concentración promedio en la época de lluvia ($5,3 \pm 2,1$ mg O₂/l) y la menor en la época de transición ($4,85 \pm 2,4$ mg O₂/l), caso contrario ocurrió en la fase III, donde la mayor concentración se registró en la época seca y el menor valor en época de transición, los valores de oxígeno disuelto en esta fase oscilaron entre 0,12 y 8,20 mg O₂/l (Cañón *et al.*, 2004). Esta diferencia se pudo haber presentado debido a que para el período de lluvia se presentó mar de leva y tormentas eléctricas con lluvia y fuertes vientos, lo cual es un factor que podría hacer que el oxígeno para esta época sea más alto en comparación a estudios anteriores (Boletín Meteomarinero, 2005).

Las estaciones que registraron las mayores concentraciones de oxígeno fueron a nivel superficial, principalmente la Boya 30 y el muelle de ECOPETROL. En estudios anteriores (Cañón *et al.*, 2004; Sanjuán *et al.*, 2003; Garay, 1997; Garay y Giraldo, 1998), igualmente reportan el nivel superficial de la capa de agua como la más

oxigenada y las del fondo logran alcanzar anoxias, estas condiciones son debido a que durante todo el año el aporte de materia orgánica que se realiza proveniente de los vertimientos industriales, aguas servidas urbanas, del Canal del Dique entre otros, han incrementado paulatinamente los procesos de eutroficación causando importantes decrecimientos de concentraciones de oxígeno disuelto principalmente en las capas del fondo (Garay y Giraldo, 1998; Tuckovenko *et al.*, 2002).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) osciló entre 0,023 y 509 mg DBO/l, registrándose la mayor concentración en la época de transición, además todas las estaciones de fondo presentaron los valores más altos, lo cual concuerda con el alto consumo de oxígeno en esta parte de la columna de agua, que explica el porque las bajas concentraciones de oxígeno en la misma zona. Este comportamiento es típico de sistemas eutrofizados donde se produce tanto oxígeno durante el día por procesos fotosintéticos, que pueden llegar a la sobresaturación en las capas superficiales, una razón más en la cual se puede considerar la Bahía como un cuerpo avanzado en estado de eutroficación (Garay y Giraldo, 1998). El CIOH durante los años 1996 a 1998, tomó como referencia tres puntos en la Bahía: el Canal del Dique, la Bahía de Cartagena (Bahía interna) y la Frontera abierta, donde la DBO presentó concentraciones de 1,31 mg/l, 2,1 mg/l y 0,7 mg/l, respectivamente (Tuckovenko *et al.*, 2002). El ingreso de aguas residuales a la Bahía, ha comprendido una serie de reacciones digestivas y fermentativas que llevan a cabo algunas bacterias, en este caso la cantidad de oxígeno consumido por estos microorganismos, hace una oxidación de la materia orgánica e inorgánica y cuanto más sea la oxidación, aumentará la DBO (Madigan *et al.*, 1999 y Margalef, 1991).

La entrada de nutrientes a la Bahía son provenientes de aportes fluviales como el Canal del Dique, escorrentías, desagüe de aguas domésticas y aguas oceánicas, ya que en este tipo de aguas se drenan residuos de fertilizantes utilizados en la agricultura y otras actividades, los cuales contribuyen al desarrollo de procesos de eutroficación (Roldán,

1992). Si bien los niveles de nitritos en la presente investigación estuvieron dentro de los rangos reportados desde el año 2002 (0-0,702 mg NO_2^-/l ; Cañón *et al.*, 2004; Tigreros, 2002; Sanjuán *et al.*, 2003), estos son elevadamente altos, comparados con los índices hidroquímicos tomados en la Bahía, cuyas concentraciones características para la capa fótica en el Canal de Dique son de 0,004 mg NO_2^-/l , en la Bahía interna 0,006 mg NO_2^-/l y en la frontera abierta al océano 0,002 mg NO_2^-/l (Tuckovenko *et al.*, 2002). Estos altos niveles se hacen más evidentes en zonas con influencia directa de aportes continentales, como por ejemplo la estación de ECOPETROL, donde se registró la mayor concentración a nivel superficial, debido a su cercanía con la desembocadura del Canal del Dique, el cual presenta aportes fluviales en lo que transcurre el año y por ende la presencia de nutrientes en el cuerpo de agua.

El registro de amonio en aguas marinas naturales se debe principalmente a la excreción de los organismos acuáticos, debido a que la mayoría de animales marinos eliminan el nitrógeno como amonio, encontrándose generalmente este compuesto en un margen de 0,4 a 50 mg NH_4^+/l (Tait, 1987). Paralelamente, debido al desarrollo sin planificación de ciudades costeras que continuamente vierten aguas servidas, aguas de alcantarillas y desechos industriales, dan como resultado elevados valores de nutrientes como es el caso del amonio (MOPT, 1992), factores que han conllevado a que el registro histórico de los nutrientes se encuentren en rangos altos superiores a 1 mg NH_4^+/l , como los obtenidos en el presente estudio para la época de lluvia (1,576 mg NH_4^+/l) y para el 2004 con un valor de 1,197 mg NH_4^+/l en la misma época climática (Cañón *et al.*, 2004). Cabe resaltar que estas concentraciones fueron obtenidas en los muelles de ECOPETROL y CONTECAR cercanos a salidas de escorrentías de la ciudad de Cartagena.

La presencia de fosfatos en aguas marinas se encuentran en concentraciones que van desde 1 hasta 100 mg PO_4^-/l , variando su concentración dependiendo la profundidad (Tait, 1987). En este estudio los fosfatos oscilaron entre 0,009 y 0,483 mg PO_4^-/l ,

registrando las mayores concentraciones en la época de transición para el muelle ECOPETROL. En el año 2004, se reportaron valores que oscilan entre no detectable y 0,69 mg PO_4^-/l , presentándose la época de lluvia con mayor concentración; en cuanto a la fase I, los valores oscilaron entre 0,003 y 0,042 mg PO_4^-/l , siendo la época de lluvia la de mayor registro; igualmente Sanjuán *et al.* (2003) encontraron el mayor valor de fosfatos para esta misma época y finalmente Tigreros (2002), registró la estación de Algranel con el mayor valor de fosfatos (0,042 mg PO_4^-/l). Es evidente la presencia de desagües, canales de escorrentía, vertederos o alcantarillas y la entrada del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena, el cual confirman que el aporte antrópico es de una gran significancia en los altos niveles de nutrientes, teniendo en cuenta, que este tipo de aguas son ricas en compuestos tanto nitrogenados como fosforados entre otras especies químicas (MOPT, 1992).

6.1.2 Pigmentos Fotosintéticos

Desde una perspectiva geográfica, se puede deducir que las concentraciones de clorofila a se encuentran cerca a los rangos reportados para la gran cuenca del Caribe y dentro de los valores reportados en los diferentes puntos costeros del Caribe colombiano, específicamente los reportados en la Bahía de Cartagena cuyos valores fluctúan entre 0,02 y 73,19 mg / m^3 (Tabla 5); en cuanto a valores reportados en sistemas eutroficados costeros tropicales estos oscilan entre 62 y 130 mg / m^3 (Gocke *et al.*, 2004), valores que no son muy lejanos a los reportados en la Bahía para el año 2005, donde las concentraciones se presentaron de forma variable, oscilando entre 0,024 y 44,79 mg Chl a / m^3 , donde la mayor concentración promedio se dio en la época de transición y en el muelle de ECOPETROL; estos aumentos de clorofila a, para esta época presentan cierta relación con el aumento de algunos de los nutrientes como los nitritos y los fosfatos, ya que en esta época se presentaron fuertes descargas provenientes del interior del país por medio del Canal del Dique (CIOH, 2005),

registrando una alta actividad fotosintética, donde la luz ya no es un factor limitante y es favorecido por el aporte continuo de materia orgánica(Espinosa - Carreón *et al.*, 2001). En cuanto a estudios anteriores durante los años 2002 - 2004, las concentraciones de clorofila a oscilaron entre 0,02 y 73,19 mg Chl a /m³, registrando los valores más altos en la época de lluvia, este rango de concentraciones se encuentran entre los datos obtenidos en sistemas eutroficados, lo cual puede indicar eventos de eutroficación en la Bahía, los cuales van ligados a las concentraciones de nutrientes y por ende una alta abundancia de fitoplancton (Barker y Richardson, 1996).

La presencia del feopigmento a, obtuvo su mayor concentración en la época seca y su menor concentración en transición, esto coincide con los bajos y altos valores de clorofila a en estas mismas épocas, respectivamente, así como en las estaciones. Este pigmento presentó altas concentraciones sobre todo en el muelle de ECOPETROL. La presencia del feopigmento a, en la columna de agua es debido a la degradación de células y por ende la de clorofila a (Espinosa-Carreón *et al.*, 2001). Reportes de los años 2002 – 2004 han registrado la mayor concentración de feopigmento a en la época seca y en la fase I y II (Tigreros, 2002, 2003) reportaron las mayores concentraciones en los muelles de ECOPETROL y Sociedad Portuaria.

Tabla 5. Valores mínimos (mín.) y máximos (máx.) de clorofila a (Chl a) para diferentes regiones del mar Caribe y la costa Caribe colombiana (Tomado y modificado de Franco-Herrera, 2005 y Gocke *et al.*, 2003).

	Región	Tipo	min – max Chl a ($\mu\text{g l}^{-1}$) ó (mg/m^3)
CUENCA DEL CARIBE			
Bianchi <i>et al.</i> , (1995)	Golfo de México (90°W / 28°N)	Aguas costeras y oceánicas	0,15 – 2,85
Philips y Badylak (1996)	Florida (80°W / 25°N)	Aguas costeras	0,2 – 39,9
Webber y Roff (1996)	Costa Hellshire, Sudeste de Jamaica (76°W / 17°N)	Aguas costeras	0,70 – 2,64
Rodríguez y Varela (1987)	Noreste de Venezuela (70°W / 12°N)	Aguas costeras y oceánicas, Zona de surgencia	0,1 – 5,2
COSTA CARIBE COLOMBIANA			
SISTEMAS TROPICALES			
Duarte (1996)	Plataforma continental de la Guajira (71°W / 13°N)	Aguas oceánicas Zona de surgencia	0,76 – 1,52
Gualteros <i>et al.</i> (1992) Franco- Herrera <i>et al.</i> (1992)	Parque Nacional Natural Corales del Rosario (75°W / 10°N)	Laguna costera Aguas oceánicas	0,1 – 0,8 0,01 – 0,08
Franco-Herrera (2001)**	Golfo de Salamanca	Aguas costeras	7,6 – 96,1
Franco-Herrera <i>et al.</i> (en rev.)**	Parque Nacional Natural Tayrona (74°W / 11°N)	Aguas costeras	7,2 – 75,0
Arias y Durán (1984)	Bahía de Cartagena (75°W / 12°N)	Aguas costeras	0,20 – 19,25
Tigeros (2002)	Bahía de Cartagena	Aguas costeras	0,78 - 40,81
Sanjuán <i>et al.</i> (2003)	Bahía de Cartagena	Aguas costeras	0,02 - 73,19
Cañón <i>et al.</i> (2004)	Bahía de Cartagena	Aguas costeras	0,028 - 29,49
Orejarena <i>et al.</i> (2004)	Bancos de Salmedina	Aguas costeras	0,06 - 1,20
Presente estudio (2005)	Bahía de Cartagena	Aguas costeras	0,02- 44,79
Gocke <i>et al.</i> (2003)	Isla Salamanca Occidental		5,5 - 15
SISTEMAS TROPICALES EUTROFICADOS			
Gocke <i>et al.</i> (2003)	Ciénaga Grande de Santa Marta		62 - 67
Gocke <i>et al.</i> (2003)	Complejo de Pajarales		19 - 130

Los valores del índice de actividad fotosintética (IAF), en la mayoría de los casos estuvieron por debajo de 1, indicando una menor concentración de clorofila a sobre el feopigmento a. Así se observa un descenso fotosintético de las comunidades del fitoplancton en la Bahía de Cartagena durante las tres épocas climáticas en el año 2005 (Figura 52 a), presentándose una mayor degradación de la clorofila a en la época seca y de lluvia, excepto durante la época de transición, donde es evidente un mejor estado fisiológico del fitoplancton. Algo similar se observa entre las estaciones en ambas

profundidades, donde se obtuvo una mayor degradación de la clorofila *a* y por ende una menor actividad fotosintética (Figura 52 b). Así, se puede aseverar que en la Bahía se está presentando una condición senescente de la comunidad fitoplanctónica, lo que es posible que afecte la actividad fotosintética y por ende la productividad primaria del sistema (Margalef, 1991).

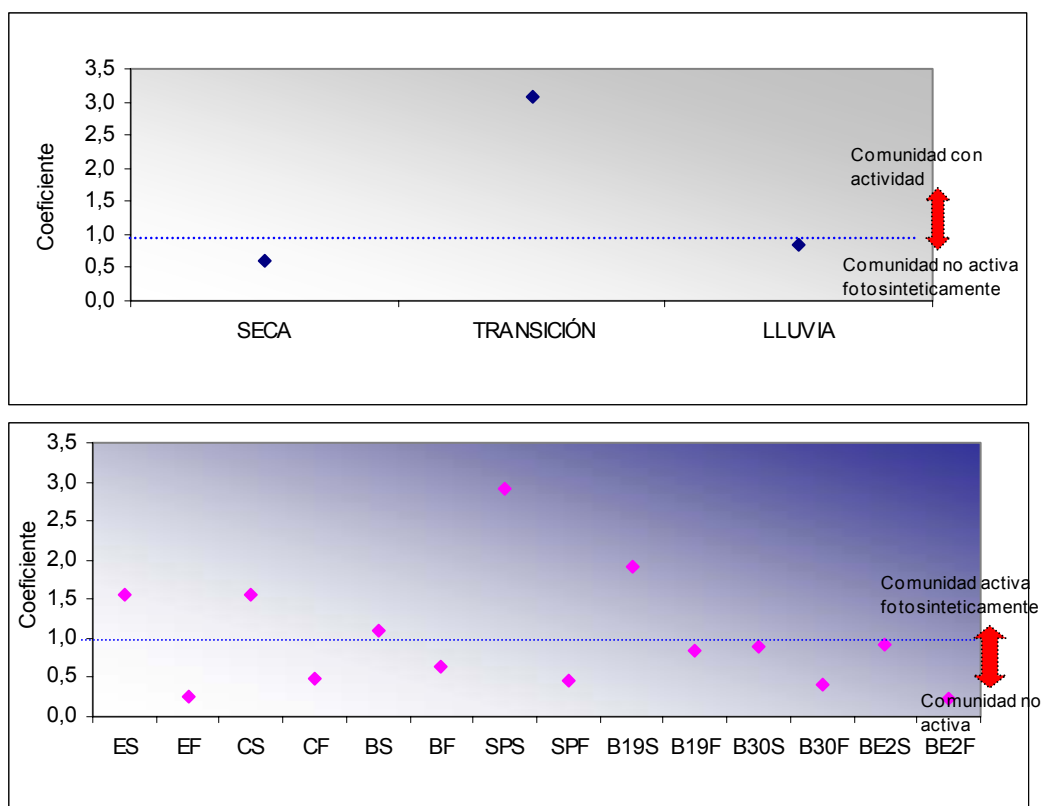


Figura 52. Valores del índice de actividad fotosintética (IAF) durante las tres épocas climáticas (a) y las estaciones muestreadas en la Bahía de Cartagena en el año 2005 (Estaciones: ES: Ecopetrol superficie; EF: Ecopetrol fondo, CS: Contecar superficie, CF: Contecar fondo, BS: Bosque superficie; BF: Bosque fondo, SPS: Sociedad Portuaria superficie; SPF: Sociedad Portuaria fondo, B19S: Boya 19 superficie; B19F: Boya 19 fondo, B30S: Boya 30 superficie; B30F: Boya 30 fondo, BE2S: Boya E2 superficie; BE2F: Boya E2 fondo).

6.1.3 Fitoplancton de los muelles de la Bahía de Cartagena

La composición fitoplanctónica encontrada en el presente estudio para la Bahía, ha presentado ciertos cambios históricos, donde algunos grupos fitoplanctónicos no han sido reportados en diferentes años (Tabla 6), como es el caso de las cianófitas (1977; 1984), las euglenófitas (1977; 1984; 2002*; 2003; 2004*-2005*), las clorófitas (1977; 1984) y finalmente los Silicoflagelados (1984; 2004*-2005*). La presencia de algunos grupos puede indicar una serie de cambios en el medio o en los organismos, de los cuales pueden dar generalmente ciertos indicios de contaminación del sistema (Pinilla, 2000).

Tabla 6. Cantidad de especies encontradas en los distintos grupos fitoplanctónicos en la Bahía de Cartagena en los diferentes años (* Corresponde a las distintas fases del proyecto; - ausencia de especies).

Autor	Diatomeas pennadas	Diatomeas centrales	Dinoflagelados	Cianófitas	Euglenófitas	Clorófitas	Silicoflagelados
Vidal y Carbonell (1977)	74	70	44	-	-	-	2
Arias y Durán (1984)	14	18	22	-	-	-	-
Tigeros (2002*)	13	60	18	5	-	1	1
Sanjuán <i>et al.</i> , (2003)	14	41	18	4	-	4	1
Tigeros (2003*)	14	77	25	3	1	7	2
Cañón <i>et al.</i> , (2004*)	8	36	11	5	-	6	-

Los grupos fitoplanctónicos como las diatomeas y los dinoflagelados, han sido reportados como permanentes en la Bahía, mientras que las cianófitas y las clorófitas empezaron a ser reportadas desde el 2002-2005 (Tabla 6). La presencia de especies de estos dos grupos han sido catalogadas como indicadoras de sistemas eutroficados, mesotroficados, con cambios de pH ó estratificación térmica, donde es evidente la presencia de géneros como *Closterium* sp., *Cosmarium* sp., *Micrasterias* sp. y la cianófitas *Oscillatoria* sp. (Pinilla, 2000).

Durante las tres épocas climáticas, se presentó una marcada presencia y abundancia de la diatomea *Skeletonema costatum*, la cual tiene como característica ser eurihalina y euriterma. Esta especie es cosmopolita, además ha sido catalogada como una especie muy abundante y cuando esto ocurre y alcanza grandes densidades, puede causar grandes impactos en el sistema como la producción de hipoxia ó anoxia (GEOHAB, 2001). *S. costatum* junto con otras diatomeas como *Coscinodiscus* sp., *Chaetoceros affinis* y *C. curvisetus*, han llegado a producir un tipo de mareas amarillo-verdosas (COI (Comisión Oceanográfica Intergubernamental), 2002). En el presente estudio esta especie se registró en todas las estaciones y épocas presentando su mayor abundancia relativa en la época de lluvia y la menor en seca. Comparando su presencia con las demás especies encontradas en el estudio, *S. costatum* en la Bahía ha sido encontrada muy frecuente. Para Vidal y Carbonell (1977), esta especie presentó su mayor densidad en los meses de junio y septiembre, igualmente Arias y Durán (1984) y García (1987), la registran con altas densidades en la mayoría de las estaciones; en la fase II, la mayor densidad se presentó en el muelle de Sociedad Portuaria, de igual forma fue muy abundantes en las demás estaciones. Complementariamente, Sanjuán *et al.* (2003) y Cañón *et al.* (2004).establecen que *S. costatum* puede alcanzar una dominancia del 89,63%, haciendo considerar las demás especies como raras.

La presencia de estructuras ó esporas de resistencia es notable en la Bahía durante las tres épocas climáticas en el presente estudio. La aparición de este tipo de estructuras son dadas por condiciones ambientales adversas, ya que las algas pueden formar quistes inmóviles, que sobreviven por largos períodos de tiempo en los sedimentos, hasta que las condiciones sean favorables y les permitan reproducirse nuevamente (Avaria *et al.*, 1999). Las diatomeas producen esporas de reposo o resistencia, las cuales son estados fuertemente silificados en los ciclos de vida de diatomeas céntricas marinas y unas pocas dulceacuícolas y diatomeas pennadas (Parra y Bicudo, 1995 En: Gavilán 2003). Su mayor abundancia relativa se presentó en la época de transición y la

menor en seca, muy posiblemente a los cambios que se producen por el cambio de época, causados por el ingreso de aguas continentales que disminuyen la transparencia y generan fluctuaciones en la temperatura y salinidad del agua.

Algunas especies del género *Chaetoceros*, se encuentran en aguas estuarinas (Koenig *et al.*, 2002), como *C. lorenzianus*, la cual se encontró como una especie abundante pero ausente en algunas estaciones como en la boya 19; y para la fase III, no se registró en ninguna época climática. Otros autores han reportado esta especie como poco frecuente para la Bahía sobre todo donde hay contacto con aguas oceánicas (Vidal y Carbonell, 1977; Tigreros, 2002), en cambio en el estudio de Sanjuán *et al.* (2003) presentó una alta abundancia. En cuanto a *C. curvisetum* y *C. didymus*, se encontraron en menor densidad que la anterior, la primera especie no se registró en las boyas 19 y E2, además ha sido reportada por los estudios de Vidal y Carbonell (1977) y Arias y Durán (1984), donde establecen que está es una especie poco frecuente en los periodos de estudio; en cambio para Tigreros (2002), la registra con una alta densidad, sobre todo en los muelles de ECOPETROL, Sociedad Portuaria y El Bosque; en cuanto a la segunda especie (*C. didymus*) es reportada como frecuente en la Bahía (Tigreros, 2003).

Otra diatomea que se encuentra en menor densidad que las anteriores es *C. decipiens*, para el presente estudio se registró con una baja densidad además de ser ausente en la boya 30. Algunos autores que la han reportado registran que esta es una especie poco frecuente, que se presenta con bajas densidades y casi ausente (Vidal y Carbonell, 1977; Tigreros, 2002, 2003; Cañón *et al.*, 2004); El género *Chaetoceros* presentó una alta diversidad, la especies de este género son cosmopolitas, además de poder proliferar fácilmente cuando las condiciones ambientales son favorables (Rines y Theriote, 2003), las cuales pueden llegar a producir daños mecánicos en los recursos marinos (GEOHAB, 2001); *C. curvisetum* y *C. decipiens*, son considerados como

especies acompañantes de algunas taxa que tienen la capacidad de producir floraciones tóxicas (Cassis *et al.*, 2002).

Especies del género *Bacteriastrium* presentan ciertas características en su distribución, como ser cosmopolitas ó de tipo oceánico (Rines, 1999). *B. delicatulum* se presentó abundante, ausentándose en una sola estación (boya 30), esta especie ha sido reportada para la Bahía por diversos autores como Vidal y Carbonell (1977), Arias y Durán (1984), Tigreros (2003), Cañón *et al.* (2004), como una especie común en la zona presentando mayores densidades en los meses de febrero, abril, junio y septiembre.

Algunas diatomeas en especial del género *Coscinodiscus*, son indicadoras de condiciones marinas ricas en nutrientes o de eventos de surgencias (Hernández – Becerril, 1999). Para el presente estudio se observaron *Coscinodiscus* sp., *C. gigas*, *C. granii* y *C. radiatus*. La primera especie se presentó con una alta abundancia relativa, aún siendo ausente en las tres boyas muestreadas (B19, B30 y BE2) y con una baja abundancia en el muelle de Sociedad Portuaria. En la Bahía esta especie ha sido encontrada como una especie común en el área, presentando mayores densidades en el mes de julio; *C. gigas* presentó altas y bajas abundancias dependiendo la época (seca y transición, respectivamente), está especie ha sido reportada por diversos autores (Arias y Durán, 1984; Tigreros, 2002; Cañón *et al.*, 2004), como común en la Bahía, registrando una alta densidad en el mes de julio y habitando en mares tropicales a temperados (Vidal y Carbonell, 1977). *C. granii*, se reporta con una mayor abundancia en la época de lluvia, esta especie como se nombró antes es indicadora de aguas ricas en nutrientes (Hernández – Becerril, 1999), lo cual concuerda con el aporte de nutrientes que se realiza en está época. Finalmente *C. radiatus*, registró en general una alta abundancia, se reporta en grandes cantidades en la mayoría de las estaciones, ausentándose solamente en el muelle El Bosque, además ha sido reportada por Arias y Durán (1984) como un especie frecuente. Tigreros (2002) la cataloga con una baja densidad en el muelle de Sociedad Portuaria y Cañón *et al.* (2004), la registran como

representativa de la época de transición. Algunas especies de este género han sido catalogadas como productoras de polución (Tapia y Naranjo, 2002) y otras, cuando se han presentado floraciones tóxicas, como consumidoras de todos los nutrientes del agua hasta agotarlos, causando disminución en la transparencia y amenazas a diferentes cultivos (Reguera, 2003; Hernández – Becerril, 1999).

En la fase I, especies de los géneros *Rhizosolenia* y *Pseudonitzschia* presentaron bajas densidades (Tigreros, 2002) en cambio en la fase III, se registro una alta densidad a lo largo del muestreo (Cañón *et al.*, 2004), en este estudio estos géneros se presentaron con bajas densidades en las estaciones. Según Cassis *et al.* (1998) *R. setigera* y *Pseudonitzschia* sp., han sido asociadas a intoxicaciones, de igual forma cuando aparecen floraciones generalmente se ven relacionadas a la temperatura. *R. setigera*, ha sido reportada como flora común en la Bahía además de presentarse en mayores densidades en los meses diciembre a mayo (Vidal y Carbonell, 1977);

De igual forma, especies del género *Pseudonitzschia* han sido consideradas nocivas en la salmonicultura y posibles productoras del veneno amnésico de mariscos en diferentes partes del mundo (Cassis *et al.*, 2002; Vrieling y Zevenboom, 1996); este se ha reportado en la Bahía a nivel de género. Para este estudio, se presentaron *Pseudonitzschia* sp., y *P. seriata* con una abundancia relativamente alta para la primera y la segunda con una abundancia media con respecto a las demás especies registradas en los muelles de ECOPETROL, CONTECAR y Sociedad Portuaria. A nivel de género se encuentran en las tres épocas de estudio, las estaciones donde se registró esta especie fueron en El Bosque, Sociedad Portuaria y la boya 19 con una abundancia alta y en el muelle de CONTECAR y la boya 30 cuya abundancia fue baja.

Algunas géneros de diatomeas son acompañantes de algunas taxa que se encuentran relacionados a floraciones tóxicas en este caso de los dinoflagelados *Dinophysis acuminata* y *D. acuta*. En sus florecimientos se han encontrado *Guinardia* sp.,

Bacteriastrum sp., *Lauderia annulata*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetum*, *C. decipiens* y *Thalassionema nitzschioides* entre otras; estas especies aunque son de ambientes diferentes ya sean marinas o estuarinas pueden llegar a dominar en el medio (COI, 2002; Cassis *et al.* 2002). Las especies nombradas como acompañantes han sido registradas en el presente estudio y en los anteriores años, presentándose con una abundancia relativamente baja y alta para *T. nitzschioides* en comparación a otras especies que se encontraron durante la misma época. *Lauderia annulata* y *Guinardia* sp., se registraron en el muelle de El Bosque, siendo esta última reportada en la Bahía por Vidal y Carbonell (1977), Tigreros (2002, 2003), Cañón *et al.* (2004) como una especie poco frecuente.

Por parte del grupo de los dinoflagelados, el género *Ceratium* se hace presente, siendo importante ya que algunas de sus especies pueden llegar a proliferar causando grandes impactos en un ecosistema; según la COI (2002), la especie *C. furca* junto con otros dinoflagelados han sido productores de mareas rojas inocuas (Avaria *et al.*, 1999). En este estudio se registra ausente en algunas estaciones pero con abundancias generalmente altas durante las tres épocas. En años anteriores ha sido reportado por diversos autores como Carbonell (1979) y Arias y Durán (1984), quienes la registran como frecuente pero con bajas densidades y finalmente en las fases I y III, esta especie se presentó con bajas densidades y poco frecuente (Tigreros, 2002; Cañón *et al.*, 2004).

C. hircus y *C. macroceros*, son consideradas especies de aguas cálidas, se encuentran en zonas neríticas, son ampliamente distribuidas y forman parte común del fitoplancton (Hernández – Becerril, 1985). En este estudio, *C. hircus* se presentó en los muelles de ECOPETROL, CONTECAR y Sociedad Portuaria y *C. macroceros*, se presentó en ECOPETROL, Sociedad Portuaria y la Boya 30, ausentándose en las demás estaciones. En estudios anteriores, *C. hircus* ha sido reportado por Carbonell (1979), Arias y Durán (1984), García (1987), Tigreros (2002, 2003) y Cañón *et al.* (2004), y *C. macroceros* la han registrado Carbonell (1979), Tigreros (2002) y Cañón *et al.* (2004) como especie

común en la Bahía, además de ser encontrada frecuentemente. Finalmente *C. fusus*, aunque no se ha reportado como especie acompañante de aquellos que producen floraciones, ni que produzca floraciones inocuas, habita en zonas tropicales, además de ser cosmopolita y euritérmica (Balech, 1988); esta especie se presentó con una baja abundancia y ha sido reportada en la Bahía como muy frecuente pero con bajas densidades (Carbonell, 1979; Arias y Durán, 1984; García, 1987; Tigreros, 2002, 2003; Cañón *et al.*, 2004).

La especie *Dinophysis caudata*, ha sido catalogada como tóxica (COI, 2002), es de hábitos cosmopolitas fundamentalmente nerítica, e incluso oceánica, pero ocasionalmente abundante en aguas costeras tropicales, subtropicales y cálido-templadas del mar Caribe (Reguera, 2003). Además de poder llegar a ser tóxica, hace parte de las especies acompañantes cuando se presentan estas floraciones tóxicas. Esta especie en este estudio presentó una abundancia baja, de igual forma ha sido reportada por Tigreros (2002, 2003), Cañón *et al.*, (2004), con una densidad baja durante años anteriores.

En cuanto a *Protoperdinium conicum*, *P. latidorsale* y *P. elegans*, son especies poco abundantes pero frecuentes propias de ambientes oceánicos tropicales (Hernández – Becerril, 1985); el primer taxón ha sido encontrado como especie acompañante de las floraciones de las especies de *Dinophysis* (Hernández – Becerril, 1985); *P. conicum* se registró en las estaciones de ECOPETROL, El Bosque y Sociedad Portuaria, en registros anteriores esta especie ha sido reportada por Vidal (1981) y Tigreros (2003). *P. latidorsale* y *P. elegans*, se encontraron en los muelles de ECOPETROL y Sociedad Portuaria con una abundancia relativamente media en comparación a las demás especies. Finalmente *Prorocentrum gracile*, se encontró en los muelles de ECOPETROL, El Bosque, Sociedad Portuaria, las boyas 19 y 30, en la Bahía ha sido registrada por Vidal y Carbonell (1977), Arias y Durán (1984), García (1987), Tigreros (2002, 2003) y Cañón *et al.* (2004), con una abundancia relativamente baja. Esta

especie junto con *C. tripos* y *C. furca*, han sido reportadas como productoras de floraciones inocuas en aguas chilenas (Avaria *et al.*, 1999).

Algunos dinoflagelados son productores de mareas rojas como *Pyrophacus horologium* que ha causado este tipo de eventos en diversos lugares causando grandes daños en el medio acuático. Esta especie fue encontrada en dos formas, una como organismo y la otra en su forma de resistencia (quiste), ambas con una abundancia relativamente baja. La mayoría de los organismos tienen la capacidad de formar estructuras de resistencia cuando se presentan condiciones adversas (Balech, 1988); en el presente estudio se encontró en algunas de las estaciones y en la forma de quiste en la boya 30 y E2, la presencia de esta estructura de resistencia es posible a que la primera boya se encuentra en el centro de la Bahía y las condiciones que allí se presentan son de típicas de un estuario (Lonnin *et al.* 2004) y en cuanto a la boya E2, está se encuentra donde hay un contacto entre aguas oceánicas y de la Bahía (Urbano, 1992), por ende bajo estas condiciones puede generar en este organismo que realice formaciones de estructuras de resistencia. En estudios anteriores, *P. horologium* ha sido reportada para la Bahía por Vidal y Carbonell (1977); Arias y Durán (1984); Tigreros (2002, 2003) Sanjuán *et al.* (2003) y Cañón *et al.* (2004), como una especie poco abundante pero frecuente en la zona, además de ser típica de aguas neríticas y zonas tropicales (Balech, 1988).

En el grupo de las cianófitas, la especie de *Oscillatoria* sp. se presentó con altas abundancias en algunas de las estaciones; los organismos de este género se han reportado como realizadoras de floraciones tóxicas en el agua (Koenig *et al.* 2002). Una especie de este género es *O. lacustris*, que se presentó con una alta abundancia en la época de lluvia en este estudio. En la Bahía, se ha registrado el género *Oscillatoria*, el cual ha sido reportado en las distintas fases con altas densidades sobre todo en la época seca, de igual forma Sanjuán *et al.*, (2003) lo reportan con altas abundancias y poca diversidad en el número de especies, la presencia de este grupo en esta época es

debido a que aún se continúan realizando aportes de agua dulce por medio del Canal del Dique, además es común encontrarla en sistemas estuarinos (Koenig *et al.* 2002). Aunque se registre especies de este género con altas abundancias que de una u otra forma han proliferado o decaído según las condiciones del medio, no se puede establecer si son especies estacionales, por las condiciones que la Bahía ha presentado como las concentraciones de nutrientes entre otros, que pueden favorecer la presencia de las cianófitas en este sistema.

Finalmente el grupo de las clorófitas que en su mayoría son de aguas dulces y estuarinas, se registran también en aguas saladas (Dawes, 1986), como es el caso *Pediastrum duplex*, *P. gracillimum*, y *Staurastrum leptocladum*, con una abundancia relativamente alta, en comparación a las demás clorófitas. En el presente estudio, estas especies se registraron en las estaciones de Sociedad Portuaria, Boya 19 y Boya 30 respectivamente, de igual forma también se registraron las clorófitas *P. boryanum*, *P. simplex*, *Staurastrum gracile* y *Scenedesmus quadricauda*, las cuales han sido reportadas para la bahía por Tigreros (2002, 2004) y Cañón *et al.* (2004). Según Ortega - Mayagoita y Rojo (2000), la especie *P. boryanum* y *S. quadricauda* son indicadores de eutroficación en un cuerpo de agua, además son muy cosmopolitas por lo que se puede observar en cualquier época del año, ya que son especies oportunistas.

Tabla 7. Géneros y especies encontrados en la Bahía de Cartagena con características potenciales de producir daños en el medio acuático.

Género-Especie	Causas	Época
<i>Skeletonema costatum</i>	Puede causar grandes impactos en el sistema como la producción de hipoxia ó anoxia	Seca, Transición y lluvia
<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp, <i>Chaetoceros</i> affinis y <i>C. curvisetus</i>	Pueden producir un tipo de mareas amarillo-verdosas	Seca, Transición y lluvia
Género <i>Chaetoceros</i>	Especies de este género puede llegar a producir daños mecánicos en los recursos marinos	Seca, Transición y Lluvia
Género <i>Coscinodiscus</i>	Especies de este género son indicadoras de condiciones marinas ricas en nutrientes o de eventos de surgencias. Además han sido catalogadas como productoras de polución, y otras cuando se han presentado floraciones tóxicas, consumen todos los nutrientes del agua hasta agotarlos, causando disminución en la transparencia y amenazas a diferentes cultivos	Seca, Transición y lluvia
Género <i>Pseudonitzschia</i>	considerada nociva en la salmonicultura y posible productor del veneno amnésico de mariscos	
<i>Pseudonitzschia seriata</i>	considerada como especies tóxicas, al relacionarse con intoxicaciones por la producción del veneno amnésico de mariscos	
Género <i>Rhizosolenia</i> y <i>Pseudonitzschia</i>	Algunas especies han sido catalogadas como productoras de tóxicas y envenenamientos	
<i>R. setigera</i> , <i>Pseudonitzschia</i> sp	Han sido asociadas a intoxicaciones, cuando hay eventos de floraciones la mayoría de veces se ven relacionadas a la temperatura del agua	
<i>Asterionella japonica</i> y <i>S. costatum</i>	Producen ácido domoico, generando eventos de envenenamiento diarreico por mariscos.	Transición-Lluvia; Seca, Transición y Lluvia
<i>Prorocentrum gracile</i> , <i>Ceratium tripos</i> y <i>C. furca</i>	Son productoras de floraciones inocuas	Seca, Transición y lluvia
Género <i>Dinophysis</i> ; <i>D. caudata</i>	Algunas especies producen floraciones tóxicas y se encuentran especies acompañantes como <i>Guinardia</i> sp, <i>Lauderia annulata</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros curvisetus</i> , <i>C. decipiens</i> , <i>thalassoma nitzschoides</i> , <i>Protoperidinium conicum</i> <i>P. latidorsale</i> <i>Bacteriastrum</i> sp, <i>Pseudonitzschia</i> sp y <i>Pseudonitzschia seriata</i> Especie toxica, causa floraciones alterando el medio	Seca, Transición y lluvia
<i>Ceratium furca</i>	Está especie junto con otros dinoflagelados han sido productores de mareas rojas	Seca, Transición y lluvia
<i>Pyrophacus horologium</i>	Produce mareas rojas causando grandes daños en el medio acuático	Seca, Transición y lluvia Ausente en las tres boyas en la época seca
Género <i>Oscillatoria</i> sp	Se ha reportado floraciones tóxicas en el agua, además de producir coloraciones verde azulado	Seca, Transición y lluvia Ausente en las tres boyas en la época de Lluvia
<i>Pediastrum boryanum</i> y <i>Scenedesmus quadricauda</i>	Son especies indicadoras de eutroficación en un cuerpo de agua	Seca, Transición y lluvia ausente en la mayoría de las estaciones

La mayoría de las especies anteriormente nombradas y encontradas en la presente investigación, se encuentran relacionadas con enfermedades de invertebrados y vertebrados marinos por generar mareas rojas, las cuales pueden llegar a causar grandes impactos que en el medio acuático. En la Tabla 7, se describen algunas especies que presentan estas características. Según Tigreros (2002), el registro de algunas especies de algas que han sido reportadas como productoras de toxinas por la COI (2002), se encuentran presentes en la Bahía, pero no hay soporte para asegurar

que hayan sido introducidas por aguas de lastre, algunas de ellas son *Amphora coffeaeformis*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis rapa*, *Dinophysis tripos* y *Protoberidinium crassipes*, que son productoras de sustancias como ácido domóico, ácido okadaico, dinofisistoxina-1 (DTX1) y de azospirácido. La mayoría de estas especies están relacionadas con el envenenamiento diarreico por mariscos (DSP- diarrhetic shellfish poisoning). Los resultados que se han obtenido (Tigreros 2002), indican que existen posibilidades para que se desarrollen eventos de floraciones de algas tóxicas en la Bahía de Cartagena si las condiciones para cada uno de estos organismos fueran favorables, no obstante, se debe comprobar que la taxonomía de estas especies coincida con las cepas tóxicas registradas en otras partes del mundo.

6.2 AGUAS DE LASTRE

6.2.1 Características fisicoquímicas

Las condiciones fisicoquímicas del agua de lastre, se encuentran entre los rangos encontrados en la Bahía, durante las tres épocas climáticas del año 2005 (Tabla 8). Esto es posible ya que los recambios de agua de lastre de la mayoría de los buques muestreados fueron realizados a lo largo del Caribe y algunos la tomaron de la Bahía, según los reportes de los formatos de la resolución A.868 de la OMI facilitados por las embarcaciones, los cuales hace posible que se reflejen ciertas semejanzas con el medio natural de la Bahía (Tabla 9).

Tabla 8. Rangos de mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos encontrados en las aguas de lastre y en la Bahía de Cartagena durante las tres épocas climáticas en el año 2005.

Parámetros	BUQUES (mín. - máx.)	SECA (mín. - máx.)	TRANSICION (mín. - máx.)	LLUVIA (mín. - máx.)
NO ₂ ⁻ mg/l	0,001 - 0,180	0,001 - 0,054	0,001 - 0,374	0,001 - 0,052
NH ₄ ⁺ mg/l	0,002 - 1,641	0,002 - 0,418	0,002 - 0,114	0,002 - 1,576
PO ₄ ⁼ mg/l	0,009 - 0,174	0,009 - 0,176	0,009 - 0,160	0,009 - 0,115
T °C	25 - 32	26,3 - 28,7	26 - 33	26 - 32,3
pH	6,20 - 8,22	7,71 - 8,58	7,78 - 8,39	6,98 - 8,61
O ₂ mg/l	2,21 - 8,08	0,51 - 7,8	0,468 - 9,95	1,89 - 8,36
SST mg/l	3 - 297	1 - 213	2 - 164	2,7 - 283
DBO mg/l	0,45 - 37,6	0,92 - 406	0,023 - 509	1,1 - 143
UPS	22 - 35	10 - 33	2 - 34	10 - 35

Tabla 9. Origen, cambio y descarga del agua de lastre de los buques muestreados (el color verde: agua de la Bahía de Cartagena; el color amarillo: agua deslastrada en la Bahía; NR: No reportan).

Buque	Origen del agua PUERTO	Recambio	Descarga PUERTO
ROTHORN	Manzanillo	18°-19' N/087°-06' W	
TMM DURANGO	18°-53' N/85°-11' W	18-53N/085-11W	
POLLUX A	NR	11-49,5N/073-23,5W	
LYKES OSPREY	NR	NR	NR
HAFENTOR	NR	NR	NR
CALA PALENQUE	NR	NR	NR
CSAV MARESIAS	Hamburg	NR	
CALA PROGRESO	Cartagena	07°-07' N/046°-14' W	Rio grande
HAPPY BEE	Cartagena	21°-36,1' N/085°-13,7' W	Plaquemine
PUNTA ARENAS	37°-20' N/075°-10' W	NR	
CARIBIA EXPRESS	12°-33' N/070°-30' W	NR	
NEDLOYS CURAZAO	Manzanillo		
CHALLENGER	Freeport		Mamonal-Cartagena
HAPPY LADY	11°-08' N/076°-17' W; 10°-54' N/076°-0,59' W; 10°-58' N/076°-13' W	NR	
TEAM ANEMONIA	PASADENA	21°-03' N/075°-20'	Mamonal-Cartagena
STENA CONQUEST	Houston		Mamonal-Cartagena
PHILINE SHULTE	NR	NR	NR
HAPPY LADY	NR	NR	NR

La temperatura, puede determinar la presencia de algunos organismos, ya que esta ejerce un gran control sobre la distribución y las actividades sobre estos (Tait, 1987). Este parámetro en los buques muestreados osciló entre los 25 y 32°C. De forma similar Cañón *et al.* (2004), reportan para las aguas de lastre temperaturas que oscilan entre los 28 y 32 °C; en comparación Tigreros (2002), reporta temperaturas más altas, los cuales

se encuentran entre 29,1 y 39,8°C. Estos valores de temperatura en determinados momentos pueden actuar como biocidas naturales, ya que el agua al ser deslastrada en la Bahía se puede generar un choque térmico, dependiendo de la época en que el buque deslastre.

Además esta variable ha sido utilizada como un factor de control en buques para algunas especies bioinvasoras, subiéndola a temperaturas mortales en un tiempo determinado (desde los 35 a los 50°C por varios minutos); este mecanismo es realizado por algunas embarcaciones que cuentan con el sistema en las bombas para el agua de lastre (Zhou y Lagogiannis, 2001). Los buques que fueron muestreados no cuentan con este sistema. Otros autores como Yoshida *et al.* (1996 En: Tigreros, 2002) han reportado datos de viabilidad del fitoplancton de un buque que cuenta con el sistema de calentamiento del agua, el cual la eleva hasta 40 °C durante 4 h, cuestionando trabajos anteriores en los que se propone que quistes de dinoflagelados no pueden sobrevivir a temperaturas mayores a los 45°C y sugieren mantener temperaturas más elevadas para eliminar microalgas nocivas por tiempos prolongados.

Algunas veces la salinidad se puede ver influenciada por elevaciones de temperatura causando evaporaciones del agua tendiendo a aumentar paralelamente (Tait, 1987), si esta permanece por más tiempo en los tanques de lastre; para el año 2005, las concentraciones oscilaron entre los 24 y 35 UPS. Tigreros (2002), presenta salinidades que varían entre los 23,3 y 35,6 UPS, de igual forma, estas no variaron entre estudios en la fase III, donde se reporta salinidades entre 25 y 34 UPS. Algunos organismos soportan cambios de salinidad muy reducida (Tait, 1987), algunas embarcaciones lastran o deslastran en la Bahía, el cual puede presentar salinidades más bajas o más altas dependiendo de donde provengan, llegando a producirse un estrés osmótico en algunos organismos. Parte del fitoplancton que se encuentran en la Bahía está habituado a vivir en condiciones estenohalinas, que al presentarse salinidades más altas puede llegar a producir este tipo de estrés; en cuanto a los organismos que se

encuentran en los tanques de lastre pueden presentarse organismos eurihalinos (Tait, 1987; Margalef, 1991), teniendo en cuenta que los recambios de agua que realizan las embarcaciones no son en un 100%, no se producen amplios cambios de salinidad que generen un alto el estrés osmótico en especies con estas características.

No solo la temperatura puede producir cambios en la salinidad, también puede influenciar en ligeras variaciones del pH, cuando la temperatura aumenta (Margalef, 1991). Estas concentraciones para el año 2005, presentaron un rango amplio que osciló entre 6,20 y 8,22, alcanzando valores tanto ácidos como básicos, en comparación a datos reportados en las fases anteriores. Tigreros (2002), registra concentraciones que van desde 6,99 a 8,16 y Cañón *et al.* (2004), reportan entre 7,95 y 8,11, valores que tienden a ser similares a las del medio natural. La presencia de pH ácidos en algunos buques, podría ser producto de procesos de descomposición de la materia orgánica, además de elevaciones de temperatura, factor que influye para que se puedan presentar bajos valores de pH (Odum, 1982; Margalef, 1991). Hoy en día se han propuesto diversas formas para el control de organismos en las aguas de lastre y una de esas posibilidades es que el agua sea totalmente ácida, para reducir la presencia de organismos indeseados. Este tratamiento químico no es recomendado y es descartado su uso en los buques, debido a que este mecanismo puede acarrear nuevos problemas ambientales, además de que es un método muy costoso (OMI, 1997).

Al igual que en el medio natural, ciertas variables influyen sobre otros procesos que son importantes para la sobrevivencia de organismos fitoplanctónicos, como es el oxígeno, las concentraciones pueden ser alteradas por las condiciones que se presentan durante el transporte del buque de un sitio a otro, además de presentarse agitación al momento en que la embarcación entra al puerto, los buques muestreados registraron altas concentraciones de oxígeno oscilando entre 2,21 y 8,08 mg O₂/l, alcanzado a sobresaturarse en algunos buques, lo que favorece un medio con capacidad para que se desarrollen las comunidades biológicas que se transportan en los tanques de lastre

teniendo en cuenta que este es un factor limitativo para la sobrevivencia de muchos organismos (Margalef, 1991); en comparación a las fases anteriores Cañón *et al.* (2004), reportan valores que oscilan entre 3,60 y 6,40 mg O₂/l y finalmente Tigreros (2002) registra concentraciones que varía entre 0,91 y 6,97 mg O₂/l.

Los sólidos suspendidos en las aguas de lastre se presenta con valores bajos en comparación a los que se registra en la Bahía, este proceso es posible, debido a que se realizan recambios de agua en mar abierto, lo que favorece la disminución de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua de los buques. Caso adverso sucede cuando se toma agua de tipo costero y más cuando se encuentran cerca de una desembocadura de algún río, como es el caso de la Bahía de Cartagena, que presenta altos valores como los sólidos suspendidos (Lonnin *et al.*, 2004), en este caso se puede observar que algunos buques (Happy Bee y Philline Shulthe) registran las concentraciones más altas de componente, ya que estos dos embarcaciones realizaron recambios del agua en la Bahía, en comparación a los demás que presentaron una menor valor, ya que realizaron recambios de agua en altamar especialmente en la zona del Caribe (según formatos) y por ende las bajas concentraciones de sólidos suspendidos totales.

En cuanto a los valores de DBO, estos fueron relativamente bajos oscilando entre 0,45 y 37,6 mg/l, si se comparan con los valores encontrados en la Bahía. Las bajas concentraciones pueden ser a que algunas embarcaciones realizaron el cambio del agua en mar abierto; en cuanto a la presencia de altas concentración (Happy Lady I), puede deberse a que a pesar de que se realicen recambios de agua, muchas veces son volúmenes bajos; además también puede depender de varios factores, como el origen del agua que se encontraba depositada anteriormente en los tanques, ya que si este tipo de aguas cuenta con suficiente materia orgánica e inorgánica en el fondo, donde ciertos microorganismos realizarán una oxidación de esta y en cuanto más sea la oxidación de la materia, la DBO aumentaría (Margalef, 1991). Otro factor importante es que los tanques no son lavados, lo cual la cantidad de materia que se encuentra allí depositada

desde hace mucho tiempo es mucha, la cual favorece la degradación de la materia orgánica.

La presencia de los nutrientes en el medio marino es muy importante, ya que estos favorecen el crecimiento y desarrollo del fitoplancton (Tait, 1987); la absorción en los tanques de lastre es muy limitado, debido a que los organismos autótrofos necesitan para ello de una fuente de luz, factor ausente en los tanques, ya que estos compartimientos son totalmente oscuros. Esto favorece la presencia de nutrientes en los compartimientos, sumado a las reacciones de oxidación de la materia orgánica proveniente de los organismos que allí se encuentran, como el zooplancton y el bentos entre otros; es por eso que la regeneración bacteriana del nitrógeno que proviene de la excreción de los organismos residuales allí presentes (Lalli y Parsons, 1997), hace posible encontrar concentraciones de nutrientes en el fondo de estos compartimientos, ya que cierta parte de esta se precipita y por ende se presenta una menor concentración de nitritos en la mayoría de los buques. En el año 2005, estas concentraciones fueron bajas oscilando entre no detectables (0,001) y 0,180 mg NO_2^-/l , en comparación a las fases anteriores, Tigreros (2002), registró concentraciones que van desde no detectables hasta 0,057 mg NO_2^-/l ; para la fase II, estos valores también oscilaron entre no detectables y 0,264 mg NO_2^-/l (Tigreros, 2003) y en la tercera fase las concentraciones se registraron por de bajo del límite de detección para todos los buques (Cañón *et al.*, 2004).

La presencia amonio en las aguas de lastre, se registra con concentraciones altas (Rothorn, Pollux A y Durango), posiblemente por los procesos químicos anteriormente nombrados, en comparación a las fases anteriores, en este año se registraron concentraciones más altas, que oscilan entre 0,002 y 1,64 mg NH_4^+/l ; para la fase I, se reportan valores entre no detectables y 0,46 mg NH_4^+/l (Tigreros, 2002); En el año 2003, registraron concentraciones que oscilan entre no detectables hasta 0,44 mg NH_4^+/l (Tigreros, 2003); finalmente en el año 2004, se encontraron valores que oscilaron entre

0,04 y 0,065 mg NH_4^+ /l (Cañón *et al.*, 2004). La presencia de amonio en estas aguas evidencia una degradación fuerte de materia orgánica, que puede estar siendo producida por la descomposición de algunos microorganismos (Odum, 1982).

En cuanto al fosfato, es un elemento clave para el crecimiento de muchos microorganismos además de ser un factor limitante en el crecimiento y distribución del fitoplancton marino (Benítez - Nelson, 2000); en el presente estudio el fosfato osciló entre 0,009 y 1,173 mg PO_4^- /l; registrando en dos buques las más altas concentraciones (Pollux A y Hafentor), en fases anteriores este parámetro osciló entre 0,015 y 0,059 mg PO_4^- /l (Cañón *et al.*, 2004), para la fase II (Tigreros, 2003), las concentraciones se encontraron entre no detectables y 0,177 mg PO_4^- /l; finalmente en la fase I (Tigreros, 2002) reportó valores que van desde no detectables hasta 0,051 mg PO_4^- /l; los años que registraron las más altas concentraciones fueron en el 2003 y en el 2005 (presente estudio), este compuesto en las aguas de lastre puede llegar a favorecer el crecimiento de las cianofíceas, al igual que algunos dinoflagelados del género *Peridinium* (Margalef, 1991; Turner *et al.*, 2003), aunque las especies de este género en este estudio se presentaron en bajas densidades.

6.2.2 Pigmentos fotosintéticos

La distribución del plancton se encuentra basado en diferentes factores ambientales como los son: la luz, la temperatura, salinidad y los requerimientos nutricionales entre otros, llegando hasta el punto de determinar si el plancton puede ser productivo en cualquier parte del océano (Margalef, 1991; Parsons y Takahashi 1973). Los pigmentos son parte fundamental del fitoplancton y en las aguas de lastre los valores de clorofila a se encontraron bajos al compararlos con el medio natural (Tabla 10), a pesar de que se encuentra entre los rangos reportados para la bahía, al igual que para la cuenca del gran Caribe.

Tabla 10. Valores mínimos (mín.) y máximos (máx.) de clorofila a en las aguas de lastre muestreados, en la Bahía y en la cuenca del Caribe; <: valor menor al límite de detección. (Tomado y modificado de Franco-Herrera, 2005).

	Buques	Bahía	Cuenca del Caribe
	(mín.- máx)	(mín.- máx)	(mín.- máx)
Clorofila <u>a</u> mg /m ³	< - 0,031	0,01 - 73,19	0,1 - 39,9

Estas bajas concentraciones de clorofilas en las aguas de lastre, puede estar siendo controlado por un factor que incide sobre esta actividad, principalmente la luz, según Yoshida *et al.* (1996), la falta de esta en los tanque de lastre, produce un descenso del fitoplancton, ya que las condiciones son de plena oscuridad, aunque hay organismos que tienen la capacidad de sobrevivir sin la presencia de la luz actuando como productores primarios de compuestos orgánicos por reducción del CO₂ a través de reacciones quimiosintéticas obteniendo la energía de productos químicos inorgánicos en vez de aprovechar la luz (Tigreros, 2003).

Igualmente, la presencia de clorofila a evidencia un estado de fotosíntesis activa en el agua de algunos buques como Team Anemonium, Cala Progreso y Caribbean Express (Figura 53), el cual es un aspecto para que algunas especies sobrevivan aunque en bajas densidades; de igual forma se observa que la mayoría de las comunidades fitoplanctónicas presentes en las aguas de lastre no son activas, pues al no sobrevivir bajo ciertas condiciones como la oscuridad empiezan a ser parte de la degradación y por ende inciden en las altas concentraciones de feopigmento a.

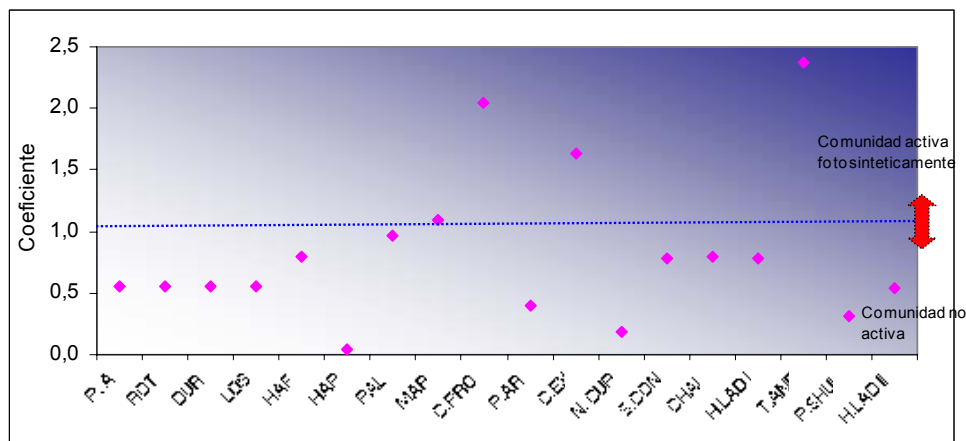


Figura 53. Valores del índice de actividad fotosintética (IAF) en las aguas de lastre de los distintos buques. (MAR: MARESÍAS; P. SHUL: PHILLINE SHULTHE; DUR: DURANGO; C.PRO: CALA PROGRESO; P.A: POLLUX A; HAP: HAPPY BEE; C.EX: CARIBIAN EXPRESS; C.PAL: CALA PALENQUE; ROT: ROTHORN; L.OSP: LIKES OSPREY; S. CON: STENA CONQUEST; H. LAD2: HAPPY LADY II; HAF: HAFENTOR; N.CUR: NEDDLLOYD CURACAO; H. LAD: HAPPY LADY; CHAL: CHALLENGER; T.ANE: TEAM ANEMONIUM; P.AR: PUNTA ARENAS).

En cuanto a la mayor concentración de clorofila a, se presentó en el buque Cala Palenque, donde se encontraron pocas especies, mostrando sin embargo, una gran densidad de las especies *S. costatum* y *Coscinodiscus* sp., lo cual se podría decir de forma hipotética, que estas se pudieron haber presentado en grandes densidades, pero por factores como la luz, nutrientes entre otros no permanecieron por más tiempo, coincidiendo que este buque presentó la mayor concentración de feopigmento a. Aunque los tanques de agua de lastre son totalmente oscuros parte del fitoplancton encontrado en estos compartimientos muere a causa de las condiciones de oscuridad (Yoshida *et al.*, 1996), Otras especies utilizan los pigmentos accesorios para su supervivencia (Dawes, 1986), los cuales pueden activarse a otras longitudes de onda, incrementando su viabilidad, lo que facilita la entrada de esta comunidad a la Bahía de Cartagena, lo que puede generar una serie de procesos tróficos en los tanques y por ende un alto riesgo para las especies bioinvasoras.

6.2.3 Fitoplancton de las aguas de lastre

De las especies reportadas en los buques, en su totalidad han sido registradas anteriormente para otras embarcaciones en las fases I y III, con densidades relativamente bajas a excepción del *S. costatum* que registra altas densidades en la fase I (Tigreros, 2002).

La distribución del plancton se basa en diferentes factores ambientales como la luz, el oxígeno disuelto, la salinidad y los nutrientes que favorecen su crecimiento. El fitoplancton de los océanos consiste principalmente de diatomeas y son las principales responsables de la producción primaria, se encuentran en casi todos los hábitats acuáticos como libres vivientes autótrofos fotosintéticos, heterótrofos ó simbioses fotosintéticos (Margalef, 1991). Las comunidades que viven en ambientes acuáticos bajo condiciones naturales contienen un mayor número de especies que aquellas que viven en condiciones artificiales y entre más similares sean estas condiciones ambientales, la biota será más afín en términos de composición y abundancia de especies (Tigreros, 2002).

Los tanques de agua de lastre de los buques presentan condiciones totalmente diferentes a los del medio natural, haciéndolos ser un sistema único con condiciones ambientales que cambian, albergando una biota particular, donde la comunidad planctónica puede estar constituida por organismos autótrofos que pueden llegar a sobrevivir bajo este tipo de condiciones ambientales que son propias de los tanques de lastre. Estas condiciones ya no son una barrera para que dichos organismos tengan la posibilidad de permanecer y sobrevivir en estos tanques, ya que muchos tienen la capacidad de hacer heterotrofia facultativa como los dinoflagelados y algunas diatomeas, llegando a producir estados de resistencia o latencia (Nielsen, 1975 y Zeitzschel, 1978 En: Sournia, 1978). Otra condición contraria, que es importante para muchos organismos fitoplanctónicos es la falta de la incidencia de la luz solar, se espera

observar una menor cantidad de especies debida a esta condición, como se presenta en los tanques de lastre, ya que estos son compartimientos totalmente cerrados (Majet y Perkoviv, 2004).

Según Reguera (2003), cualquier especie que en condiciones favorables aumente sus densidades, puede causar floraciones que afecten el medio. Algunas de las especies anteriormente nombradas son de interés ecológico, como *S. costatum* que según la COI (2002), ha llegado a producir un tipo de mareas amarillo-verdosas, de las cuales también se han encontrado conformadas por especies como *Coscinodiscus* sp., *Chaetoceros curvisetus* y *C. affinis*; GEOHAB, (2001), ha catalogado en sus listas a *S. costatum* como una especie que cuando alcanza grandes densidades en su sistema es capaz de producir hipoxia ó anoxia; la diatomea *Asterionellopsis glacialis* junto con *S. costatum*, tienen la capacidad de producir ácido domoico, el cual en grandes proporciones pueden producir eventos de envenenamiento diarreico por mariscos (Horner *et al.*, 1996). *Coscinodiscus waillesii*, en grandes densidades, ha llegado a causar en Japón, drásticos cambios en las condiciones del medio alterando los cultivos, esta especie se ha encontrado acompañada de otras especies como *S. costatum* y algunos géneros de *Chaetoceros*, *Melosira*, *Leptocylindricus* y *Thalassionema* (Nagai, 1996); en cuanto al grupo de los dinoflagelados, algunas especies han sido reconocidas por los daños que han causado cuando producen las mareas rojas que pueden ser o no tóxicas (Reguera, 2003), aunque en este estudio la especie *Dinophysis caudata*, se presentó en bajas densidades ha sido catalogada como una especie tóxica cuando alcanza grandes densidades (COI, 2002) y las cianófitas del género *Oscillatoria*, muchas de sus especies son productoras de coloraciones verde-azuladas y cuando alcanzan grandes densidades, causan problemas en el medio acuático en el que se encuentran (Vergara, 2002).

El agua de lastre del buque Pollux A, registró 23 especies siendo el buque que presentó la mayor cantidad de especies en comparación a los demás, al igual que una alta

abundancia. En esta embarcación solamente hicieron el recambio de un 10% del agua, el cual es muy bajo para disminuir la sobrevivencia de las especies que allí pueden incluirse; otro criterio para este porcentaje es que debe ser valorado dependiendo del lugar donde se haya tomado el agua, ya que puede incluir condiciones que favorecen las especies ya existentes en el tanque o simplemente ingresaron al tanque (OMI, 1997; Raaymakers, 2003).

Algunas especies pueden producir estructuras ó esporas de resistencia, como respuesta a cambios ambientales, sobreviviendo por largos períodos de tiempo flotando en el agua y en un determinado momento sedimentarse. Algunos autores creen que los cambios de temperatura, exposición a la luz, resuspensión causada por turbulencias en el agua, actúan como factores ambientales detonantes de la germinación, pero también existen mecanismos internos que la controlan como el “reloj biológico” (Matsuoka y Fukuyo, 2000). Estas estructuras pueden permanecer hasta que las condiciones ambientales sean favorables y les permitan reproducirse nuevamente (Avaria *et al.*, 1999). Las diatomeas producen esporas de reposo o resistencia, las cuales son estados fuertemente silificados (Parra y Bicudo, 1995 En: Gavilán, 2003).

Estas estructuras de resistencia encontradas en las aguas de lastre, especialmente del grupo de los dinoflagelados, son difíciles de establecer a que especies corresponden, ya que para su identificación, se requiere el proceso de germinación de estas (Matsuoka y Fukuyo 2000). Los quistes se presentaron en la mayoría de las aguas de los buques muestreados, el buque que más registró formaciones del grupo de los dinoflagelados fue el Cala Progreso, en cuanto a las esporas del género *Chaetoceros* fue en la embarcación Rothorn. Si se tomara el agua de lastre de los diferentes buques como una sola muestra se registraría una densidad alta de estas estructuras, en mayor proporción los hipnocistos seguido de los quistes de dinoflagelados. La presencia de este tipo de formaciones tiene distintas funciones, como ser fuentes de floraciones recurrentes ó

actuar como vectores para la expansión geográfica (Matsuoka y Fukuyo, 2000; Hallegraeff, 1998).

Con el fin de evitar que cada día se transporten billones de toneladas de aguas de lastre a través de los buques, se han propuesto diversos métodos para disminuir estas descargas en los puertos a los que arriban, ya que el fitoplancton que se transporta puede llegar a un medio que le proporcione condiciones ideales para su desarrollo, puede proliferar causando grandes estragos. Una de las alternativas, que hoy en día está siendo practicada por la mayoría de los buques es el intercambio de aguas en medio del océano (Open ocean ballast exchange BWE), ya que las condiciones de este tipo de aguas presentan pocas especies, teniendo menos probabilidad de sobrevivir y de ser transferidas a aguas costeras o dulceacuícolas (OMI, 1997; Raaymakers, 2003).

6.3 ESPECIES ENCONTRADAS EN AGUAS DE LASTRE Y REPORTADAS EN LA BAHÍA

Las especies que se registraron en las aguas de lastre como en la Bahía de Cartagena ya han sido reportadas a lo largo de todos los estudios fitoplanctónicos realizados en la Bahía; las especies que se identificaron, en su mayoría han sido catalogadas como causantes de problemas para el medio y la salud pública en distintas partes del mundo, pero este tipo de problemas no han sido reportados para la Bahía, lo cual se puede decir que la entrada de organismos fitoplanctónicos por medio del agua de lastre no es aún un motivo de alarma, destacando que las comunidades de fitoplancton históricamente han hecho parte de la flora autóctona de Bahía de Cartagena (Anexo L).

7 BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, C.; ARIAS, F. y THOMAS, F. Nota sobre la turbidez, circulación y erosión en la región de Cartagena (Colombia). En: Boletín Científico CIOH. 8 (1988) p. 71-81

ARIAS, F. A. y DURÁN, J.C. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Cartagena. 1982. 80 p. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

ARIAS, F. A. y DURÁN, J.C. Variación anual del fitoplancton en la Bahía de Cartagena. En: Boletín Científico CIOH. 5 (1984) p 61-116.

AROSEMENA, D.; CARDENAS, H.; GARZÓN, F.; IBÁÑEZ, F.; MORENO, C. y SIERRA, J. Algunos dinoflagelados y diatomeas de la Bahía de Cartagena y alrededores. Informe Museo del Mar. 1973. 81p

AVARIA, S.; CÁCERES, M.; MUÑOZ, P.; PALMA, S. y VERA, P. Plan Nacional sobre floraciones de algas nocivas en Chile. 1999. 31p.

BALECH, E. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanografía. N°,1. Madrid. 1988. 310 p.

BALLAST WATER. Stopping the ballast water stowaways. Global Ballast Water Management Program International Maritime Organization. 2nd. 2000.

BARKER, J. y RICHARDSON, C.(Ed). Coastal and Estuarine studies: eutrophication in coastal marine ecosystems. American Geophysical. 52 (1996) 273 p.

BELLA, G. y HULSMANN, N. How effective is ballast exchange?. En : BALLAST WATER NEWS. Global Ballast Water Management Program Issue 7. 2001. 20p.

BENITEZ –NELSON, C. El fósforo en las capas superficiales del océano. En: Ciencia al día. 3 (1) (2000) p. 1-13

BOLETÍN METEOMARINO DEL CARIBE COLOMBIANO. Central de pronósticos meteorológicos y oceanográficos - CPMO. Cartagena. 2005. (123). 12p.

BOTES, L. Phytoplankton Identification Catalogue. Globallast Monograph. Series No. 7. Saldanha Bay, South Africa. 2001. 77 p.

CAÑÓN, M.; GAVILAN, M.; MORRIS, L. y VANEGAS T. Informe: Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional fase III. Centro de Investigaciones e Hidrográficas CIOH, Armada Nacional de Colombia. Cartagena – Colombia. 2004. 158 p + anexos.

CARBONELL, M. *Ceratium Schrank* (Peridinales) en la Bahía de Cartagena. En: Boletín Científico CIOH 2 (1979) p. 21-53

CARRETO, J.; NEGRI, R.; BENAVIDES, H. y AKSELMAN, R. Toxic dinoflagellate bloom in the Argentine sea. En: Anderson and Badden (Eds). Elsevier Science Publishing Co. Inc.1985. p. 15-28.

CASSIS, D.; MUÑOZ, P. y AVARIA, S. Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26' S 73°00' W) En: Revista de biología Marina y Oceanografía. 31 (1) (2002) p. 43-65.

CASTRO L. Estudio de la contaminación microbiológica y su relación con los parámetros fisicoquímicos en la Bahía de Cartagena (Sector Laguito- Bocagrande). En: Boletín Científico CIOH 16 (1995) p. 73-90.

CIOH. Boletín Meteomarino mensual del Caribe colombiano. Central de pronósticos meteorológicos y oceanográficos CPMO. 2005. 12p.

COI. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Lista de especies de algas del plancton tóxicas. 2002. 112p.

CUPP, E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Oceanography of the University of California. 5 (1) (2005) 238 p.

DAWES, C. Botánica marina. ed. Limusa S.A. México 1986. 673 p.

DIMAR – CIOH. Manual de procedimientos técnicos e instructivos de operación y calibración de equipos de laboratorio de química. 2005.

DUKES, J y MOONEY, H. Does global change increase the success of biological invaders? En: Rev. Cient. y Tec ecología y medio ambiente. 14 (1999) p. 135-139.

DUSSART, B. Les différentes catégories de plaction. Hydrobiologia. 26 (1965) p 72-74.

ESPINOSA-CARREÓN, L.; GAXIOLA-CASTRO, G.; ROBLES – PACHECO, J. y NÁJERA- MARTÍNEZ, S. Temperatura, Salinidad, Nutrientes y Clorofila *a* en aguas costeras en la Ensenada del sur de California. En: Ciencias Marinas, 27(3) (2001) p. 397-422.

FRANCO-HERRERA, A. Oceanografía de la Ensenada de Gaira. El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Servigraphics Ltda. 2005. 58 pp.

FUENTES, A. manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de - Puerto Rico. 2002. 56 p.

FUNDACION MUSEO DEL MAR. Monitoreo fisicoquímico y biológico de las aguas de lastre en el muelle de carbón y los buques que arriban a Puerto Bolívar, Guajira resultados octubre 2004 a octubre 2005. 2006. 80p.

GARAY, J. Estudio de la contaminación por plaguicidas, hidrocarburos y eutroficación en lagunas costeras del Caribe colombiano: Fases I y II. Bahía de Cartagena, 1996-1997 En: 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) de la Armada Nacional de Colombia. Cartagena. 1997. 133 p + anexos.

GARAY, J. y GIRALDO, L 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 CIOH. 18 (1997) p.1-13.

GARAY-TINOCO, J.; RAMIREZ, G.; BENTACURT, P.; MARÍN, B.; CADAVID, B.; PANNIZO, L.; LESMES, J.; SANCHEZ, S.; LOZANO, H. y FRANCO, A. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos aguas sedimentos y organismos. INVEMAR. Santa marta. 13 (2003) 177p.

GARCÍA, R. 1987. Composición, distribución vertical y abundancia de tintinidos y dinoflagelados en la Bahía de Cartagena entre septiembre y diciembre de 1984. Trabajo

de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

GAVILÁN, M. Biomasa y productividad primaria de la comunidad fitoplanctónica en el lago Boa, Caquetá Medio Colombia. 2003. 131p. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

GEOHAB. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algae Blooms, Science Plan. GLIBERT, P. & G. PITCHER (Eds.). SCOR and IOC, Baltimore and Paris. 2001. 86 p.

GERLOFF J, CHOLNOKY B. Diatomaceous II. 1970. 835p.

GOCKE, K., MANCREA-PINEDA, J., VIDAL, L. Y FONSECA, D. Planctnic primary production and community respiration in several coastal lagoons of the outer delta of the rio Magdalena, Colombia. En: Boletín Investigaciones Marinas y Costeras. Santa Marta. 2003. (32). 125-144p.

HALLEGRAEFF, G. Transport of toxic dinoflagellates via ship's ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies En: Mar Ecol Prog Ser. Vol 168. 1998. p. 297- 309.

HERNANDEZ - BECERRILL, D, U. Morfología y taxonomía de algunas especies de diatomeas del género *Coscinodiscus* de las costas del pacifico Mexicano. En: Rev. Biol. Trop. 1999. (48) (1) 12 p.

HERNANDEZ - BECERRIL, U. Dinoflagelados en el fitoplancton del Puerto de el Sauzal, Baja California. En: Ciencias Marinas. 1985. 11(27): 65-91p.

HORNER, R., HANSON, L., HATFIELD, C. y NEWTON, J. Domoic acid in hood canal, Washington, USA. En: YASUMOTO, T., OSHIMA, Y. y FUKUYO, Y (Eds). Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Sendai, Japan. 1996. 127 – 129 p.

JEFFREY S y HUMPHREY G. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b* y *c*₁ y *c*₂ higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Phhysion Pflanzen*. 167.(1975) p.191-194.

JEFFREY, S.; MANTOURA, R. y WRIGHT, S. Phytoplankton pigments in oceanography: Guidelines to modern methods. SCOR and UNESCO. France. 1997. 661 p.

KOENING, M.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. y DE MACÊDO, J. Impactos da construção do porto de suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do Rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). En: *Acta bot. Bras.* 16 (4) (2002) p. 407-420.

LALLI, C. y PARSONS, T. *Biological oceanography: An introduction*. 2nd edition. Butterworth - Heinemann. Great Britain. 1997. 314 p.

LONNIN, S.; PARRA, C.; ANDRADE, C. y THOMAS, Y. Patrones de la pluma turbia del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena. En: *Boletín Científico CIOH* 22 (2004) p. 77-89.

LUDWING, J. y J. REYNOLDS. *Statistical Ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley y Sons. New York, 1988. 337 p.

MADIGAN, M.; MARTINKO, J. y PARKER, J. BROCK. *Biología de los microorganismos* octava edición. Prentice hall Iberia. Madrid. 1999. 1064 p.

MAJET, D. y PERKOVIE, M. Ballast water sampling as a critical component of biological invasions risk management. En: Mar Poll Bull 49 (2004) p 313- 318.

MARGALEF, R. Ecología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 1991. 951 p.

MATSUOKA, K. y FUKUYO, Y. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC. 2000. 30 p.

MÉNDEZ, S.; BRAZEIRO, A.; FERRARI, G.; MEDINA, D. y INOCENTE, G. Informe técnico: "mareas rojas" en el Uruguay. Programa de control y actualización de datos Instituto Nacional de Pesca 46 (1993) 18 p.

MOONEY, H. y HOBBS, R. Invasive species in a changing world. En: Rev. Cient y tec ecología y medio ambiente. 21 (2000) p. 10-19.

MOPT. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Monografía de la secretaría del estado para las políticas del agua y el medio ambiente. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. 1992. 809 p.

MORENO, J.; LICEA, S. y SANTOYO, E. Diatomeas del Golfo de California. Universidad autónoma de baja California Sur. México Primera edición. 1996. 275 p.

MUNERA, J. y C. ORTIZ. Análisis de la contaminación térmica de la Bahía de Cartagena y su efecto en el medio marino. 1992. 75 p. Trabajo de grado para obtener el título de Oceanógrafo Físico. Facultad de Oceanografía Física. Escuela Naval Almirante Padilla. Cartagena, Colombia.

NAGAI, S., HORI, Y., MIYAHARA, K., MANABE, T. y IMAI, I. Population dynamics of *COSGINODISCUS WAILESII* Gran (BACILLARIOPHYCEAE) In Harima – Nada, Seto Inland Sea, Japan. En: YASUMOTO, T., OSHIMA, Y. y FUKUYO, Y (Eds). Harmful and

Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Sendai, Japan. 1996. p. 239-242.

NIELSEN, E. Marine photosynthesis, with special emphasis on the ecological aspects. Elsevier Oceanography Series. 13 (1975). 141 p.

ODUM, E. Ecología. Tercera edición. Editorial Interamericana, México, 1982. 639p.

OMI (Organización Marítima Internacional). OMI al día: Hay que impedir que los organismos foráneos se desplacen aprovechando el agua de lastre. 1998. 24 p.

OMI (Organización Marítima Internacional). Resolución A.868 (20). Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques a fin de reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos. 1997. 28 p.

OMI (Organization Maritime International). Strategic plan for the organization (for the six-year period 2004 to 2010). 2004. 12 p.

OREJARENA, J.; DOMINGUEZ, J.; RICAURTE, C.; MAYO, G.; ANDRADE, C.; OSPINA, H. y CASTRO, W. Variaciones de la concentración de clorofila y su relación en los parámetros físicos medidos en Bancos de Salmedina durante 2003-2004 Caribe colombiano. En: Boletín Científico CIOH 22 (2004) p. 56-63.

ORTEGA – MAYAGOITIA, E. y ROJO, C. Fitoplancton del parque nacional Las Tablas del Daimiel. III. Diatomeas y Clorófitas En: Anales Jardín Botánico de Madrid. 58 (1) (2000). p 17-37.

OSPINA, J. y PARDO, F. Evaluación del estado de madurez gonadal y los hábitos alimenticios de la ictiofauna presente en la Bahía de Cartagena. 1993. 47 p+ anexos.

Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

PARSONS, T. y TAKAHASHI, M. Biological oceanography process. Pergamon press. Great Britain. 1973. 186 p.

PARSONS, T.; MAITA, Y. y LALLI, M. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Ed. Pergamon Press. Oxford. 1984. 173 p.

PINILLA, G. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano- Centro de Investigaciones Científicas. Santa Fé de Bogotá. 2000. p11-14.

RAAYMAKERS, S. 1st International Workshop on Guidelines and Standards for Ballast Water Sampling. GloBallast Monograph Series No. 9. (2003). 95p + Anexos.

RAMÍREZ, M. Estudio preliminar de la contaminación térmica en la Bahía de Cartagena. 1976. 85 p + anexos. Trabajo de grado para obtener el título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cartagena, Colombia.

REGUERA, B. Biología, Autoecología Toxicología de las principales especies del género *Dinophysis* asociadas a episodios de intoxicación diarreogénica por bivalvos (Dsp). 2003. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona Facultad de Biología - Departamento de Ecología.

RENDÓN, R., VANEGAS, T y TIGREROS P. Contaminación de la bahía de Cartagena por agua de lastre de los buques. En: Boletín Científico CIOH 21 (2003) p. 91-100.

RINES, J. Morphology and Taxonomy of *Chaetoceros contortus* (Schütt 1895), with Preliminary Observations on *Chaetoceros compressus* (Lauder 1864) (Subgenus *Hyalochaete*, Section *Compressa*). En: Botánica Marina. 42 (1999) p. 539-551.

RINES, J. y HARGRAVES, J. The *Chaetoceros* Ehrenberg (Bacillariophyceae) flora of Narragansett Bay Rhode Island, U.S.A. Bibliotheca Phycological, band 79. J. Cramer, Berlin-Stuttgart. 1988. 196 p.

RINES, J. y THERLOT, T. Systematic of Chaetocerotaceae (Bacillariophyceae). I. A phylogenetic analysis of the family. En: Phycological Research. 51 (2003) p. 83-98.

ROLDÁN, G. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Colombia. 1992. 529p.

SANJUÁN, A.; LAVERDE, J.; MEJÍA, G.; AGUDELO, C.; TIGREROS, P. y VANEGAS, T. Monitoreo físico, químico y biológico de la Bahía de Cartagena. Aguas de Cartagena S.A ESP. 2003.

SCHAUS, R. Circulación y transporte de aguas en la Bahía de Cartagena de Indias mediante su presentación por medio hidrodinámico numérico de circulación. DIMAR. Dc. 20 (1974).50 p. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

SOURNIA, A. Phytoplankton manual. UNESCO U.K. ed. 1978. 337 p.

TAIT, R. Elementos de ecología marina. Segunda edición. Editorial Acribia S.A. España. 1987. 446 p.

TAPIA, M. y NARANJO, C. Diversidad del plancton en el estuario interior de puerto Bolívar, Ecuador durante Julio de 2002. Instituto Oceanográfico de la armada, INOCAR. Guayaquil – Ecuador. 2002. 30 p.

TIGREROS, P. Informe: Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional fase I. Centro de Investigaciones e Hidrográficas CIOH, Armada Nacional de Colombia. Cartagena – Colombia. 2002. 65p + anexos.

TIGREROS, P. Informe: Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional fase II. Centro de Investigaciones e Hidrográficas CIOH, Armada Nacional de Colombia. Cartagena – Colombia. 2003. 75p + anexos.

TOMÁS, C. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press. California. 1996. 598p

TUCKOVENKO, Y.; LONNIN, S. y CALERO, L. Modelo de eutroficación de la Bahía de Cartagena y su aplicación practica. En: Boletín Científico CIOH. 20 (2002) p. 28-44.

TURNER E, RABALIS N, JUSTIC D & DORTCH Q. Future aquatic nutrient limitations. En: Mar Poll Bull. 46 (2003) p. 1032- 1034.

URBANO, J. Estado actual de la Bahía de Cartagena v/s Contaminación. En: Boletín Científico CIOH 10 (1992) p. 3-12.

VERGARA, D. La contaminación de aguas y la proliferación de organismos productores de toxinas. Universidad Autónoma de Chiriquí-Panamá. 2001. 16 p.

VIDAL, L. Diatomeas y dinoflagelados en las Islas del Rosario (arrecife coralino) y alrededores. En: Boletín Científico CIOH 3 (1981) p. 75-133.

VIDAL, L. y CARBONELL, M. Diatomeas y dinoflagelados de la Bahía de Cartagena. 1977. 360 p + anexos. Trabajo de Grado (Biólogo Marino) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.

VRIELING, C. y ZEVENBOOM, W. Development of a *Dinophysis acuminata* bloom in the River Rhine plume (North Sea). En: YASUMOTO, T., OSHIMA, Y. y FUKUYO, Y (Eds). Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Sendai, Japan, (1996) p. 273-276.

YOSHIDA, M.; FUKUYO, Y.; MURASE, T. y IKEGAMI, T. On-board observations of phytoplankton viability in ship's ballast tanks under critical light and temperature conditions. En: Yasumoto, T.; Yoshida, T. y Fukuyo, Y. (Eds.). Harmful and toxic algal blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 1996.

ZHOU, P. y LAGOIANNIS, V. On Board Treatment of Ballast Water (Technologies Development and Applications) En: 1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium. GloBallast Monographic Series N° 5. Symposium Proceedings. 2001. p.35.-44.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO TEÓRICO	14
3	METODOLOGIA	20
3.1	ÁREA DE ESTUDIO	20
3.2	FASE DE CAMPO	21
3.2.1	Ubicación de las estaciones	21
3.2.2	Componente abiótico	23
3.2.3	Componente biótico	24
3.3	FASE DE LABORATORIO	25
3.3.1	Componente abiótico	25
3.3.1.1	Sólidos Suspendidos Totales	25
3.3.1.2	Oxígeno disuelto	25
3.3.1.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	25
3.3.1.4	Nutrientes	25
3.3.2	Componente biótico	26
3.3.2.1	Pigmentos fotosintéticos	26
3.3.2.2	Composición y abundancia del fitoplancton	26
3.4	FASE DE GABINETE	27
3.4.1	Pigmentos fotosintéticos	27
3.4.2	Concentración de nutrientes	28
3.4.3	Composición y abundancia fitoplanctónica	28
3.4.4	Encuestas	30
3.4.5	Dinámica espacio temporal de las variables bióticas y abióticas	30
4	RESULTADOS	31
4.1	MUELLES BAHÍA DE CARTAGENA	31
4.1.1	Transparencia	31
4.1.2	Temperatura del agua	31
4.1.3	Salinidad	33
4.1.4	pH	35
4.1.5	Sólidos suspendidos totales	36

4.1.6	Oxígeno disuelto	37
4.1.7	Demanda bioquímica de oxígeno	39
4.1.8	Nitritos	41
4.1.9	Amonio	42
4.1.10	Fosfatos	44
4.2	AGUAS DE LASTRE	45
4.2.1	Temperatura	45
4.2.2	Salinidad	46
4.2.3	pH	47
4.2.4	Sólidos suspendidos totales	47
4.2.5	Oxígeno Disuelto	48
4.2.6	Demanda Bioquímica de Oxígeno	49
4.2.7	Nitritos	50
4.2.8	Amonio	51
4.2.9	Fosfatos	51
5	COMPONENTE BIÓTICO	53
5.1	PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DE LA BAHÍA DE CARTAGENA.	53
5.1.1	Épocas climáticas	53
5.2	COMPONENTE FITOPLANCTÓNICO EN LA BAHÍA DE CARTAGENA	59
5.2.1	Épocas climáticas	59
5.2.2	Muelles de la Bahía de Cartagena	61
5.2.2.1	Muelle de ECOPETROL	61
5.2.2.2	Muelle de CONTECAR	62
5.2.2.3	Muelle de El Bosque	63
5.2.2.4	Muelle Sociedad Portuaria	64
5.2.2.5	Estación Boya 19	65
5.2.2.6	Estación Boya 30	66
5.2.2.7	Estación Boya E2	67
5.2.3	Variabilidad espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica	68
5.2.4	Análisis multivariado abiótico-biótico	70
5.3	PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DEL AGUA DE LASTRE	71
5.4	COMPONENTE FITOPLANCTONICO EN EL AGUA DE LASTRE	72
5.4.1	Atributos ecológicos	72
5.4.2	Composición	73
5.4.3	Variabilidad de composición fitoplanctónica entre buques	75
5.4.4	Análisis de Componentes Principales (PCA) en las aguas de lastre	76

6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
6.1	BAHÍA DE CARTAGENA	78
6.1.1	Características fisicoquímicas	78
6.1.2	Pigmentos Fotosintéticos	84
6.1.3	Fitoplancton de los muelles de la Bahía de Cartagena	88
6.2	AGUAS DE LASTRE	98
6.2.1	Características fisicoquímicas	98
6.2.2	Pigmentos fotosintéticos	104
6.2.3	Fitoplancton de las aguas de lastre	107
6.3	ESPECIES ENCONTRADAS EN AGUAS DE LASTRE Y REPORTADAS EN LA BAHÍA	110
7	BIBLIOGRAFIA	111
8	CONCLUSIONES	115
9	RECOMENDACIONES	118

8 CONCLUSIONES

BAHÍA DE CARTAGENA

- ✳ Se encontraron un total de 125 especies, pertenecientes a los grupos de Diatomeas (88), Silicoflagelados (1), Dinoflagelados (25), Cianófitas (3), Clorófitas (8), además de 4 morfotipos y la presencia de 9 estructuras de resistencia. *Skeletonema costatum*, fue la especie más representativa durante todo el muestreo, ya que es un representante típico de aguas de baja salinidad, asociado a aguas estuarinas. Además se registran 4 dinoflagelados: *Ceratium gibberum*, *C. pentagonum pentagonum*, *C. symmetricum*, *Protoperidinium latidorsale*; 8 diatomeas: *Bacteriastrum furcatum*, *Chaetoceros borealis*, *C. affinis* var. *javanicus*, *C. didymus* var. *protuberans*, *Lauderia annulata*, *Rhizosolenia imbricata*, *Odontella alternas*, *Melosira nummuloides*; 6 clorófitas: *Pediastrum boryanum* *P. gracillimum* *P. simplex* *Staurastrum gracile*, *S. leptocladum* *Micrasterias* sp. y 1 cianófito: *Oscillatoria lacustris*, las cuales no se encuentran reportadas históricamente para la Bahía, pero si se hallan en el Caribe.
- ✳ La Bahía de Cartagena, presentó una mayor flora fitoplanctónica en comparación a la encontrada en las aguas de lastre; registrándose en la Bahía 125 especies y 46 especies en los tanques de lastre.
- ✳ En la Bahía, se encontraron especies que han sido catalogadas y asociadas a la producción de toxinas como *Dinophysis caudata*, sin embargo sus bajas densidades hacen que su acción sea inocua al medio en el que se encuentran.

- ❄ La presencia de una alta abundancia de estructuras de resistencia, quistes o esporas en la Bahía, pueden deberse a los cambios que se producen en la columna de agua como la salinidad, los cuales pueden llegar a alterar el ciclo normal de los organismos.
- ❄ Las condiciones de la Bahía de Cartagena, han producido cambios, donde las especies allí presentes no son totalmente oceánicas y han modificado a través del tiempo sus características, como sobrevivir a condiciones marino-estuarinas tropicales, donde algunas veces la salinidad ha alcanzado rangos que van desde 2 hasta 35 UPS, estos cambios se han producido por la continua descarga de aguas continentales que no solo han modificado el sistema, sino también han acarreado graves problemas de contaminación. A pesar de que las condiciones fisicoquímicas que se presentan van de acuerdo a la época, no deja de ser un estuario, donde se encuentran para cualquier época especies de aguas dulces, como *Scenedesmus* y *Pediastrum*, aunque en menores proporciones.
- ❄ La dinámica fisicoquímica de la Bahía depende de dos factores, por una parte el ingreso de aguas continentales por el Canal del Dique y aguas afluentes al lugar y segundo, el intercambio con aguas oceánicas.
- ❄ Las concentraciones de nutrientes en la Bahía son fluctuantes a lo largo del año, reflejándose mayores niveles en la época de transición, lo que a su vez favorece el aumento del fitoplancton, manteniéndose así hasta la época de lluvia.
- ❄ Las altas concentraciones de amonio en la época de lluvia, pueden ser dadas por dos factores; uno por la constante entrada de aguas continentales por medio del Canal del Dique, además de las aguas de escorrentía, observadas por aumento de sólidos suspendidos en la misma época y segundo por el descenso de algunos organismos que mueren por las condiciones adversas de la época.

AGUA DE LASTRE

- * En las agua de lastre analizadas se encontraron 46 especies, distribuidas en 25 géneros y 15 familias, además de 4 morfotipos y la presencia de 7 estructuras de resistencia. *Ceratium gibberum*, se reporta por primera vez para las aguas de lastre en la región del Caribe colombiano.
- * Los organismos fitoplanctónicos encontrados en las aguas de lastre en su totalidad han sido reportados como parte de la flora planctónica de la Bahía de Cartagena, sin embargo cualquier organismo que alcance altas densidades y las condiciones del medio sean apropiadas, puede realizar floraciones algunas veces con consecuencias dañinas en el medio.
- * Los bajos valores de clorofila, evidencian la presencia de fitoplancton pero con una reducida actividad fotosintética dentro de los tanques de lastre, esto hace suponer que la acciones internas para evitar la proliferación de algas no es efectivo en un 100%, así es como estos buques puedan transportar especies exóticas con los consabidos daños ambientales.
- * La recomendación que realiza la OMI de intercambios en aguas abiertas no es aplicado por todos los buques, ya que se encontraron concentraciones altas de algunos nutrientes.

9 RECOMENDACIONES

- * Continuar con el estudio permanente de las agua de lastre en Colombia no solo a nivel Caribe sino ampliarlo a nivel de puertos en el Pacífico.
- * Emplear la misma metodología para buques y muelles, con el fin de poder hacer comparaciones cuantitativas de la información.
- * Establecer una metodología que abarque toda clase de buques, ya que al igual que los tanqueros, las demás embarcaciones también utilizan el agua como lastre, así no deslastren con mayor frecuencia en los puertos.
- * Lograr establecer cuanto antes un Decreto reglamentario que obligue a los buques en tránsito por los puertos colombianos, a cumplir con las directrices de la OMI.
- * Implementar soluciones para que la Bahía de Cartagena no siga convirtiéndose en un sistema eutroficado debido a la descarga continua de aguas residuales, desechos y esorrentías.
- * Ampliar el estudio de los componentes biológicos como el caso del bentos que se encuentran en el fondo de los tanques además de la comunidad bacteriana asociada, ya que también pueden ser vector de especies foráneas o de enfermedades.

