

**IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA EN ÁREAS
INTERIORES Y ADYACENTES DE TRES
ZONAS PORTUARIAS MAYORES DEL CARIBE COLOMBIANO**

MÉLANY SEPÚLVEDA VILLARRAGA

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

2013

**IDENTIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA EN ÁREAS
INTERIORES Y ADYACENTES DE TRES
ZONAS PORTUARIAS MAYORES DEL CARIBE COLOMBIANO**

MÉLANY SEPÚLVEDA VILLARRAGA

Trabajo de grado para optar al título de

Bióloga Marina

Director

MICHAEL AHRENS

Oceanógrafo Costero

Ph.D.

Codirector

LUIS ALFONSO VIDAL VELÁSQUEZ

M.Sc.

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**

SANTA MARTA, D. T. C. H

2013

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, quien me dio una familia perfecta, la cual es el motor de mi vida.

A mis padres que con consejos, regaños, paciencia y muchísimo amor me han apoyado durante toda la carrera y en todos los aspectos de mi vida.

Mis hermanas Natalia y Katheryne a quienes amo con el alma.

A mi director de tesis, a su gran paciencia a sus aportes y saberes y por permitirme hacer parte de este proyecto.

Agradezco a Luis Vidal quien me ayudó bastante con la identificación de las microalgas y con sus sabios consejos.

A profesores como Aminta, Luisa Villamil , Andrés Franco, Peter Lecompte, Gonzalo Fajardo, Elvira Alvarado y Liliana Salazar, quienes me enseñaron con su gran conocimiento, pasión y amor por lo que hacen, que no solo a nivel académico sino también en la vida las cosas se obtienen siendo buenos y rigurosos en lo que se hace.

Al equipo de Limnología: Germán Díaz, Marcela, Vladimir Betancourt, Jhon Dorado, quienes me ayudaron en algún punto de este proceso.

A Angélica Leguizamón, Luz Helena. A todos los que contribuyeron con sus aportes, recomendaciones y saberes para sacar adelante este proyecto.

Mil gracias.

RESUMEN

Con este estudio se produjo un inventario de la composición del fitoplancton, presentada en la cuarta época del año 2010 (mes de octubre) en tres zonas portuarias (Coveñas, Cartagena y Santa Marta) y tres zonas adyacentes (Cispatá, Barú y Rodadero) del Caribe Colombiano. En este se dio atención especial al documentar la presencia de especies introducidas, que residen actualmente en áreas interiores y adyacentes de los puertos, con el fin de relacionar el grado de invasión con el nivel del tráfico de embarcaciones y obtener información de línea base para el monitoreo y manejo de las especies invasoras. Esto se logró mediante una recolección en 17 puntos de muestreo mediante redes de fitoplancton de 23 μm de poro de malla, por medio de arrastres superficiales (6 sitios en Cartagena, 6 en Coveñas y 5 en Santa Marta). Las células encontradas fueron identificadas al nivel de especie, y se estableció si eran endémicas o no nativas. A partir de esto se registró un total de 60 especies fitoplanctónicas en los sitios de muestreo. Estas se distribuyeron en los siguientes grupos: Diatomeas Céntricas (31), Diatomeas Pennadas (13), Dinoflagelados (12), Clorófitas (1), Cianófitas (1), Euglenófitas (1) y Silicoflagelados (1). Se notó que las especies más abundantes, tanto en puertos como en zonas adyacentes, fueron *Skeletonema costatum* y distintas especies de los géneros *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, y *Ceratium*, quienes presentaron una marcada abundancia durante todo el muestreo. Al analizar estadísticamente los resultados con la prueba no paramétrica Mann-Whitney no hubo diferencias significativas entre las riquezas al comparar zonas adyacentes con portuarias, al igual que entre todos los puertos. Se identificaron ocho especies no nativas, las más abundantes fueron *Bacteriastrum hyalinum*, *Ceratium furca*, *Ceratium hirundinella* y *Ditylum brightwellii*, las cuales se presentaron no solamente en zonas portuarias sino también en las zonas adyacentes. Esto pudo ser un indicio del impacto extenso que generan las aguas de lastre dentro de las zonas portuarias que se propaga rápidamente a zonas en el alrededor. De la misma manera, se evidenció que muchas de las especies encontradas en este estudio son pertenecientes a registros de especies tóxicas y nocivas, sin embargo, estas ya son comunes dentro de las regiones muestreadas.

Palabras claves: Fitoplancton, zonas portuarias, especies no- nativas, aguas de lastre.

ABSTRACT

This work studied the species composition of the phytoplankton community in three major ports of the Colombian Caribbean (Coveñas, Cartagena and Santa Marta) and three adjacent areas (Cispatá, Baru and Rodadero) during the fourth quarter of 2010 (October). Special attention was given to document the presence of non-native species that currently reside in ports and adjacent areas, in order to relate the degree of invasion to the degree of shipping activity and to collect baseline information for monitoring and management of invasive species. For this purpose, phytoplankton samples were collected by surface tows (23 μm mesh size) from 17 replicate sampling points (6 from Cartagena, 6 from Coveñas and 5 from Santa Marta). Species were identified to the lowest taxonomic level possible and they were classified as being either native or non-native. In total, 60 phytoplankton species were identified. These were divided into the following groups: Centric diatoms (31), pennate diatoms (13), dinoflagellates (12), Chlorophyta (1), Cyanophyta (1), Euglenophyta (1) and silicoflagellates (1). It was noted that the most abundant species in both ports and adjacent areas were *Skeletonema costatum* and several species of the genera *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, and *Ceratium*, which occurred abundantly throughout the study region. No significant differences were found with respect to species richness between ports and their adjacent zones, nor between the three general areas, using the nonparametric Mann Whitney test. Notwithstanding, eight non-native species were identified; the most abundant ones being *Bacteriastrum hyalinum*, *Ceratium furca*, *Ceratium hirundinella* and *Ditylum brightwellii*. However, these species were found to be present not only in port areas but also in adjacent areas. This could be an indication of a wider effect generated by ballast water discharged in port areas which rapidly spreads to adjacent areas. Furthermore, it is noteworthy that many of the species found in this study corresponded to toxic and harmful species.

Key words: Phytoplankton, Port areas, non-native species, ballast water.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	5
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	9
3.2 OBJETIVOS	9
3.2.1 Objetivo general	9
3.2.2 Objetivos específicos	9
4. HIPÓTESIS	10
5. METODOLOGÍA	11
5.1 FASE PRELIMINAR	11
5.1.1 Área de estudio	11
5.1.1.1 Bahía de Cartagena	11
5.1.1.2 Coveñas (Golfo de Morrosquillo) y Bahía de Cispatá	13
5.1.1.3 Bahía de Santa Marta	14
5.2 DISEÑO MUESTREAL	17
5.2.1 Fase de campo	17
5.2.2 Fase de laboratorio	18
5.2.3 Fase de gabinete	18
6. RESULTADOS	20
6.1 Zona Portuaria de Cartagena y Zonas Adyacentes (Barú)	29

6.2 Zona Portuaria y Zona Adyacente de Coveñas	30
6.3 Zona Portuaria de Santa Marta y Zona Adyacente (El Rodadero)	31
7. DISCUSIÓN	33
7.1 Zona Portuaria y Zonas Adyacentes de la Bahía de Cartagena	33
7.2 Zona Portuaria y Adyacente de Coveñas	35
7.3 Zona Portuaria y Adyacente de la Bahía de Santa Marta	36
8. CONCLUSIONES	38
9. RECOMENDACIONES	40
10. BIBLIOGRAFÍA	41
11. ANEXOS	46

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Posición geográfica de las estaciones de muestreo en tres puertos principales del Caribe colombiano, segunda época del año 10 de Octubre de 2010. CTG (Cartagena), COV (Coveñas) y SMA (Santa Marta). ZA (Zonas Adyacentes) y ZP (Zonas Portuarias).

Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia (presencia en muestras/total de muestras analizadas), abundancia mínima (%), abundancia máxima (%) y promedio de abundancia (%) de las especies de fitoplancton registradas en los sitios de muestreo de Cartagena, Coveñas y Santa Marta en la segunda época del año, octubre de 2010.

Tabla 3. Índices de diversidad para fitoplancton presente en las tres zonas muestreadas: Cartagena, Coveñas y Santa Marta. S (Riqueza de especies), d (Diversidad de Margalef), J' (Uniformidad de Pielou), H' (Diversidad de Shannon-Wiener), λ (Predominio de Simpson)

Tabla 4. Comparación de riqueza con prueba de Mann Whitney de especies entre zonas portuarias y zonas adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta en la segunda época del año, octubre de 2010. Suma de rangos de riqueza para Zonas Portuarias (ZP U1), Suma de rangos de riqueza para Zonas Adyacentes (ZA U2), N (número de estaciones comparadas), U1 valor estadístico de la prueba Mann Whitney, P (probabilidad con cual se rechaza la hipótesis nula que hay diferencia en riqueza entre la zona portuaria y zona adyacente).

Tabla 5. Especies no-nativas registradas en zonas portuarias y adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta. X (Presente), O (Ausente). Zonas portuarias indicados en color rojo, zonas de referencia indicados en color azul.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Bahía de Cartagena, con sitios de muestreo (zonas portuarias y zonas adyacentes), época de lluvia, Octubre 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

Figura 2. Coveñas y Bahía de Cispatá, con sitios de muestreo (Zonas Portuarias y Zonas Adyacentes), época de lluvia, Octubre 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

Figura 3. Bahía de Santa Marta, con sitios de muestreo (Zonas Portuarias y Zonas Adyacentes), época de lluvia, Octubre 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

Figura 4. Abundancias relativas (%) de diferentes grupos fitoplanctónicos encontrados en tres Puertos y sus Zonas Adyacentes del Caribe colombiano, en la segunda época del año (Octubre) de 2010.

Figura 5. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis de la composición de la comunidad fitoplanctónica presente en las zonas de muestreo, tanto de zona portuarias (CTG: Cartagena como en zonas adyacentes (Cartagena, Coveñas y Santa Marta). Se muestra la conformación de tres grupos A, B y C.

Figura 6. Ordenamiento no métrico NDMS de las estaciones de muestreo de acuerdo con su similaridad de Bray Curtis, tanto en puertos como en zonas adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta. Se muestran los grupos formados.

Figura 7. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis de la composición de la comunidad fitoplanctónica no-nativa presentada en las zonas de muestreo, tanto de puertos como en zonas adyacentes (Cartagena, Coveñas y Santa Marta). Se muestra la conformación de cinco grupos A, B, C, D y E.

Figura 8. Abundancias relativas de las especies fitoplanctónicas registradas en el área de Cartagena (zona portuaria y zona adyacente) durante la época de lluvia, Octubre de 2010. Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 2% .

Figura 9. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas identificadas en Coveñas, tanto en la zona portuaria como en la zonas adyacente, durante la época de lluvia, Octubre de 2010. Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 2%.

Figura 10. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas identificadas en el área de Santa Marta, tanto en las zonas portuarias como en la zonas adyacente (Rodadero), durante la época de lluvia (Octubre de 2010). Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 1%.

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas encontradas en los muestreos de Cartagena, tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época del año Octubre del 2010.

ANEXO B. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas encontradas en los muestreos de Coveñas, tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época del año Octubre del 2010.

ANEXO C. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas encontradas en los muestreos de Santa Marta, tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época del año Octubre del 2010.

ANEXO D. Taxonomía de especies

ANEXO E. Abundancias relativas (%) de diferentes grupos fitoplanctónicos encontrados en cada una de las áreas muestreadas del Caribe colombiano, en la segunda época del año (Octubre) de 2010.

ANEXO F. Fotos especies más abundantes, dentro de este estudio: DIATOMEAS CÉNTRICAS, DIATOMEAS PENNADAS, DINOFLAGELADOS, CLOROFITAS, CIANOFITAS, EUGLENOFITAS

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

El fitoplancton marino está catalogado como una comunidad formada por distintos grupos de microalgas, generalmente pelágicas, las cuales cumplen funciones fotosintéticas siendo así productor primario del medio marino, convirtiéndose en el sustento principal de niveles tróficos superiores (Ramírez *et al.*, 2006). Este también es un grupo que es afectado por variables meteorológicas y oceanográficas. Por lo tanto, el régimen estacional de la región del Caribe influye en gran parte sobre la abundancia fitoplanctónica, ya que al presentarse un flujo de nutrientes y materia orgánica ligado al evento de surgencia (primera época del año) y al aporte de aguas continentales (segunda época del año) esta puede mantenerse o aumentar (Vargas- Castellanos, 2008).

La composición de fitoplancton en aguas costeras no solamente es resultado de factores naturales como “bottom-up” en los que distintos parámetros como la luz, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, tanto orgánicos como inorgánicos, intervienen marcadamente sobre la abundancia fitoplanctónica (Franco-Herrera, 2005; García-Hoyos, 2008). Así mismo, efectos “top-down” incrementarán o reducirán la biomasa fitoplanctónica, ya que la relación trófica entre fitoplancton y zooplancton cambiará, debido a sistemas eutroficados donde predomina el fitoplancton u oligotróficos en los que prevalece la biomasa zooplanctónica (Conde-Porcuna *et al.*, 2004). Adicionalmente, la introducción de especies no-nativas por las actividades portuarias donde se genera una transferencia al medio también puede cambiar la composición de las comunidades locales produciendo nuevos reportes que perjudican al ecosistema, por ejemplo, pueden afectar las industrias pesqueras y acuícolas del país, producir enfermedades, entre otros (Cañón, 2009a).

Las especies no-nativas son organismos introducidos o exóticos que han llegado a distintas áreas de manera accidental o han sido transportadas a diferentes sitios, debido a diversas actividades antrópicas. De igual forma, son catalogadas como una amenaza para los ecosistemas marinos, la biodiversidad biológica, la salud humana y el hábitat de las pesquerías. Dentro de las consecuencias más observadas están la disminución del número de especies nativas mediante la depredación o la exclusión competitiva afectando los campos económico, político y social del país donde se esté presentando algún tipo de bioinvasión (Cañón, 2009a).

La introducción de especies fitoplanctónicas no-nativas a nuevos medios puede resultar en impactos adversos, debido a que al incrementar su abundancia pueden desplazar a especies nativas o formar floraciones algales nocivas o tóxicas que afectan a los organismos del medio. Las floraciones algales nocivas, FAN, son capaces de producir efectos que pueden llegar a ser perjudiciales para el

hombre. Pueden generar efectos sobre la salud pública y causar estragos a nivel económico y ecológico, dentro de los cuales se ve afectada la industria pesquera, el turismo (formación de nata o espuma que se hace desagradable para el bañista), mortandades masivas, debido a la ingestión de fitoplancton tóxico que puede ser letal o subletal para organismos zooplanctónicos, moluscos y peces, entre otros (Freer y Vargas-Montero, 2003). Un claro ejemplo de organismos que forman floraciones algales tóxicas son algunos géneros de dinoflagelados como *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Gambierdiscus* y *Prorocentrum*, los cuales son capaces de resistir condiciones ambientales adversas, desencadenando una serie de eventos nocivos para el ecosistema (Nielsen, 1975).

La problemática evidenciada sobre la introducción de especies marinas no-nativas en los ambientes marinos costeros colombianos ha sido un factor que ha causado gran interés. De esta forma, se han realizado diversos estudios que han generado inventarios de especies, tanto introducidas como endémicas de las zonas en las que se efectuaron muestreos. Por lo tanto, dentro de los trabajos realizados de fitoplancton encontrados en el área de Santa Marta se han registrado especies nocivas y tóxicas que muy probablemente han sido introducidas por medio de aguas de lastre. Según Rangel y Vidal (2008), se reportaron especies nocivas como *Leptocylindrus* cf. *minimus*, *Chaetoceros concavicornis*, *Chaetoceros debilis*, *Odontella aurita*. Igualmente, encontraron especies tóxicas dentro de las que se están *Prorocentrum* cf. *balticum*.

En diferentes países se han generado estrategias de control y monitoreo, con los que se pretende prevenir los efectos negativos para el hombre, confinando los referentes a la salud, economía y otros campos. De esta forma, realizan planes de vigilancia y monitoreo de plancton y variables oceanográficas. Así mismo, se generan planes de desarrollo que buscan incrementar la investigación científica y la educación en el ámbito institucional, con el fin de prevenir y amortiguar las consecuencias generadas por las floraciones algales. Por lo tanto, se han identificado diferentes fuentes naturales y actividades antrópicas que dan origen a esta problemática. Así mismo, se instalaron estaciones de vigilancia y se incrementaron las medidas de contingencias (Avaria *et al.*, 1999; Freer y Vargas-Montero, 2003).

El tráfico marítimo ha sido una actividad económica muy importante, debido a que transporta cerca de un 80% de materias primas a nivel mundial (Raaymakers, 2002). Sin embargo, para que esta operación se pueda realizar es necesario llenar de agua unos tanques internos de buques y embarcaciones grandes (lastrear), en el lugar de partida. El agua usada para esto se denomina agua de lastre que como su nombre lo indica genera un peso que provee estabilidad, balance,

maniobrabilidad, eficacia de propulsión y seguridad al momento en que la embarcación no tiene carga, para evitar que el centro de gravedad se posicione por encima de la línea de flotación y hacer que se ladee. Luego esta agua es expulsada con el fin de cargar los productos que serán transportados. Este proceso ha sido catalogado como uno de los orígenes de la introducción de especies no-nativas que se transportan dentro de los tanques de lastre y pueden ser liberadas al medio, provocando una dispersión artificial dentro de puertos y zonas adyacentes ocasionando graves daños al ecosistema (Ballast Water Convention, 2004; Cañón, 2009b; Frías, 2009).

Con base en lo anterior, varios estudios han estimado que diariamente se puede transportar por medio de aguas de lastre alrededor 5.000-10.000 especies a través los océanos del mundo (Cañón, 2009a). De la misma manera, muchas de estas especies logran sobrevivir al confinamiento que toleran dentro de los tanques de lastre. Esto representa un vector de traslado de especies exóticas de un lugar a otro, dando como resultado la introducción involuntaria de estas (Ballast Water Convention, 2004). De igual forma, esto genera una repercusión potencial a nivel ecológico dentro del ecosistema que mostrará un efecto no solo en el ambiente sino también económico y social (Cañón, 2009a).

La introducción de organismos acuáticos perjudiciales por medio del agua de lastre ha captado la atención del mundo. Por lo tanto, la gestión y control de esta agua fue tomada como un tema de alta importancia por la Organización Marítima Internacional, OMI, (Frías, 2009). Con luz al daño potencial por especies no-nativas introducidas por el agua de lastre, la OMI generó la resolución A.774(18), en la cual se reconoce que las descargas no controladas de este tipo de aguas y sedimentos desde los buques generan transferencias no deseables de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos.

En Colombia, la Dirección General Marítima, DIMAR, fue la primera institución que se encargó de avanzar en el estudio de las especies invasoras transportadas por aguas de lastre en Colombia. Junto con el Centro de Investigaciones Oceanográficas y Costeras, CIOH, en el 2002 inició un monitoreo en este tipo de aguas dentro de los buques y puertos en Cartagena, con el fin de establecer si la mayoría de introducciones de especies marinas ocurre por medio de buques (Tigreros, 2002; Tigreros, 2003). Se observó una correlación entre el número de especies invasoras y la actividad portuaria (número de embarcaciones y volumen de aguas de lastre). Se consideró que en lugares con más embarcaciones aumenta el número de especies no-nativas y disminuye la proporción de especies nativas (Cañón *et al.*, 2005).

Aunque se han realizado levantamientos de la composición fitoplanctónica nativa y no-nativa en puertos de Cartagena en los años 2002 a 2005, no se han efectuado estudios recientes ni análisis comparativos entre puertos y con sus bahías adyacentes para cuantificar el grado de bioinvasión. Por tal razón, este estudio evaluó la gravedad de la situación actual de especies marinas no-nativas en tres puertos del Caribe colombiano. Este trabajo fue enfocado en la compilación de un inventario de especies de la comunidad fitoplanctónica nativa y no-nativa presente en áreas interiores y adyacentes de tres puertos: Coveñas, Cartagena y Santa Marta de la zona del Caribe Colombiano. Por lo tanto, se extendieron estudios anteriores, realizados en los puertos de Cartagena y Santa Marta hace varios años, en los cuales se determinó la composición fitoplanctónica en tanques de lastre, puertos y zonas adyacentes de distintos lugares (Tigreros, 2002; Tigreros, 2003; Suárez *et al.*, 2007; Rangel y Vidal, 2008). Se esperó encontrar una diferencia en la composición fitoplanctónica entre puertos y zonas adyacentes y una mayor proporción de especies no-nativas en zonas portuarias.

Este trabajo se desarrolló como requisito para optar al título de Bióloga Marina de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, UJTL, y se enmarcó dentro del proyecto **Evaluación de bioinvasiones marinas en humedales costeros y su relación con el tráfico marítimo en 3 zonas portuarias mayores del Caribe Colombiano: Cartagena, Santa Marta y Coveñas**, ejecutado en el laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En diversos estudios se ha demostrado el efecto causado por la descarga de aguas de lastre respecto al cambio de la composición de la comunidad fitoplanctónica (Suárez *et al.*, 2007). Por tal razón, se han generado propuestas de control y evaluación para determinar si estas son un vector que incide directamente sobre la introducción de especies no-nativas.

Con base en lo anterior y como ejemplo de trabajos realizados sobre el tema de aguas de lastre, se ha llevado a cabo una serie de estudios por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH, desde el año 2002, en los que se ha analizado la problemática de aguas de lastre y la introducción de especies no-nativas (CIOH-CARDIQUE, 1997; CIOH-UNOPS, 1997; Rendón *et al.*, 2003; Suárez *et al.*, 2007; Cañón, 2009).

De igual forma, se ha observado la composición fitoplanctónica, zooplanctónica y la comunidad bacteriana de las aguas de lastre de los buques, los muelles y zonas adyacentes (Raaymakers, 2002; Suárez *et al.*, 2007; Rangel y Vidal, 2008). En tal sentido, se establecieron tres etapas de investigación en las que se han reportado distintas especies, tanto nativas como no-nativas. En la etapa uno se realizaron monitoreos en 12 buques y 5 muelles durante la segunda época del año: se registraron 86 especies fitoplanctónicas (*Climacodium frauenfeldii*, *Bacteriastrium hyalinum*, entre otras) y 39 zooplanctónicas en Tigreros (2002).

Gavilán *et al.* (2005) describieron la comunidad fitoplanctónica de cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y cuatro buques de tráfico internacional. En los muelles se registraron 116 especies fitoplanctónicas, de las cuales 23 fueron reportadas para los buques y 72 especies en promedio encontradas en las aguas portuarias durante la segunda época del año. Como primer registro para esta bahía se observaron: *Chroococcus* sp., *Melosira granulata*, *Nostoc* sp., *Eutonia* sp., *Phacus* sp., *Trachelomona* sp., *Pediastrum simplex*, *Pediastrum tetras*, *Scenedesmus bicaudatus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum* af. *setigerum*, *Ankistrodesmus spiralis*, *Sphaerocystis* sp., *Tetraspora* sp. y *Dictyosphaerium* sp. La mayoría de estas especies fueron encontradas en la época de lluvia en donde fue evidente el aporte de aguas continentales, dentro de las especies pertenecientes a aguas dulces están: *P. simplex*, *S. bicaudatus*, y *A. spiralis*. De igual forma, fue notable la presencia de *Skeletonema costatum*, al cual se le atribuye la causa de distintas enfermedades, tales como intoxicación diarreica por mariscos o por ácido domóico, así mismo, impacto sobre el ecosistema marino causando hipoxia y anoxia.

Cañón *et al.* (2005) realizaron un estudio de la Bahía de Cartagena con el fin de determinar la composición y diversidad fitoplanctónica, entre otras variables. Adicionalmente, se tomaron muestras dentro de los tanques de buques y en el medio, con el objetivo de establecer si a través de la diversidad planctónica, microbiológica y características fisicoquímicas presentes, tanto en el medio como en los tanques de los buques, había relación entre ellas. Así mismo, el monitoreo determinó la presencia de 116 especies fitoplanctónicas en la bahía, 23 reportadas dentro de los buques, la mayoría de los individuos fueron diatomeas (66) y dinoflagelados (19), seguido por 13 cianofitas, 12 clorofitas, 2 silicoflagelados y 4 euglenofitas. De igual forma, se encontraron las bacterias *Aeromonas hydrophila*, *Serratia* sp., *Pantoea* sp., *Providencia rettgeri*, *Yersinia* sp., *Enterobacter* sp., *Pasteurella* sp., *Proteus mirabilis* y *P. vulgaris*, *Citrobacter* sp., *Vibrio parahaemolyticus*, y *V. alginolyticus*.

Rangel y Vidal (2008) realizaron muestreos en 33 buques durante enero y septiembre de 2006, con el fin de conocer las especies de fitoplancton nocivo y tóxico presentes en las aguas de lastre de los buques que arriban al puerto de Santa Marta. En total se registraron 26 especies, de las cuales 23 son nocivas y 3 son tóxicas. Así mismo, se reportaron 20 diatomeas, 5 dinoflagelados y un silicoflagelado. Se estableció que gran parte de las especies encontradas fueron provenientes de América, Europa y otras regiones. Dentro de las especies nocivas se encontró *Skeletonema costatum*, *Leptocylindricus danicus*, *Coscinodiscus* cf. *granii*, *Proboscia alata* cf. *gracilima*, *Guinardia flaccida*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Chaetoceros affinis*, *C. lorenzianus*, *C. borealis*, *Cylindrotheca closterium*, *Ceratium furca*, *C. fusus*, *Gonyaulax polygramma* y *Dictyocha* sp., entre otras. Las especies tóxicas encontradas fueron: *Pseudonitzschia* cf. *delicatissima*, *Prorocentrum micans* y *P.* cf. *balticum*. De la misma manera, en un mapa se identificaron diferentes lugares de donde provienen las especies. Del Atlántico norte en zonas cercanas a Estados Unidos, se destacan el Golfo de México, Mar del Labrador y Mar de los Sargazos, y de Europa; el Mar Mediterráneo, Mar Adriático, Mar Báltico y Mar del Norte, entre otros. Se describieron 19 especies que fueron introducidas. Dentro de estas se encontraron: *Pseudosolenia calcar-avis*, *Odontella sinensi*, *Odontella aurita*, *Chaetoceros concavicornis*, *C. debilis*, entre otras. Por lo tanto, se estableció que las aguas de lastre son un factor que está introduciendo especies que afectan, tanto al ecosistema como el campo económico y social del país.

En Suárez (2007), en un muestreo realizado en 18 buques que arribaron a distintos puertos de la Bahía de Cartagena durante el 2005, se identificaron varios parámetros físicos y químicos al igual que la comunidad fitoplanctónica, a partir de esto se encontraron 125 especies, las cuales ya tenían

registro para el área y el Caribe colombiano. Estas pertenecían a los grupos de las Diatomeas (88), Silicoflagelados (1), Dinoflagelados (25), Cianófitas (3), Clorófitas (8), 4 morfotipos no identificadas más y 9 estructuras de resistencias. Dentro de este estudio *Skeletonema costatum* fue la especie más abundante durante las tres épocas del año.

Dentro de la problemática evidenciada, se observa la tarea que han realizado otros países afectados por la introducción de especies no-nativas, debido a la descargas de aguas de lastre. Por tal razón, en Burkholder *et al.* (2007) se caracterizaron, tanto condiciones físicas y químicas como las asociaciones algales de aguas de lastre de nueve puertos en 62 tanques de 28 buques que transportan carga y son de manejo militar en Estados Unidos. Como resultado, las asociaciones de algas y bacterias en el agua de lastre de los 62 tanques estuvieron ligadas al cambio de estas aguas. A partir de esto, se determinó que la composición fitoplanctónica fue muy variable en los 62 tanques, 23 taxa eran nocivos. Dentro de las más abundantes estuvieron: *Chaetoceros concavicornis*, *Dinophysis acuminata*, *Gambierdiscus toxicus*, *Heterosigma akashiwo*, *Karlodinium veneficum*, *Prorocentrum mínimum* y *Pseudo-nitzschia multiseriis*. De la misma manera, fue evidente una predominancia por diatomeas y dinoflagelados. Otro factor que se tomó en cuenta para determinar la abundancia y diversidad fitoplanctónica fue el lugar de procedencia en el que se indicó que los buques que traían aguas del Atlántico o del Pacífico presentaban mayor abundancia que aquellos que tenían agua del Océano Índico. Del mismo modo, aquellos tanques que no habían lastreado hacía mucho tiempo presentaban mayor abundancia.

En México, Bravo-Sierra (2004) tomó una serie de muestras en distintas regiones del Pacífico mexicano, dentro de las que se presentan: La Ensenada de Punta Eugenia, Bahía Magdalena, La Paz, Mazatlán, Lázaro Cárdenas, Ixtapa, Zihuatanejo, Acapulco, Puerto Ángel, Huatulco, Salina Cruz y Puerto Madero. Este estudio se realizó durante varias épocas del año, y se registraron ocho taxones de fitoflagelados de especies tóxicas y nocivas dentro de los que se presentaron las clases Euglenophyceae (*Eutreptiella gymnastica* Thronsen) y Raphidophyceae (*Heterosigma akashiwo* (Hada) Hada ex Sournia). Además, se mencionaron otras ocho especies del phylum Heterokontophyta que pueden ser potencialmente nocivas, todas productoras de proliferaciones algales tóxicas que pueden afectar la vida marina, principalmente *Chattonella*, Biecheler (introducida) y *C. ovata*, así mismo, silicoflagelados como *Dictyocha californica*, *D. fibula*, *D. speculum* y *D. octonaria*. Dentro de las especies de cocolitofóridos se incorporaron 15 nuevos registros para la zona norte del Pacífico mexicano. De igual forma, se observaron en las costas mexicanas *Chrysochromulina polylepis* (Manton y Parke), *C. leadbeateri* (Estep Davis, Hargraves y

Sieburth). Se ha atribuido a estas especies una alta toxicidad, la cual ha causado mortandad en peces.

El Puerto de Río Grande, localizado en Brasil, presenta 40 sitios que se ven afectados por las descargas de aguas de lastre Mallmann y Asmus (2006). Tanto así que ya son más comunes especies como la microalgas *Alexandrium tamarense* y *Gymnodinium catenatum*, bivalvos de origen asiático, como *Limnoperna fortunei* y *Corbicula fluminea*, y crustáceos como *Metapenaeus monocerus* y *Rhithropanopeus harrisi*, entre otros organismos exóticos que se están presentando también en Colombia y que pueden provocar una serie de impactos ecológicos, económicos y sanitarios.

Con relación a la cantidad de especies no-nativas introducidas a países suramericanos, se ha establecido que hasta 1999 se habían introducido a Colombia, Chile, Perú y Ecuador 955 especies marinas, continentales y terrestres (Álvarez-León y Gutiérrez-Bonilla, 2007). Así mismo, López y Krauss (2006) reportaron 10 especies fitoplanctónicas para Colombia, las cuales la mayoría pertenece al grupo de las diatomeas, entre otras, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros messanensis*, *Chaetoceros glandazzi*, *C. tortissimus*, *Odontella aurita*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Ditylum brightwellii*, *Paralia sulcata* y *Pseudoeunotia doliolus*. Además, se reportó un silicoflagelado (*Dictyocha polyetis*).

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta que no hay suficiente información actualizada sobre la composición y el número de especies marinas no-nativas en puertos colombianos, se pretende determinar la composición de la comunidad fitoplanctónica nativa y no-nativa presente en áreas interiores y adyacentes de los tres puertos de Coveñas, Cartagena y Santa Marta de la zona del Caribe colombiano; así como evaluar la influencia del tráfico marítimo que puede llegar a modificar la composición y biodiversidad costera.

Con base en lo anterior, se evidencia que hace falta una comparación en cuanto a la composición fitoplanctónica entre diferentes puertos colombianos y sus zonas adyacentes, con el fin de determinar si la actividad portuaria actúa sobre la composición de especies nativas o no-nativas.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo general

Se produjo un inventario actual de la composición del fitoplancton en la época de lluvia, diferenciando entre especies nativas y especies introducidas que residen actualmente en las áreas interiores y adyacentes de los puertos de Coveñas, Cartagena y Santa Marta (y bahías adyacentes) de la zona del Caribe colombiano, para relacionar el grado de invasión con la actividad y tráfico de embarcaciones y obtener información de línea base para el monitoreo y manejo de las especies marinas no-nativas.

3.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición fitoplanctónica nativa de tres puertos (Cartagena, Santa Marta y Coveñas) y tres bahías adyacentes (con baja actividad portuaria).
- Comparar la composición de la comunidad fitoplanctónica de cada puerto con una zona adyacente que presenta menor actividad portuaria.
- Comparar la composición de la comunidad fitoplanctónica entre cada puerto.

4. HIPÓTESIS

- Se espera encontrar diferencias en la composición fitoplanctónica entre los tres puertos.
- Se espera encontrar diferencias en la composición fitoplanctónica entre puertos y zonas adyacentes.
- Se considera que se presentará mayor riqueza o proporción de especies fitoplanctónicas no-nativas en zonas con mayor tráfico marítimo.

5. METODOLOGÍA

5.1 FASE PRELIMINAR

5.1.1 Área de estudio

Este estudio se realizó durante Octubre de 2010, que correspondió a la época de lluvia. Se llevó a cabo en tres departamentos del Caribe colombiano en los cuales hay zonas portuarias, con el fin de realizar una comparación entre zonas portuarias y bahías adyacentes con menor tráfico marítimo: Magdalena (Santa Marta y El Rodadero), Bolívar (Cartagena de Indias y Bahía Barbacoas) y Sucre (Coveñas y Bahía de Cispatá).

Con respecto a los parámetros meteorológicos presentes en las distintas zonas donde se realizó este estudio, es importante resaltar que el clima está influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical, ZCIT.

5.1.1.1 Bahía de Cartagena

Está localizada en la parte central del Caribe colombiano, entre los 10° 26' y 10° 16' N, y los 75° 30' y 75° 36' W (Figura 1). Está catalogada a nivel oceanográfico como bahía, no obstante al recibir aportes fluviales originarios del Canal del Dique, se le ha denominado como un estuario (Suárez, 2007) al recibir constantemente un aporte de aguas dulceacuícolas procedentes de este Canal (540 m³/s, aproximadamente). De igual forma, la entrada de aguas continentales es generada en el sector sur dirigiéndose hacia el norte. En Bocachica y Bocagrande se presenta una entrada de renovación de aguas oceánicas (Osorio-Cardoso, 2010).

La Bahía de Cartagena presenta una superficie aproximada de 82 Km² y una profundidad media de 16,0 m y máxima de 30,5 m con un volumen promedio de 1,23 Km³ (Osorio-Cardoso, 2010). En cuanto a la salinidad se encuentra un rango que va desde 20 a 35 UPS en época seca y 10 - 17 UPS en época de lluvia. Respecto a la temperatura, esta oscila entre 28-32 °C en época seca, y entre 29 - 33°C en época de lluvia (Prato, 2009). Con relación al régimen estacional la Bahía de Cartagena presenta una similaridad con otras zonas relacionadas con el Caribe, en donde se rige por el desplazamiento de la ZCIT (García-Hoyos, 2008).

Cartagena posee uno de los puertos marítimos y fluviales de mayor importancia en el Caribe colombiano. Está constituido por 60 muelles en los cuales se desarrollan distintas actividades, y se movilizan en promedio 500 buques por mes. Esta actividad ha generado un impacto sobre el

ecosistema, debido a que la descarga de aguas se lastre introduce especies foráneas, de igual modo, la urbanización e industrialización de la bahía contribuye a que se presente un sistema eutrófico propiciando las condiciones para que aumente la biomasa fitoplanctónica (CIOH-CARDIQUE, 1997; CIOH-UNOPS, 1997).

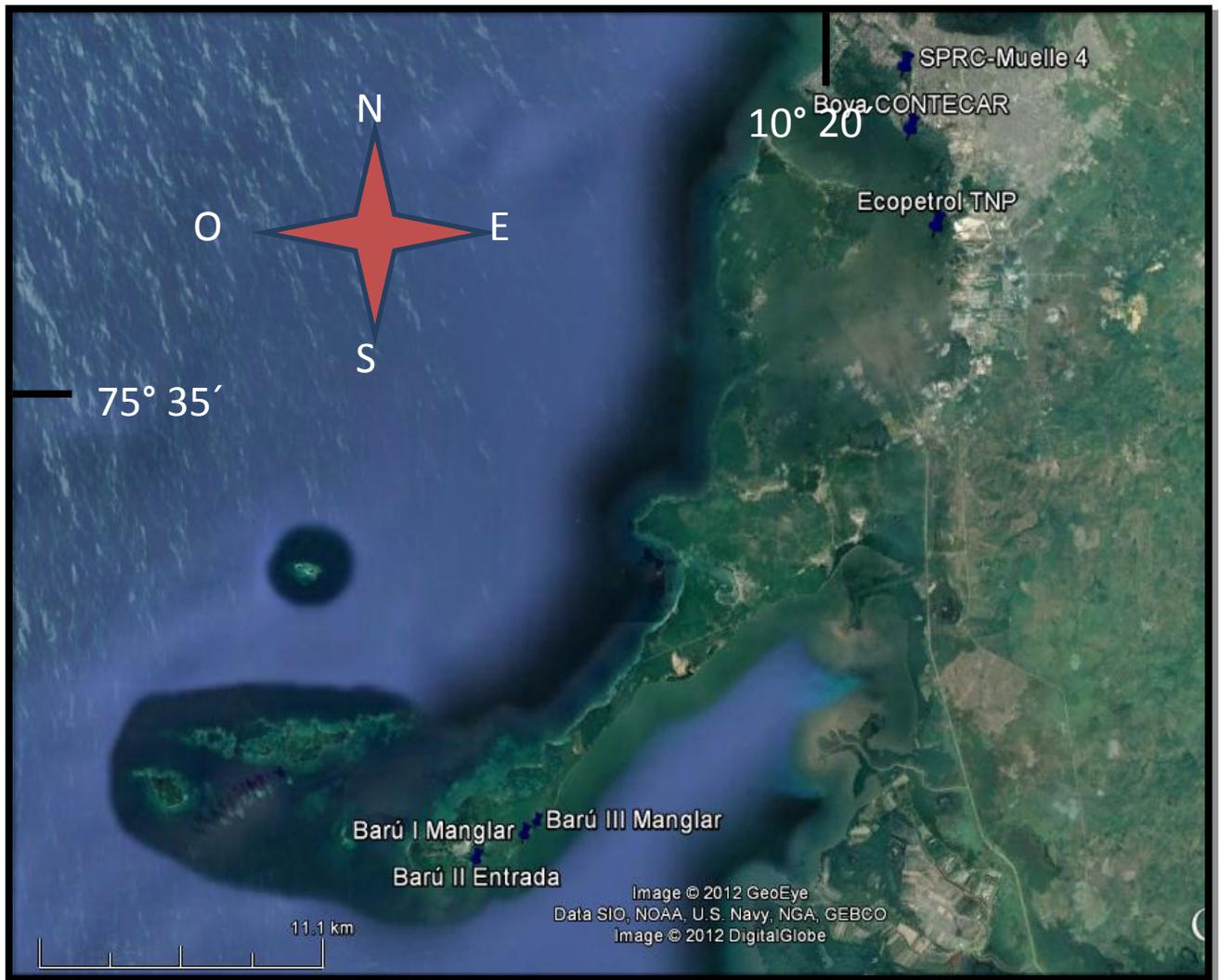


Figura 1. Bahía de Cartagena, con sitios de muestreo (zonas portuarias y zonas adyacentes), época de lluvia, Octubre de 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

5.1.1.2 Coveñas (Golfo de Morrosquillo) y Bahía de Cispatá

El Golfo de Morrosquillo se encuentra ubicado entre las latitudes $9^{\circ} 22' 00''$ N y $9^{\circ} 45' 00''$ N y las longitudes $75^{\circ} 33' 00''$ W y $75^{\circ} 55' 00''$ W (Figura 2). Hace parte de los departamentos de Córdoba y Sucre. Tiene aproximadamente 17 km de ancho de sur a norte, y está constituido por aguas abiertas, línea costera, islas, arrecifes coralinos y las ciénagas y canales asociados con estuarios. Presenta una extensión geográfica llamada Bahía de Cispatá que constituía el antiguo delta del río Sinú. Se localiza en el extremo suroeste y está conformada por bosques de manglar, lagunas que generan aportes continentales (Delgadillo, 2003; Zambrano, 2008).

Respecto a los parámetros físico-químicos, la Bahía de Cispatá está influenciada por el régimen estacionario característico del Caribe colombiano, presenta una temperatura promedio de 27°C , aproximadamente, con variaciones dependiendo de la época del año, así mismo, la precipitación media anual es de 1.000 mm (Cabrera, 2012).

En cuanto a la actividad portuaria en la zona existe el terminal del ducto de hidrocarburos Caño Limón - Coveñas con una longitud aproximada de 780 km. En este sitio se realiza el embarque de crudo en buques de alto calado (Patiño y Flórez, 1993), que acceden al petróleo y de nafta por medio de tres monoboyas. Para la boya TLU 1 (Ecopetrol) los buques logran desplazar alrededor de 145.000 toneladas con un calado de 17 m y reciben hidrocarburos a una rata de 10.000 y 40.000 barriles por hora (BPH) en cuanto a su profundidad en promedio está a 25 m. En la boya TLU 3 (Ecopetrol) los buques pueden desplazar 180.000 toneladas con un calado de 17 m y reciben hidrocarburos desde las estaciones en tierra a una rata entre 8.000 y 20.000 barriles por hora. La profundidad promedio en el lugar de esta monoboya es de 35 m. (Ecopetrol, 2012).



Figura 2. Coveñas y Bahía de Cispatá, con sitios de muestreo (Zonas Portuarias y Zonas Adyacentes), época de lluvia, Octubre de 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

5.1.1.3 Bahía de Santa Marta

Está localizada en la zona centro del Caribe colombiano entre $8^{\circ} 58'$ y $11^{\circ} 21' N$ y los $73^{\circ} 33' O$, desde la desembocadura del Río Piedras hasta el límite del Río Magdalena (Torres-Sierra, 2007) (Figura 3). La zona de Santa Marta en distintos puntos está constituida por dos tipos de formaciones, coralinas aisladas y delimitadas por sedimentos arenosos y limosos. Así mismo, está conformada por rocas metamórficas integrando el litoral rocoso poco escarpado que se ubica en zonas someras poco expuestas al oleaje, lo cual permite que se presente una alta diversidad. Presenta una profundidad media y máxima de alrededor de 20 y 60 m (Franco-Herrera, 2005; Ramos-Ortega *et al.*, 2008; Cortés-Useche, 2009).



Figura 3. Bahía de Santa Marta, con sitios de muestreo (Zonas Portuarias y Zonas Adyacentes), época de lluvia, Octubre de 2010. (Adaptado de Google Earth, 2012).

Los periodos climáticos de esta región están influenciados por un régimen estacional que cambia gracias a la migración norte- sur de la Zona de Convergencia Intertropical, ZCIT, el cual permite que se presenten tres épocas: de febrero a abril presenta un comportamiento regido por eventos de surgencia por transporte de Ekman y acción de vientos continentales, ya que migran cinco grados hacia el sur; así mismo, la distribución vertical de los parámetros oceanográficos está influenciada por el ascenso de aguas de afloramiento subsuperficial. Sigue la segunda época entre mayo y julio, que es de transición, y la tercera de agosto a enero, en donde la ZCIT migra cinco grados hacia el norte, caracterizada por ser de altas precipitaciones, aumento de temperatura y disminución de la salinidad, gracias al aporte de aguas continentales (García-Hoyos, 2008). Se observa una alta influencia de los vientos alisios provenientes del noreste con una velocidad media de 6,0 m/s con un

rango de variación de 0,3-12 m/s, así como eventos de surgencia (Franco-Herrera, 2005). En la época de lluvia, la ZCIT se desplaza hacia el norte, lo que conlleva a que disminuyan los vientos alisios y se aumenten las precipitaciones. En cuanto a los parámetros físico-químicos, se registra que la temperatura del aire anual varía entre 21 y 29 °C y la salinidad entre 31 y 38 UPS, aunque hay pequeñas variaciones en esta dependiendo de la época del año. En la columna de agua, la temperatura oscila entre 23 y 26 °C durante la época seca, y entre 27 y 28 °C durante la época de lluvia. Con respecto a la salinidad oscila entre 35 y 38 UPS en la época seca y entre 30 y 36 UPS en la época de lluvia (Franco-Herrera, 2005; Ramos-Ortega *et al.*, 2008).

La actividad portuaria se desarrolla en la Sociedad Portuaria de Santa Marta, ubicada en el límite noroccidental de Santa Marta, entre los cerros de Ancón, San Martín y la ensenada de Tanganilla (Rangel y Vidal, 2008). Está constituida por siete muelles que reciben buques y embarcaciones extranjeras provenientes de Norte y Suramérica, Europa e Insulares. Así mismo, Santa Marta es un distrito que exporta productos agrícolas, como banano, cacao, café y aceite de palma. De igual modo, exporta carbón, el cual es uno de los productos que más incrementa las exportaciones, debido a la demanda del sector industrial en mercados internacionales, tales como Japón, Estados Unidos, la Unión Europea y Chile. De otra parte, llegan al puerto gran cantidad de productos importados, como tuberías y accesorios, cartón y papel, granel líquido, alambrón, granel sólido, vehículos, acero de distintos países, dentro de los que están Estados Unidos, China, Francia, Costa Rica, Reino Unido, Venezuela, Israel, Japón, Ucrania, entre otros (Elías, 2007; Rangel y Vidal, 2008).

Con relación a la exportación de carbón, en el sector de Pozos Colorados se ha notado dentro de un marco general que el incremento de la actividad portuaria y las cargas y descargas de carbón mineral para exportación son factores que pueden llegar a afectar las actividades turísticas, la pesca artesanal y el comercio hotelero, entre otros. El puerto más cercano es el de PRODECO, el cual empezó a operar en la región desde 1979. Este carga el carbón mediante un sistema aéreo en el que se usan barcasas y se transporta un volumen de 6 millones ton/año (Franco-Herrera *et al.*, 2011).

5.2 DISEÑO MUESTREAL

5.2.1 Fase de campo

El muestreo se llevó a cabo entre el 13 y 23 Octubre del año 2010 (época de lluvia), dentro del proyecto “Evaluación de bioinvasiones marinas en humedales costeros y su relación con el tráfico marítimo en 3 zonas portuarias mayores del Caribe colombiano: Cartagena, Santa Marta y Coveñas”. Se tomaron dos réplicas por sitio seleccionado, tanto en zonas interiores como adyacentes de cada puerto (Cartagena, Coveñas y Santa Marta). En total se tomaron 34 muestras de 17 sitios, de cuales un juego de 17 fue analizado en este estudio. Las muestras fueron obtenidas de la siguiente manera: 6 en Cartagena, 6 en Coveñas y 5 en Santa Marta (Tabla 1). Se colectaron las muestras mediante redes de fitoplancton de 23 µm. por medio de arrastres superficiales desplazando la lancha durante un minuto. Luego el contenido de la red fue vertido en frascos de plástico de 250 ml, los cuales habían sido marcados previamente con número de muestra, tipo de muestra, sitio en donde se tomó la muestra y GPS waypoint. Las muestras fueron preservadas con Lugol (siete gotas por cada 200 ml de muestra).

Tabla 1. Posición geográfica de las estaciones de muestreo en tres puertos principales del Caribe colombiano, segunda época del año 10 de Octubre de 2010. CTG (Cartagena), COV (Coveñas) y SMA (Santa Marta). ZA (Zonas Adyacentes) y ZP (Zonas Portuarias).

Código	No.	ZP	ZA	Sitio	Coordenadas Sexagesimales
CTGOCT	13	X		SPRC-Muelle 4	N10 24.303 W75 31.923
CTGOCT	19	X		Boya CONTECAR	N10 22.471 W75 31.042
CTGOCT	46	X		Ecopetrol TNP	N10 20.509 W75 30.922
CTGOCT	62		X	Barú I Manglar	N10 08.382 W75 40.874
CTGOCT	73		X	Barú II Entrada	N10 08.083 W75 40.778
CTGOCT	79		X	Barú III Manglar	N10 08.554 W75 41.502
COVOCT	89	X		Muelle Argos Tolú	N9 29.646 W75 35.945
COVOCT	102	X		Ecopetrol Muelle Servicio	N9 24.860 W75 41.467
COVOCT	112		X	Cispatá Manglar E1	N9 24.649 W75 47.592
COVOCT	124		X	Cispatá Manglar E2 (B)	N9 23.425 W75 48.294
COVOCT	146	X		Ecopetrol TLU 1	N9 29.619 W75 44.052
COVOCT	156	X		Ecopetrol TLU3	N9 31.606 W75 46.976
SMAOCT	168	X		Santa Marta-Sociedad Portuaria Muelle 1	N11 14.922 W74 12.963
SMAOCT	185	X		Santa Marta-Sociedad Portuaria Muelle 4	N11 15.133 W74 12.904
SMAOCT	199	X		Pozos Colorados, Boya Zuana	N11 09.002 W74 14.116
SMAOCT	219		X	El Rodadero -Puerto Luz	N11 12.528 W74 13.935
SMAOCT	237		X	El Rodadero –El Morro	N11 12.509 W74 14.351

5.2.2 Fase de laboratorio

Para el análisis de las muestras de fitoplancton obtenidas, se procesó uno de los dos replicados por cada sitio. Se procedió a identificar hasta el nivel taxonómico más específico posible. En primer lugar, se homogenizaron las muestras manualmente dándole vueltas a los frascos con precaución para no destruir las células. Seguido a esto, se tomaron dos mililitros con una pipeta Pasteur y se montaron alícuotas en una placa Sedgwick-Rafter (SR) que se analizaron totalmente en un microscopio óptico Nikon modelo SE en aumentos de 10X en el que se realizó el conteo de las células. Cuando fue necesario estas se extrajeron y se pusieron en un portaobjetos, el cual fue observado en un objetivo de 100X en el que se realizó la identificación y caracterización pertinente. De igual forma, se utilizó el ocular micrométrico con el fin de tomar las medidas morfométricas respectivas, como se realizó en distintos estudios anteriores (Torres-Sierra, 2007; Suárez, 2007; Ramírez, 2008; Osorio- Cardoso, 2010).

La identificación de las células fitoplanctónicas se efectuó con ayuda de trabajos especializados como el manual realizado por Vidal (2010), así como guías de identificación dentro de las que se encuentran la de Parra *et al.* (1982). De igual modo, se usó como ayuda una cartilla realizada con los resultados obtenidos en el muestreo efectuado en la primera época del año del 2010 (L. Vidal, com. pers. 2010).

5.2.3 Fase de gabinete

Se realizó una matriz dentro de la cual se registró el listado de especies identificadas sistemáticamente con su nombre dicotómico (género-especie), discriminando entre especies no-nativas y nativas. Después de esto, el total de las células halladas se transformó en porcentajes por medio de la siguiente ecuación:

$$\% n_i = (n_i / n_{total}) \times 100$$

Por lo tanto, “% n_i ” es el porcentaje de la especie “ i ”, “ n_i ” es el conteo de la especie “ i ” y “ n_{total} ” es la suma del conteo de todos los taxa. Así mismo, se estableció la riqueza de especies presentadas dentro de grupos taxonómicos mayores, como Diatomeas céntricas, Diatomeas pennadas, Dinoflagelados, Clorófitas, Cianófitas, Euglenófitas y otros grupos.

Se construyeron graficas pastel con el fin de conocer los grupos fitoplanctónicos que aportan mayor abundancia relativa dentro del estudio en las muestras obtenidas. De igual forma, se realizó

un análisis estadístico para determinar si existían diferencias significativas entre la riqueza de especies entre puertos y entre cada puerto con sus zonas adyacentes. Debido a que son desiguales los números de las muestras de los diferentes sitios y no se pudo confirmar una homogeneidad de varianza, se utilizó el test no-paramétrico de Mann Whitney.

Para describir la comunidad fitoplanctónica se calcularon medidas de diversidad:

Riqueza de especies (S) la cual es usada para cuantificar la cantidad de especies presentes en un área.

Riqueza de Margalef (d), estima la biodiversidad por medio de la distribución de los individuos de una comunidad: $D = (S-1) / \text{Log}N$

Uniformidad de Pielou (J), determina la equiparabilidad presentada por el número de especies: $J' = H'_{\text{observada}} / H'_{\text{máxima}}$

Predominio de Simpson (λ): indica la dominancia presentada por una o varias especies presentes en una comunidad. $\lambda = \sum (n_i / N)^2$

Diversidad de Shannon-Wiener (H'): determina la biodiversidad encontrada dentro de una comunidad, $H' = - \sum [(n_i / N) \ln (n_i / N)]$

Para comparar la composición de especies entre estaciones, se realizó un análisis de similaridad o disimilaridad utilizando el índice de Bray-Curtis. Los resultados de estos análisis se visualizaron por dendrogramas (clusters) realizados con técnicas de ligamiento promedio de la media aritmética no ponderada (UPGMA). Los datos se transformaron con raíz cuarta en donde se analizó la agrupación entre especies dentro de los puertos. De igual forma, se visualizaron los resultados del análisis en un diagrama de NMDS (Escalamiento Multidimensional No Métrico) con el software PRIMER v5, lo cual permitió visualizar en dos dimensiones la similaridad entre muestras respecto a su composición de las especies fitoplanctónicas entre los tres puertos y sus correspondientes zonas adyacentes.

6. RESULTADOS

En el muestreo realizado en octubre de 2010 en tres áreas, CTG (Cartagena), COV (Coveñas) y SMA (Santa Marta), las cuales tenían zonas portuarias y zonas adyacentes, compuestas por 17 puntos de muestreo, se identificaron un total de 60 taxa de fitoplancton, distribuidas en 38 géneros. Un total de 47 especies fueron identificadas hasta el nivel de especie y 13 se clasificaron hasta género. De la misma manera, se presentaron siete grupos fitoplanctónicos dentro de los que se encontraron 31 especies de Diatomeas céntricas, las cuales fueron las más abundantes dentro de este estudio, seguido por 12 especies de Diatomeas pennadas y 13 especies de Dinoflagelados. En menor proporción se presentaron las Cianófitas, Clorófitas, Euglenófitas y Silicoflagelados, estos cuatro con un solo representante.

Con base en lo anterior, para esta época predominaron el grupo de las Diatomeas céntricas con una abundancia relativa del 51.7%, seguido por los Dinoflagelados con un 20% y las Diatomeas pennadas con un 20%, con un porcentaje menor de 1,7%, las Clorófitas, Cianófitas, Euglenófitas y Silicoflagelados fueron los grupos menos abundantes dentro del muestreo realizado, tanto en los tres puertos como en las zonas adyacentes (Figura 4) (Anexo E).

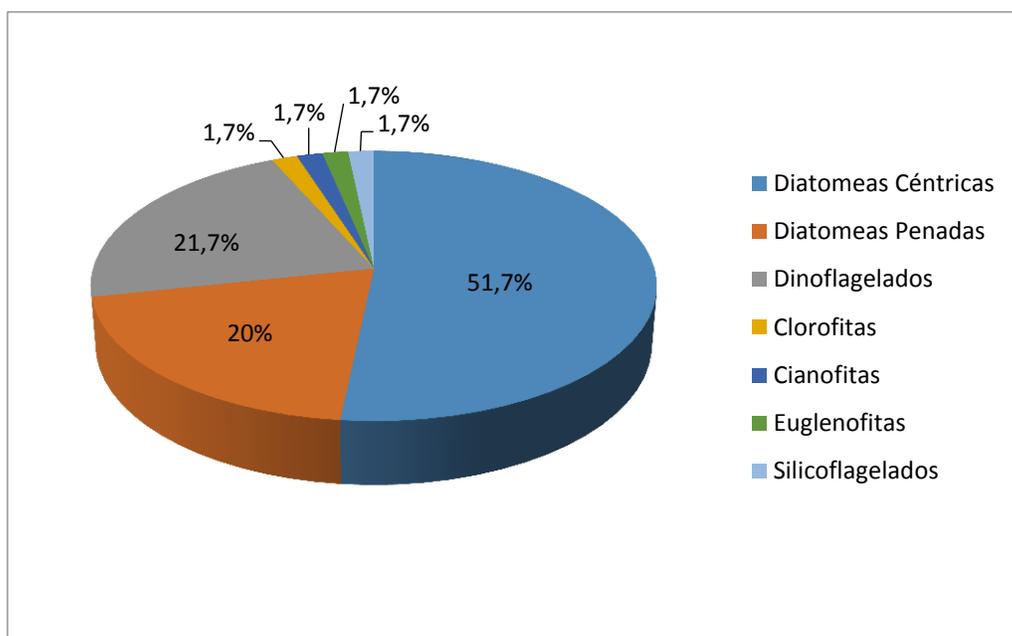


Figura 4. Abundancias relativas (%) de diferentes grupos fitoplanctónicos encontrados en tres Puertos y sus Zonas Adyacentes del Caribe colombiano, en la segunda época del año (Octubre) de 2010.

Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia (presencia en muestras/total de muestras analizadas), abundancia mínima (%), abundancia máxima (%) y promedio de abundancia (%) de las especies de fitoplancton registradas en los sitios de muestreo de Cartagena, Coveñas y Santa Marta en la segunda época del año, octubre de 2010.

Especie	Frecuencia acumulada	Abundancia máxima %	Abundancia mínima %	Promedio %
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	2/17	91,3	8,7	50
<i>Ceratium trichoceros</i>	4/17	86,4	1,6	25
<i>Chaetoceros diversus</i>	2/17	85,7	14,3	50
<i>Gyrosigma balticum</i>	2/17	85,7	14,3	50
<i>Ditylum brightwellii</i>	2/17	81,8	18,2	50
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2/17	75	75	75
<i>Bacteriastrum comosum</i>	2/17	72	28	50
<i>Aulacoseira granulata</i>	3/17	71,9	8,7	33,3
<i>Hemiaulus hauckii</i>	2/17	71,4	28,6	50
<i>Prorocentrum gracile</i>	2/17	66,7	33,3	50
<i>Euglena oxyuris (forma mínima)</i>	4/17	62,4	9,4	25
<i>Pediastrum simplex</i>	7/17	61,0	2,3	14,3
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	3/17	59,1	18,2	33,3
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	7/17	57,5	1,9	14,3
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	3/17	56,3	18,8	33,3
<i>Pleurosigma angulatum</i>	2/17	55,6	44,4	50
<i>Ceratium sp.</i>	5/17	54,1	6,8	16,7
<i>Thalassiosira sp.</i>	2/17	52,9	47,1	50
<i>Peridinium quinquecorne</i>	3/17	50	10	33,3
<i>Neoceratium hircus</i>	6/17	46,4	1,8	16,7
<i>Nostoc sp</i>	5/17	46,3	3,7	20
<i>Alexandrium sp.</i>	4/17	46,2	7,7	25
<i>Cyclotella striata</i>	3/17	45,9	24,3	33,3
<i>Dictyocha fibula</i>	4/17	45,5	18,2	25
<i>Ditylum sp.</i>	3/17	42,9	28,6	33,3
<i>Diploneis sp.</i>	3/17	42,9	28,6	33,3
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	8/17	42,3	1,2	12,5
<i>Coscinodiscus granii</i>	7/17	42,2	3,3	14,3
<i>Bacteriastrum sp</i>	3/17	40	25	33,3
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	5/17	38,7	6,8	16,7
<i>Ceratium furca</i>	5/17	38,1	0,8	20
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4/17	37,5	12,5	25

Continuación Tabla 2 : Frecuencia de ocurrencia (presencia en muestras/total de muestras analizadas), abundancia mínima (%), abundancia máxima (%) y promedio de abundancia (%) de las especies de fitoplancton registradas en los sitios de muestreo de Cartagena, Coveñas y Santa Marta en la segunda época del año, octubre de 2010.

<i>Neodelphineis pelagica</i>	5/17	37,5	12,5	20
<i>Rhizosolenia setigera</i>	6/17	37,2	4,7	16,7
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	6/17	36,7	3,3	16,7
<i>Ceratium hirundinella</i>	5/17	35,9	3,9	20
<i>Nitzschia longissima</i>	4/17	34,8	13,04	25
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	10/17	30,2	3,2	10
<i>Chaetoceros affinis</i>	8/17	25,1	1,2	12,5
<i>Coscinodiscus centralis</i>	10/17	25,0	1,7	10
<i>Skeletonema costatum</i>	13/17	24,9	1,0	7,69
<i>Thalassiosira sp.</i>	8/17	22,6	3,2	12,50
<i>Coscinodiscus gigas</i>	12/17	14,9	1,4	8,3
<i>Chaetoceros spp.</i>	1/17	1	1	1
<i>Chaetoceros danicus</i>	1/17	1	1	1
<i>Chaetoceros didymus</i>	1/17	1	1	1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1/17	1	1	1
<i>Eucampia sp.</i>	1/17	1	1	1
<i>Proboscia alata fragilissima</i>	1/17	1	1	1
<i>Asterolampra marylandica</i>	1/17	1	1	1
<i>Guinardia flaccida</i>	1/17	1	1	1
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	1/17	1	1	1
<i>Nitzschia palea</i>	1/17	1	1	1
<i>Synedra sp.</i>	1/17	1	1	1
<i>Donkinia recta</i>	1/17	1	1	1
<i>Grammatophora marina</i>	1/17	1	1	1
<i>Protoberidinium abei</i>	1/17	1	1	1
<i>Prorocentrum mexicanum</i>	1/17	1	1	1
<i>Neoceratium lineatum</i>	1/17	1	1	1
<i>Gonyaulax sp</i>	1/17	1	1	1

Al observar la abundancia y la frecuencia de presencia de especies (Tabla 2) se denota que las especies que presentaron mayor abundancia relativa dentro de este estudio fueron: *Skeletonema costatum*, *Pediastrum simplex*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Ceratium trichoceros*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Aulacoseira granulata*, *Chaetoceros spp.*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Coscinodiscus gigas*,

Coscinodiscus granii, *Chaetoceros curvisetus*, *Ceratium furca*, *Ceratium hirundinella*, *Neoceratium hircus*, *Nostoc sp*, *Euglena oxyuris* (forma minima). A diferencia de esto las especies que mostraron la menor abundancia fueron: *Prorocentrum mexicanum*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Chaetoceros danicus*, *Grammatophora marina*, *Synedra sp.*, *Proboscia alata fragilissima*, *Prorocentrum mexicanum*, *Protoperidinium abei*, *Donkinia recta*, *Asterolampra marylandica.*, *Eucampia sp*, *Neoceratium lineatum* y *Guinardia flaccida*.

Tabla 3. Índices de diversidad para fitoplancton presente en las tres zonas muestreadas: Cartagena, Coveñas y Santa Marta. S (Riqueza de especies), d (Diversidad de Margalef), J' (Uniformidad de Pielou), H' (Diversidad de Shannon-Wiener), λ (Predominio de Simpson)

Código	No.	Sitio	S	D	J'	H' (log 10)	λ
CTG (ZP)	13	SPRC-Muelle 4	8	1,52	0,91	0,82	0,17
CTGOCT (ZP)	19	Boya CONTECAR	8	1,52	0,84	0,76	0,23
CTGOCT (ZP)	46	Ecopetrol TNP	9	1,73	0,91	0,87	0,16
CTGOCT (ZA)	62	Barú I Manglar	13	2,61	0,90	1,01	0,12
CTGOCT (ZA)	73	Barú II Entrada	7	1,30	0,84	0,71	0,22
CTGOCT (ZA)	79	Barú III Manglar	12	2,39	0,75	0,81	0,25
COVOCT (ZP)	89	Muelles Argos	11	2,17	0,80	0,84	0,21
COVOCT (ZP)	102	Ecopetrol Muelle Servicio	11	2,17	0,88	0,92	0,16
COVOCT (ZA)	112	Cispatá Manglar E1	12	2,39	0,92	0,99	0,12
COVOCT (ZA)	124	Cispatá Manglar E2 (B)	14	2,82	0,74	0,85	0,20
COVOCT (ZP)	146	Ecopetrol TLU1	19	3,91	0,69	0,89	0,23
COVOCT (ZP)	156	Ecopetrol TLU III	27	5,65	0,61	0,88	0,24
SMAOCT (ZP)	168	Sociedad Portuaria Sta. Marta; Muelle 1	13	2,61	0,18	0,20	0,85
SMAOCT (ZP)	185	Sociedad Portuaria Sta. Marta; muelle 4	9	1,74	0,47	0,45	0,58
SMAOCT (ZP)	199	Pozos Colorados; Boya Zuana	17	3,47	0,61	0,75	0,22
SMAOCT (ZA)	219	Puerto Luz	13	2,61	0,22	0,25	0,81
SMAOCT (ZA)	237	Morro	19	3,91	0,83	1,07	0,13

Al observar la Tabla 3, se evidencia que las estaciones que presentaron mayor riqueza fueron: Ecopetrol TLU III (27) y Ecopetrol TLU I (19) localizadas en la zona de Coveñas, seguido por El Morro (19) de la zona de Santa Marta. Esto difiere con estaciones localizadas en Cartagena y Santa Marta quienes presentaron valores de riqueza de especies más bajas: SPRC- Muelle 4 (8), Boya CONTECAR (8), Ecopetrol TNP (9), Barú II-Entrada (7) y Sociedad Portuaria Santa Marta-muelle 4 (9). Con base en lo anterior, fue notable que los puntos de muestreo que presentaron mayor riqueza tuvieron una relación inversa con la uniformidad (equidad) de Pielou. Por otra parte, las

estaciones que presentaron la mayor diversidad de Shannon-Wiener fueron, en la zona de Cartagena: Barú I Manglar (1,01), en la zona Santa Marta: El Morro (1,07), y en la zona de Coveñas: Cispatá manglar E1 (0,99). Las estaciones con valores de H' más bajos fueron Puerto Luz (0,25), Sociedad Portuaria Santa Marta-Muelle 1 (0,20) y Sociedad Portuaria Santa Marta-Muelle 4 (0,45). Con referencia al predominio de Simpson se pudo observar que la Sociedad Portuaria Santa Marta-Muelle 1, Sociedad Portuaria Santa Marta-Muelle 4 y Puerto Luz, al mostrar una diversidad menor, presentaron un predominio mayor.

El análisis de la composición de especies utilizando la similaridad de Bray-Curtis (Figura 5) mostró que las estaciones se asociaron en tres grupos A, B y C, dentro de los cuales se encuentran distribuidas las estaciones de las diferentes zonas portuarias muestreadas. Así mismo, el porcentaje de similaridad es bajo entre los grupos A y B. El grupo A está conformado por dos subgrupos: en el primer sub-grupo se encuentra Puerto Luz (SMA) y las dos estaciones de la Sociedad Portuaria Santa Marta (Muelle 1 y 4), el segundo subgrupo lo constituyen Ecopetrol TLU1 (COV) y Pozos Colorados-Boya Zuana (SMA). El grupo B al igual que el grupo A está dividido por dos subgrupos: el primero está compuesto por Ecopetrol Muelle Servicio (COV), SPRC- Muelle 4 y Muelle Argos (COV), el segundo grupo lo conforman las tres estaciones de Barú, Boya Contecar (CTG) y Ecopetrol TNP (CTG). Por último, el tercer grupo los componen las estaciones de Cispatá (COV), Ecopetrol TLU3 (COV) y el Morro, Rodadero (SMA). De esta forma, el porcentaje de similaridad entre los grupos A y B es del 10%. Dentro del grupo A la similaridad entre los dos subgrupos fue del 25%, un poco mayor a la presentada por los dos subgrupos del grupo B que fue del 20%. Sin embargo, fue notable la gran diferencia presentada por las estaciones del grupo C, ya que el porcentaje de similaridad con las otras estaciones fue menor de 10%.

Con base en lo anterior se observó que en el grupo A se encontraron las siguientes especies en común: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus granii*, *C. radiatus*, *C. centralis*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Aulacoseira granulata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Neodelphineis pelagica*, *Peridinium quinquecorne* y *Ceratium trichoceros*. En el grupo B se encontraron las siguiente especies en comun: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus centralis*, *C. gigas*, *Chaetoceros affinis*, *C. lorenzianus*, *Thalassiosiras* sp., *Pseudonitzschia pungens*, *Neoceratium hircus*, *Ceratium furca*, *C. hirundinella*, *Pediastrum simplex* y *Nostoc* sp. El grupo C presentó una particularidad, ya que está costituido por estaciones que reciben aportes de aguas continentales y son estuarinas como Cispatá-manglar, al igual que estaciones que son oceánicas y comparten pocas especies con estaciones que están localizadas en la misma área; a partir de esto las

especies en comun fueron: *Coscinodiscus centralis*, *C. gigas*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros affinis*, *C. lorenzianus*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Cyclotella striata*. *Thalassiosira* sp., *T. nitzschoides*, *T. frauenfeldii*, *Alexandrium* sp., *Prorocentrum gracile* y *Nostoc* sp.

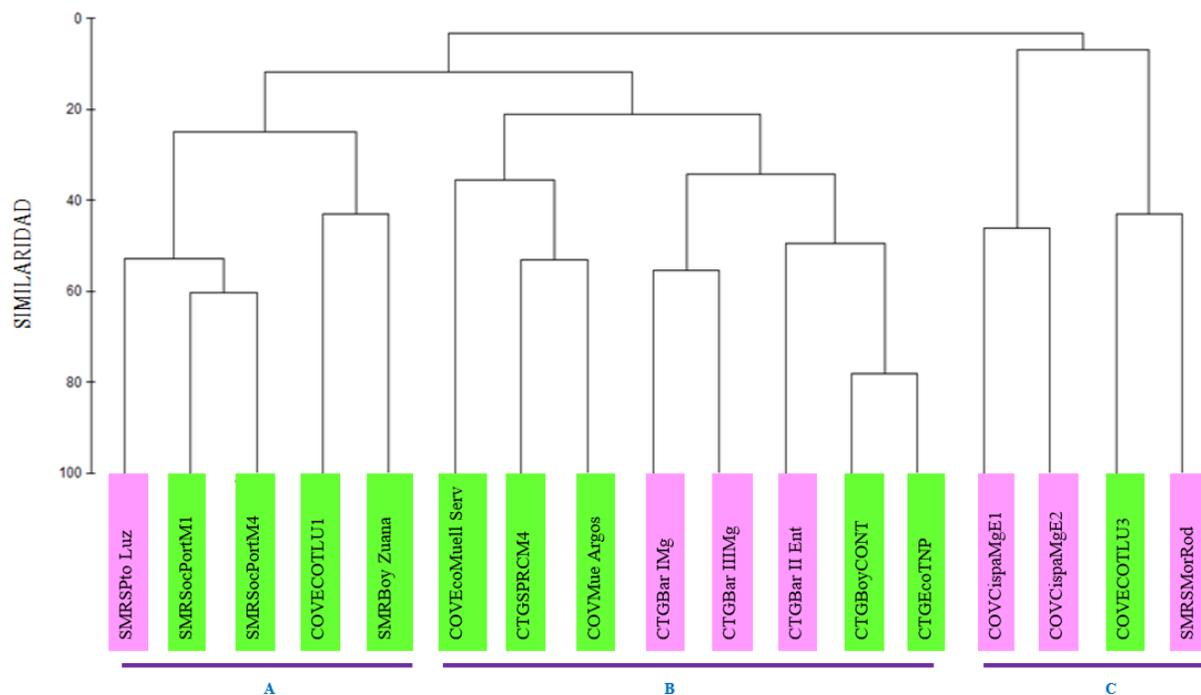


Figura 5. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis de la composición de la comunidad fitoplanctónica presente en las zonas de muestreo, tanto de zona portuarias (CTG:Cartagena como en zonas adyacentes (Cartagena, Coveñas y Santa Marta). Se muestra la conformación de tres grupos A, B y C.

Al observar la clasificación de estaciones de acuerdo con su composición (similaridad de Bray Curtis) utilizando el ordenamiento no métrico NMDS (Figura 6), se notó que las estaciones se asociaron en dos grupos: en el primero se encuentran las estaciones de Ecopetrol TLU1, Ecopetrol TLU3, Sociedad Portuaria de Santa Marta, muelle1 y 4, Pozos Colorados; Boya Zuana, Puerto Luz y Morro. El segundo grupo se conforma por las estaciones de Cispatá Manglar E1, Cispatá Manglar E2, Ecopetrol Muelle Servicio, Muelle Argos, Barú I Manglar, Barú II Manglar, Barú III Entrada, Boya CONTECAR, Ecopetrol TNP y SPRC-muelle 4. Al observar el stress: 0,19 se puede indicar que la gráfica es una buena representación de la similaridad de composición entre estaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior fue notable que las especies más frecuentes dentro de este estudio fueron *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus gigas*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros* spp., *Chaetoceros lorenzianus*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Aulacoseira granulata*,

Neoceratium hircus, *Ceratium furca*, *Ceratium hirundinella*, *Ceratium trichoceros*, *Pediastrum simplex* y *Nostoc* sp. En otras palabras, no se evidenció una significativa diferencia en composición fitoplanctónica entre estaciones pertenecientes a sectores portuarios y estaciones de zonas de referencia. Sin embargo, fue evidente la conformación de dos grupos, A y B, los cuales se pueden caracterizar porque unas estaciones estaban más influenciadas por aguas oceánicas (A) y otras por aportes de aguas dulceacuícolas (B). A partir de esto, se pudo observar que las especies compartidas en el primer grupo son: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus granii*, *C. radiatus*, *C. centralis*, *C. gigas*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros curvisetus*, *Thalassiosira* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *T. frauenfeldii*, *Neodelphineis pelagica* y *Ceratium trichoceros*. En el grupo B las especies compartidas fueron: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus centralis*, *C. gigas*, *Chaetoceros affinis*, *C. curvisetus*, *Thalassiosira* sp., *Pseudonitzschia pungens*, *Neoceratium hircus*, *Ceratium furca*, *C. hirundinella*, *Pediastrum simplex* y *Nostoc* sp.

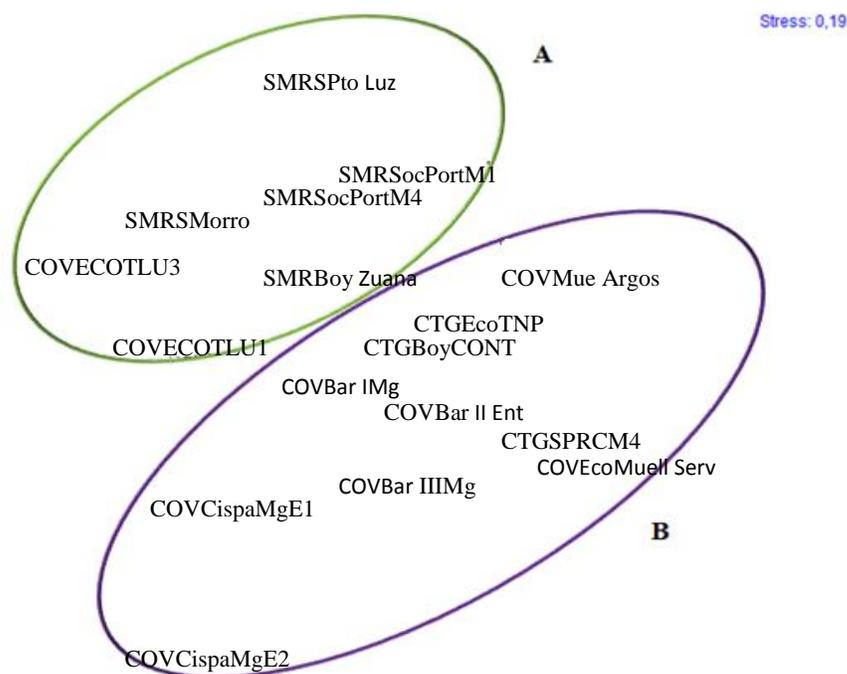


Figura 6. Ordenamiento no métrico NMDS de las estaciones de muestreo de acuerdo con la similitud de Bray Curtis, tanto en puertos como en zonas adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta. Se muestran los grupos formados.

Al analizar estadísticamente, utilizando la prueba Mann Whitney (Tabla 4), existen diferencias respecto a la riqueza de especies entre puertos con sus respectivas zonas adyacentes, no hubo evidencia suficiente para indicar que se encontraron diferencias significativas entre ellos. Esto

indica que la riqueza de especies es similar entre las zonas portuarias y adyacentes de cada una de las áreas muestreadas (Cartagena, Santa Marta y Coveñas).

Tabla 4. Comparación de riqueza con prueba de Mann Whitney de especies entre zonas portuarias y zonas adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta en la segunda época del año, octubre de 2010. Suma de rangos de riqueza para Zonas Portuarias (ZP U1), Suma de rangos de riqueza para Zonas Adyacentes (ZA U2), N (número de estaciones comparadas), U1 valor estadístico de la prueba Mann Whitney, P (probabilidad con cual se rechaza la hipótesis nula que hay diferencia en riqueza entre la zona portuaria y zona adyacente).

COMPARACIÓN	N	ZP U1	ZA U2	Diferencias	P (α 0,05)
Zon Port. Cart. vs. Zon ady Cart	6	6	3	No significativas	0,350
Zon Port. Cov. vs. Zon ady Cov	5	3	5	No significativas	0,600
Zon Port. St. Marta vs. Zon ady Sta Marta	5	4,5	1,5	No significativas	0,200

Sepúlveda, 2012

Al determinar las especies consideradas como no-nativas dentro del estudio realizado, fue notable que estas se presentaron en todos los puntos muestreados. Las más comunes fueron los dinoflagelados *Ceratium furca* y *Ceratium hirundinella*, seguidas por *Coscinodiscus granii*, perteneciente al grupo de las Diatomeas Céntricas, y *Dictyocha fibula* del grupo de los Silicoflagelados. De igual forma, fue notable que se presentó un mayor número de especies no-nativas en puertos que en zonas adyacentes (Tabla 5).

Tabla 5. Especies no-nativas registradas en zonas portuarias y adyacentes de Cartagena, Coveñas y Santa Marta. X (Presente), O (Ausente). Zonas portuarias indicados en color rojo, zonas de referencia indicados en color azul.

Código	Número muestra	<i>Coscinodiscus granii</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>	<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	<i>Cyclotella striata</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Ceratium furca</i>	<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Dictyocha fibula</i>
CTGOCT (ZP)	SPRC-Muelle 4	O	O	O	O	O	O	X	X	O
CTGOCT (ZP)	Boya CONTECAR	O	O	O	O	O	O	X	O	O
CTGOCT (ZP)	Ecopetrol TNP	O	O	O	O	O	O	X	X	O
CTGOCT (ZA)	Barú I Manglar	X	O	X	O	O	O	O	O	O
CTGOCT (ZA)	Barú II Entrada	O	X	O	O	O	O	O	O	O
CTGOCT (ZA)	Barú III Manglar	O	O	X	X	O	X	O	X	O
COVOCT (ZP)	Muelle Argos	O	O	O	O	O	O	X	X	O
COVOCT (ZP)	Ecopetrol Muelle Servicio	O	O	O	O	X	O	O	O	X
COVOCT (ZA)	Cispatá Manglar E1	X	O	X	O	X	O	O	O	X
COVOCT (ZA)	Cispatá Manglar E2 (B)	O	O	O	O	X	X	O	O	X
COVOCT (ZP)	Ecopetrol TLU1	X	O	X	X	O	O	O	O	X
COVOCT (ZP)	Ecopetrol TLU3	O	O	X	O	O	O	X	X	O
SMAOCT (ZP)	Sociedad Portuaria Sta. Marta; muelle 1	X	O	O	O	O	O	O	O	O
SMAOCT (ZP)	Sociedad Portuaria Sta. Marta; muelle 4	X	O	O	O	O	O	O	O	O
SMAOCT (ZP)	Pozos Colorados; Boya Zuana	X	O	X	O	O	O	O	O	O
SMAOCT (ZA)	Puerto Luz	X	O	O	O	O	O	O	O	O
SMAOCT (ZA)	Morro	O	X	X	O	O	O	O	O	O

Al re-analizar la similitud de composición de especies con un enfoque exclusivamente sobre la composición de especies no-nativas (Figura 7), se observó una baja similitud entre estaciones, evidenciado por varios ramas en el dendrograma; sin embargo, dentro de los grupos formados se presentó un alto nivel de similitud. No obstante, fue notable que la mayoría de las especies no-nativas pertenecen a las Diatomeas Céntricas (5), seguida por los Dinoflagelados (2), Diatomeas Pennadas (1) y Silicoflagelados (1). Al observar el dendrograma de clasificación se visualiza la conformación de 5 grupos A, B, C, D y E, con similitud ninguna (0%) entre los cinco grupos.

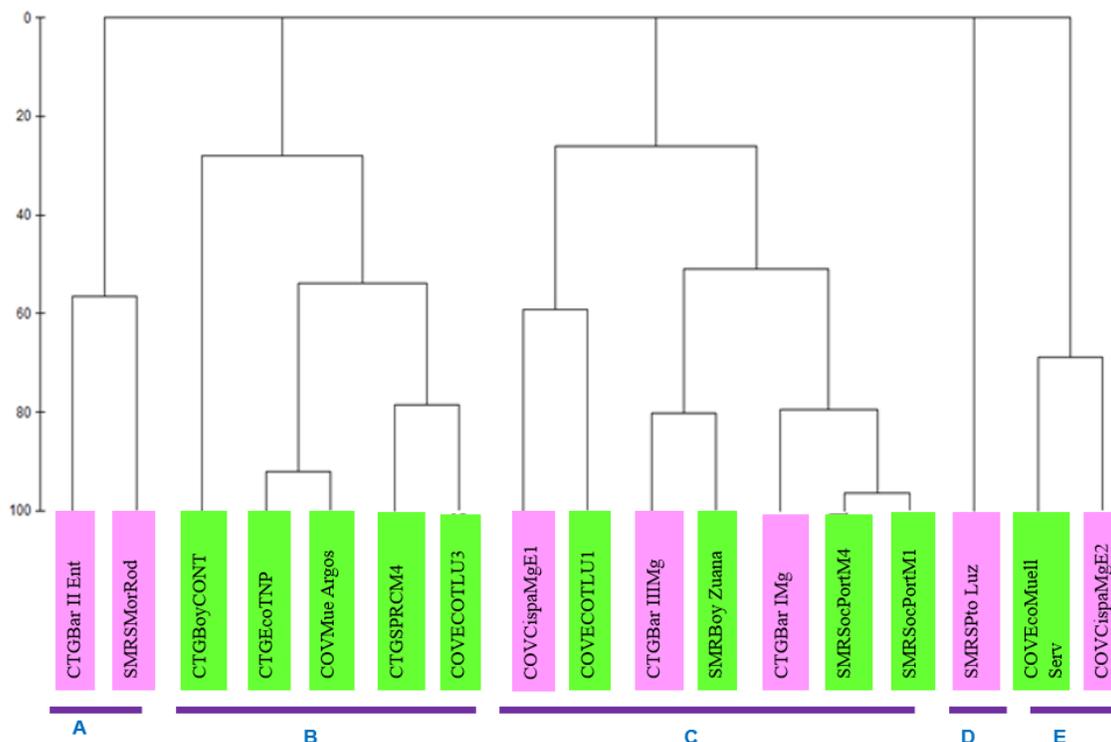


Figura 7. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de la composición de la comunidad fitoplanctónica no-nativa presentada en las zonas de muestreo, tanto de puertos como en zonas adyacentes (Cartagena, Coveñas y Santa Marta). Se muestra la conformación de cinco grupos A, B, C, D y E.

6.1 Zona Portuaria de Cartagena y Zona Adyacente (Barú)

En el muestreo que se realizó en el área de Cartagena se identificó un total de 1.996 individuos, repartidos en 27 especies (Figura 8), de las cuales 14 eran Diatomeas céntricas, 5 Diatomeas Pennadas, 5 Dinoflagelados, 1 Cianófito, 1 Clorófito y 1 Euglenófito. Dentro de las muestras tomadas en la estación SPRC-Muelle 4, Boya Contecar, Ecopetrol TNP, Barú I manglar, Barú II entrada y Barú III manglar, se tomaron en cuenta solo especies que presentaran abundancias mayores a 2%, por tal razón, las especies que presentaron la mayor abundancia relativa fueron: *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros peruvianus*, *Bacteriastrum hyalinum* y *Cyclotella meneghiniana*, las cuales se encontraron tanto en la zona portuaria como en la zona adyacente (Barú). Dentro de las especies no-nativas se encontraron a *Coscinodiscus granii*, *Ditylum brightwellii*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Cylindrotheca closterium*, *Ceratium hirundinella* y *C. furca*.

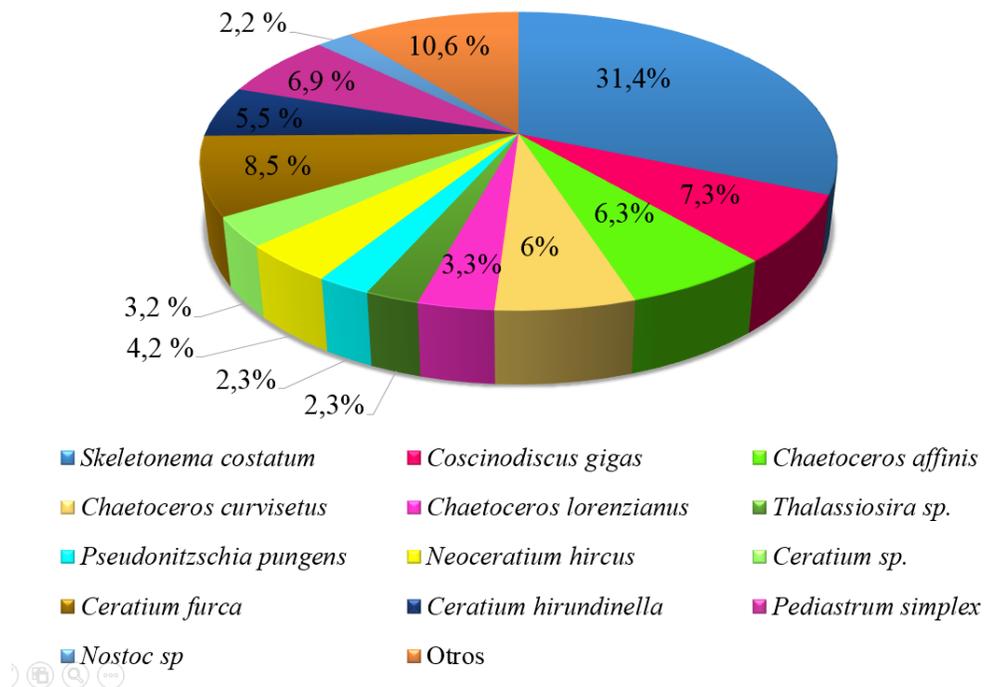


Figura 8. Abundancias relativas de las especies fitoplanctónicas registradas en el área de Cartagena (zona portuaria y zona adyacente) durante la época de lluvia, Octubre de 2010. Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 2%.

6.2 Zona Portuaria y Zona Adyacente de Coveñas

En el muestreo que se realizó en Coveñas se identificaron un total de 1.996 individuos, pertenecientes a 51 especies, de los cuales 29 fueron Diatomeas Céntricas, 9 Diatomeas Pennada, 9 Dinoflagelados, 1 Cianófita, 1 Clorófita, 1 Euglenófita y 1 Silicoflagelado. Dentro de las muestras tomadas en el Muelle Argos, Muelle de Servicio de Ecopetrol, Ecopetrol Tolú y en el Mangle de la Bahía de Cispatá. De esta manera, las especies que presentaron mayor abundancia relativa fueron: *Bacteriastrum hyalinum*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros spp* y *Skeletonema costatum*, todas pertenecientes al grupo de las Diatomeas Céntricas. Esta área fue la que presentó mayor diversidad (riqueza de especies) en comparación con las otras dos (Santa Marta y Cartagena). También hubo un porcentaje alto de especies que tenían abundancias relativas menores a 2%, tales como *Skeletonema costatum*, *Dictyocha fibula*, *Ceratium hirundinella*, *Proboscia alata fragilissima*, entre otras. Con base en esto, es importante indicar que se muestran las especies con abundancias mayores de 2%. Las especies no-nativas dentro de esta área fueron: *Coscinodiscus granii*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Ciclotella striata*, *Cylindroteca closterium*, *Ceratium furca*, *C. hirundinella* y *Dictyocha fibula*, siendo la última la más común dentro de este área de muestreo (Figura 9).

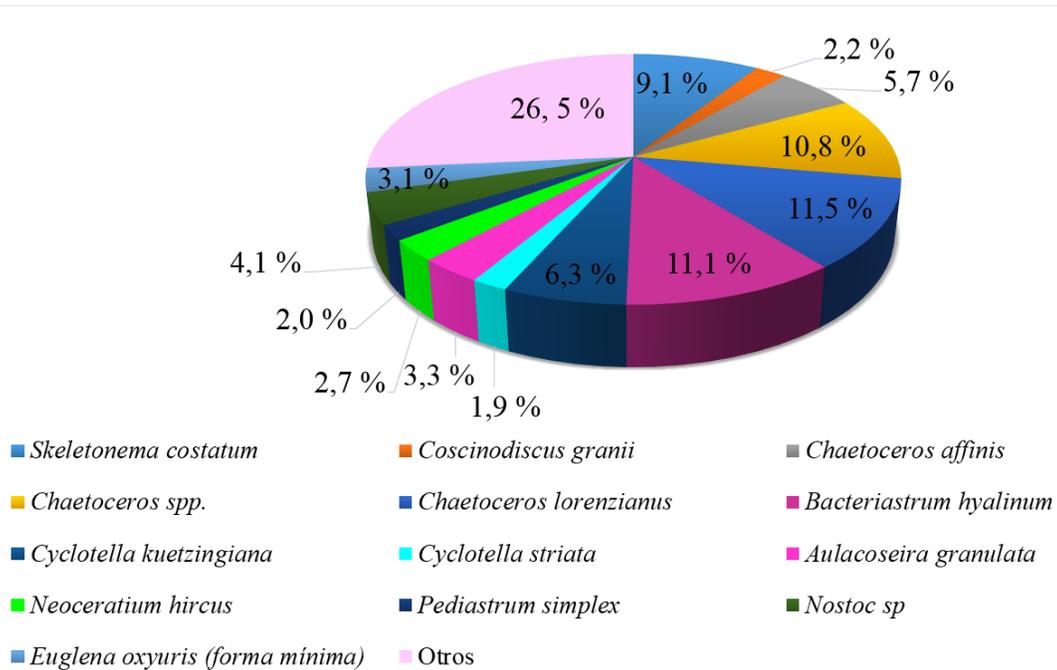


Figura 9. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas identificadas en Coveñas, tanto en la zona portuaria como en la zonas adyacente, durante la época de lluvia, Octubre de 2010. Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 2%.

6.3 Zona Portuaria de Santa Marta y Zona Adyacente (El Rodadero)

En el muestreo que se realizó en Santa Marta se identificó un total de 2.121 individuos de 28 especies (Figura10). Dentro de los grupos más representativos se encontraron 16 Diatomeas Céntricas, 4 Diatomeas Pennadas, 7 Dinoflagelados y 1 Clorófita. Las especies que presentaron mayor abundancia relativa en esta zona fueron *Skeletonema costatum* (56,2%) y *Cyclotella kuetzingiana* (12,4), pertenecientes al grupo de las Diatomeas Céntricas y *Ceratium trichoceros* (9%) del grupo de los Dinoflagelados. Así mismo, *Pediastrum simplex* (9%) del grupo de las Clorofitas. Las especies no-nativas que se encontraron en esta área fueron: *Coscinodiscus granii*, *Ditylum brighwellii* y *Chaetoceros affinis*.

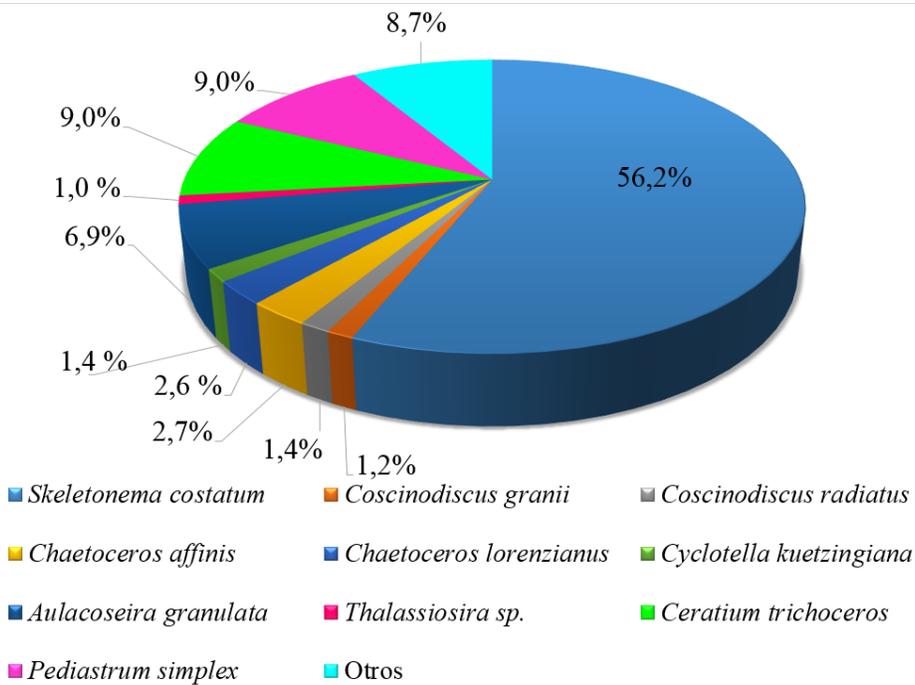


Figura 10. Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas identificadas en el área de Santa Marta, tanto en las Zonas Portuarias como en la Zona Adyacente (Rodadero), durante la época de lluvia (Octubre de 2010). Se muestran solamente las especies con abundancias relativas mayores a 1%.

7. DISCUSIÓN

Con este estudio se pretendió establecer si el tráfico marítimo era un vector que incidía sobre la introducción de especies no-nativas de fitoplancton dentro de las áreas muestreadas. Se pudo observar que la composición fitoplanctónica estuvo conformada en parte por especies no-nativas (Tabla 5), que potencialmente han sido introducidas por distintas actividades antropogénicas, pero es necesario enfatizar que la gran mayoría de las especies encontradas en este trabajo pertenecen a registros que se han realizado en esta zona del Caribe. La presencia de especies no-nativas se puede atribuir a la dinámica climática que se genera durante esta época, ya que al aumentar las precipitaciones se incrementan el aporte de aguas continentales por el Río Magdalena y la Ciénaga Grande de Santa Marta, en Santa Marta, o el Río Sinú en el Golfo de Morrosquillo. Así mismo, el incremento de la materia orgánica y el descenso de la salinidad intervienen sobre la proliferación algal y el constante movimiento de agua de ríos, lagunas o estuarios permite que las distintas células se desplacen a zonas oceánicas (Franco-Herrera, 2005).

Con respecto a la composición fitoplanctónica es notable que el grupo que predominó en este estudio fue el de las Diatomeas Céntricas. Esto es debido a que es un grupo cosmopolita que presenta adaptaciones a aguas turbulentas como las del Caribe, las cuales permiten la permanencia en el medio. Además, las altas concentraciones de nitratos y nitritos favorecen el crecimiento sobre otros grupos taxonómicos; de igual forma, la disminución de la salinidad en la segunda época del año incide sobre el acoplamiento de especies que son estuarinas (Ramírez-Barón *et al.*, 2010).

7.1 Zona Portuaria y Zonas Adyacentes de la Bahía de Cartagena

Al observar la composición fitoplanctónica del área muestreada, fue evidente que se presentaron muchas especies pertenecientes al grupo de las Diatomeas y Dinoflagelados en puertos. A diferencia de las estaciones de la zona adyacente, en donde el grupo de los Dinoflagelados fue ausente; se ha establecido en diferentes estudios que la presencia de este grupo se ha relacionado con un cambio a nivel histórico, en el que se ha determinado que son permanentes a diferencia de otros, como las Cianofitas y Clorofitas que tienen registro desde el 2002 - 2005 (Suárez *et al.*, 2007). Es importante aclarar que según el análisis NMDS y el dendrograma basado en la similaridad de composición no se hallaron diferencias entre puertos y zonas adyacentes dentro del área.

Se destaca que en esta área se evidenció mayor abundancia de Dinoflagelados en las zonas portuarias que en las zonas adyacentes. Debido al aporte de aguas continentales, el medio en el que

se encontraron distintos individuos reportados para este estudio es altamente cambiante, ya que está influenciado por un régimen estacional que produce un cambio de temperatura y salinidad, por lo que se generan procesos de eutroficación y mesotroficación; lo cual permite el óptimo desarrollo de distintas especies fitoplanctónicas como *Skeletonema costatum*, especies pertenecientes al género *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, las cuales pueden convertirse en indicio de contaminación (Franco-Herrera, 2005; Rendón *et al.*, 2003; Suárez *et al.*, 2007).

De acuerdo con lo registrado por Suárez *et al.* (2007), la alta abundancia de especies de Dinoflagelados, tales como *Ceratium* sp, *Ceratium hirundinella* y *Ceratium furca* fue característica de estaciones como la Sociedad Portuaria de Cartagena, la Boya Contecar y el Muelle de Ecopetrol. A diferencia de las zonas adyacentes en donde se presentó una baja concentración de Dinoflagelados, pero una alta cantidad de especies como *Skeletonema costatum* y *Chaetoceros affinis*, entre otras. Esto es debido a que estas especies pertenecientes al grupo de las Diatomeas céntricas son neríticas, habitan en zonas tropicales, euritérmicas, además, tienen la capacidad de formar estructuras de resistencia, lo cual les permite tolerar cambios drásticos de temperatura, salinidad, pH y nutrientes en el medio. Esto les facilita desarrollarse adecuadamente en zonas que presentan alto grado de cambio (Tigreros, 2002; Cañón *et al.*, 2005).

Es importante resaltar que no se mostró una diferencia estadísticamente significativa entre zonas portuarias y adyacentes, así mismo, el análisis de Bray Curtis, por el tipo de agrupación de los puntos de muestreo en cuanto a términos de abundancia, indicó que se presentó una gran similaridad; esto muestra que hay homogeneidad frente al número de especies en común, tales como *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus gigas*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros lorentianus* y *Ceratium furca*, las cuales fueron las más representativas. Esta similaridad se puede atribuir a la estacionalidad climática, ya que el aporte de aguas continentales por ríos durante esta época del año lleva a que se incremente la concentración de nutrientes; además, al mezclar aguas dulceacuícolas ricas en nutrientes con aguas marinas pobres proporcionan un ambiente propicio para que se presenten varias especies oportunistas típicas del grupo de las Diatomeas (Wetzel, 1981; Kinne, 1982). Con base en esto se rechaza la hipótesis que nos indicaba que iban a haber diferencias entre zonas adyacentes y portuarias.

En el estudio de Gavilán *et al.* (2005) se reportaron en el mes de octubre 31 Diatomeas, 10 Dinoflagelados, 2 Cianofitas y 2 Euglenofitas. La especie predominante fue *Coscinodiscus granii*; también, se reportaron especies características de cuerpos de agua dulce, tales como: *Chaetoceros danicus*, *C. socialis*, *Coscinodiscus subtilis* y *Skeletonema costatum*, debido a que es época de

lluvia y hay aportes de aguas continentales. Análogo al estudio realizado por Gavilán en 2005, en este trabajo el grupo de las Diatomeas también fue el más abundante en especies como *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *C. lorenzianus* y *Coscinodiscus gigas*; igualmente, *Ceratium furca* y *Pediastrum simplex* fueron abundantes. Se ha reportado que estas especies son causantes de enfermedades y capaces de alterar el medio marino produciendo hipoxia y anoxia.

En cuanto al grupo de las Cianofitas, en este estudio se observó una baja abundancia y diversidad de especies. El único representante fue *Nostoc* sp. En Gavilán *et al.* (2005) se reporta por primera vez la presencia de *Nostoc* sp. como indicador de aguas continentales.

Dentro del área de Cartagena no se observó una marcada diferencia entre la composición de especies entre sitios adyacentes y portuarios, se encontró que los puntos de muestreos conformaron un solo grupo dentro del dendrograma. Esto se puede atribuir a que tanto en zonas adyacentes como puertos se presentó un alto número de especies Diatomeas céntricas en las dos zonas.

Dentro de este área fue notable un mayor número de especies no-nativas en las zonas adyacentes que en las portuarias: las especies más comunes fueron *Coscinodiscus granii*, *Ceratium furca*, que son especies características de aguas neríticas y cálidas, así mismo, son indicadoras de condiciones ricas en nutrientes, son frecuentes en el Océano Pacífico en distintas zonas del Perú (Montes *et al.*, 2006). Entre otras especies encontradas está *Ceratium hirundinella* característica de aguas dulces, perteneciente a aguas cálidas con temperaturas promedio de 23 ° C. La especie es común en embalses de la Isla de Mallorca, España, sin embargo, es capaz de crecer en zonas con baja concentración de nutrientes gracias a que pueden retenerlos y almacenarlos (Moya y Ramón, 1984).

7.2 Zona Portuaria y Adyacente de Coveñas

Al observar la composición de la comunidad fitoplanctónica encontrada en el área de Coveñas, fue evidente la predominancia de las Diatomeas céntricas frente a otros grupos. En otros estudios realizados en la zona de la Bahía de Cispatá, INVEMAR (1999) registró un total de 172 especies agrupadas dentro de las divisiones Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Pyrrophyta y Euglenophyta. Así mismo, en el informe del 2005 se reportó la presencia de seis divisiones, 34 familias, 80 géneros y 251 especies (INVEMAR, 2005).

En el presente estudio fue notable la marcada abundancia de especies como *Chaetoceros lorenzianus*, *C. spp.*, *Bacteriastrum hyalium* y *Cyclotella kuetzingiana*, pertenecientes al grupo de las Diatomeas céntricas, a diferencia del estudio realizado por Vásquez - Cárdenas (2006), se

encontró una baja riqueza de especies por causa del efecto de dilución por aguas continentales. Por tal razón, se registró un promedio de 11% de Cianofitas y un aumento en el porcentaje de Euglenófitas y Clorófitas para el mes de junio. Se presentaron 64 especies de Cianofitas y 58 especies de Clorófitas. Al igual que en este estudio, la presencia de Dinoflagelados fue baja, debido a que son de crecimiento lento y son capaces de ser heterótrofos en concentraciones bajas de nutrientes (Margalef, 1995; Vidal, 1995).

Otros estudios catalogan como tóxicas a algunas especies de distintos géneros encontradas en esta zona. Dentro de estas se encuentran *Prorocentrum*, *Gonyaulax*, *Alexandrium*, *Pediastrum* y *Pseudonitzschia*, las cuales han sido ejemplos típicos de células que son peligrosas para otras comunidades y nocivas para la dinámica biológica del ecosistema (Paerl, 1988).

Para el área de Coveñas se observó una gran variabilidad en la composición fitoplanctónica en las estaciones muestreadas. Sin embargo, no se observó una composición distinta para las estaciones cerca de la zona portuaria y las de la Bahía de Cispatá. Esto se debe posiblemente a que el área muestreada está influenciada por aportes de aguas dulceacuícolas del río Sinú, el cual genera un comportamiento unimodal en el área; gracias a esto aumenta la concentración de nutrientes, disminuye la salinidad e incrementa el efecto de dilución. Así mismo, se presenta una alta presencia de manglar que genera un sitio propicio para la producción de fitoplancton, además, la alta cantidad de materia orgánica producida en este ecosistema favorece una mayor producción fotosintética; de igual forma, al ser un ecosistema que está constituido por agua salada y agua dulce es posible encontrar especies que pertenecen a zonas estuarinas, dulceacuícolas y especies adaptadas a condiciones oligotróficas como *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Bacteriastrum* y *Ceratium* (Rondón, 1991; Vidal, 1995; INVEMAR, 1999).

En esta área las especies no-nativas encontradas fueron *Cylindrotheca closterium* y *Dictyocha fibula*, las cuales son especies nocivas que causan decoloración del agua, mal olor y daños mecánicos; son originarias de zonas cercanas a América del Norte.

7.3 Zona Portuaria y Adyacente de la Bahía de Santa Marta

Dentro de las estaciones localizadas en la Sociedad Portuaria de Santa Marta y Pozos Colorados, fue evidente la fuerte dominancia mostrada por el grupo de las Diatomeas Céntricas. Además, se encontraron varias especies de Dinoflagelados lo que difiere con los resultados obtenidos en otras zonas portuarias en donde fue notable la baja abundancia y diversidad de especies de Dinoflagelados. Se notó la marcada presencia de especies, como *Skeletonema costatum*,

Coscinodiscus cf. granii, *Chaetoceros affinis* y *C. lorenzianus*, que han sido catalogadas como tóxicas por Rangel y Vidal (2008) y quienes las encontraron dentro de tanques de aguas de lastre. Las mismas especies también fueron encontradas en las otras dos zonas portuarias del presente estudio (Cartagena y Coveñas).

Es importante indicar que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre puertos y zonas adyacentes dentro del área de Santa Marta, lo cual sugiere que en la época de lluvia se da un aporte continental de aguas dulces y salobres lo que lleva a que se presente un intercambio de nutrientes en distintas zonas costeras, por esta razón, se pudo observar una homogeneidad en cuanto a riqueza en zonas portuarias y zonas adyacentes (Ramírez, 2008).

Dentro de la zona de Santa Marta, así como en otras zonas del Caribe colombiano, los cambios en el acoplamiento océano - atmósfera por eventos climáticos, generan una dinámica fitoplanctónica distinta en las diferentes épocas del año, ya que en la época de lluvia, por el aporte de aguas dulceacuícolas, se observa la presencia de especies que son pertenecientes a sistemas de aguas dulces, como *Skeletonema costatum*, especies del género *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia* y *Ditylum*, las cuales fueron también reportadas en este estudio. Así mismo, la alta productividad y abundancia de fitoplancton con respecto a las otras áreas de muestreo, como Coveñas y Cartagena, se puede atribuir a que el área de Santa Marta es una zona pulsante en donde se presentan repetidas fertilizaciones por el aporte de nutrientes por aguas continentales de los ríos Gaira, Magdalena y Manzanares (Bernal y Zea, 2000) y la surgencia estacional.

Muchas de las especies encontradas en esta zona, tanto en puertos como en sitios adyacentes, son tóxicas y nocivas y han sido reportadas como comunes para la región de Santa Marta; dentro de las especies más comunes están: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus granii*, *Chaetoceros affinis* y *C. lorenzianus*. Posiblemente han sido introducidas por causa de actividades humanas, como la descarga de aguas de lastre (Rangel y Vidal, 2008). La alta abundancia de Diatomeas en Santa Marta puede ser debido a que al ser transportadas toleran condiciones de oscuridad, lo cual permite que estas especies sobrevivan dentro de los tanques de lastre y puedan llegar a regiones como la de Santa Marta. De esta manera, se puede estar favoreciendo el desarrollo de especies oportunistas y así se está generando un ambiente propicio para la proliferación de especies que pueden llegar a ser nocivas (Antia y Cheng, 1970).

Dentro de las especies no-nativas más comunes encontradas en esta zona están *Coscinodiscus granii*, *Chaetoceros affinis*. Según Vidal y Rangel (2008), estas especies provienen de zonas europeas y Norteamérica.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo observado, se puede concluir que se presentó una alta abundancia relativa y una baja riqueza de especies fitoplanctónicas en el periodo de octubre de 2010. Esto se atribuyó a la época del año, ya que el alto aporte de aguas continentales y la alta turbidez fertilizan las capas superficiales de la columna de agua, lo cual favoreció el florecimiento de las microalgas, aportando mayor abundancia pero baja riqueza en las zonas muestreadas.

La primera y segunda hipótesis no se aceptaron, ya que no hubo evidencia suficiente para indicar que hay diferencias estadísticamente significativas con respecto a la riqueza de especies entre puertos y zonas adyacentes.

La tercera hipótesis se aceptó, debido a que se observó mayor presencia de especies no-nativas en zonas en donde hay más tráfico marítimo.

Fue notable que no se observaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la riqueza entre los puertos y las zonas adyacentes de cada área. Esto sugiere que la época de lluvia influye sobre estos resultados, ya que no se observó una modificación de la riqueza de especies en las zonas portuarias y adyacentes.

Con base en los resultados de este estudio, no se puede comprobar que las aguas de lastre son el principal vector de introducción de las especies no-nativas encontradas en este trabajo.

Se encontró un número relativamente bajo (9) de especies no-nativas en este estudio. Sin embargo, la presencia de este tipo de especies dentro de zonas adyacentes y portuarias pueden ser un indicio del impacto que genera la descarga de aguas de lastre y una dispersión rápida por la hidrografía local. Además, muchas de las especies encontradas en este estudio son consideradas especies tóxicas y nocivas. Sin embargo, por reportes históricos y otros estudios realizados en el área de Cartagena, Coveñas y Santa Marta, se han catalogado como ya establecidas y comunes dentro de las regiones muestreadas.

Las especies más abundantes dentro de los puertos fueron *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros lorenzianus*, *C. diversus*, *C. didymus*, *Coscinodiscus radiatus*, *C. gigas*, *Ceratium* y *Pediastrum simplex*. Además, es importante incluir *Coscinodiscus granii* y *Ceratium hirundinella* como especies no-nativas. Las especies mencionadas son típicas de zonas neríticas y aguas mesotróficas

en las que se desarrollan óptimamente y son capaces de captar la luz y aprovechar los nutrientes fácilmente.

La comunidad fitoplanctónica presentó variación, que no fue claramente relacionada con su ubicación en puertos o zonas adyacentes. Sin embargo, fue notable que en puertos algunas especies no-nativas como: *Coscinodiscus granii*, *Chaetoceros affinis* y *Ceratium furca* predominaron más que en zonas adyacentes.

El establecimiento de especies no-nativas puede llevar a producir impactos y deterioro dentro de los campos biológicos, económicos y sociales de las regiones en donde son introducidas, por ejemplo, por las descargas de aguas de lastre. Esto exige que las autoridades portuarias y ambientales tomen medidas preventivas y de control para mitigar el efecto negativo de estas especies o polizones que influyen dentro de nuestros ecosistemas marítimos.

Esta investigación aportó al conocimiento y registro de especies no-nativas, siendo ya comunes dentro de las áreas muestreadas. Su presencia puede ser resultado del aporte de aguas de lastre en distintos puertos del Caribe colombiano, pero la presencia simultánea en zonas adyacentes, sin marcada actividad portuaria, sugiere que las introducciones hayan ocurrido hace un tiempo, permitiendo su dispersión. Alternativamente, es posible que fueron introducidas no por las embarcaciones sino por las corrientes oceanográficas, explicando su ocurrencia en zonas portuarias y zonas adyacentes. Esta situación es un desafío para la academia y otras entidades científicas especializadas, para que abran otras líneas de investigación y poder, de esta manera, profundizar en la comprensión de estos problemas generados por el tráfico marítimo.

Así mismo, este estudio contribuye a establecer intercambios de nuevos conocimientos adquiridos con entidades nacionales para establecer qué están haciendo respecto al tema de aguas de lastre y cómo están protegiendo sus ecosistemas del alto impacto que estas generan y determinar las distintas formas para contrarrestar las consecuencias y mitigar sus efectos deletéreos.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda para estudios futuros ampliar el número de réplicas en las distintas áreas de muestreo, tanto en puertos como en zonas adyacentes.

Es necesario estudiar a profundidad el impacto de especies no-nativas en zonas portuarias y adyacentes, debido a que muchas de estas especies ya se han vuelto comunes en los distintos puntos de muestreo.

A partir de este estudio se podría recomendar que, de acuerdo con la legislación generada por la Organización Marítima Internacional, OMI, las descargas de aguas de lastre se hagan en altamar y no dentro de la plataforma continental. En Colombia es necesario hacer mayores esfuerzos para asegurar el cumplimiento de este requisito.

Esta situación que aumenta permanentemente en las zonas portuarias, debido al incremento de las importaciones y exportaciones del país debe conducir a generar articulaciones efectivas entre las distintas entidades estatales y privadas, nacionales e internacionales, encargadas del manejo de los aspectos marítimos, para evitar que las aguas de lastre se conviertan en un obstáculo y una amenaza para el desarrollo marítimo.

10. BIBLIOGRAFÍA

ANTIA NJ, CHENG, JY. 1970. The survival of axenic cultures of marine planktonic algae from prolonged exposure to darkness at 20 °C. *Journal of Phycology*. 179-183.

ÁLVAREZ-LEÓN, R. Y F. DE P. GUTIÉRREZ-BONILLA. 2007. Situación de los invertebrados acuáticos introducidos y trasplantados en Colombia: antecedentes, efectos y perspectivas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 31 (121): 557-574.

AVARIA, S., CÁCERES, M., MUÑOZ, P., PALMA, S. Y P, VERA. 1999. Plan nacional sobre floraciones de algas nocivas en Chile. Grupo de Trabajo sobre Floraciones de Algas Nocivas (FAN) del Comité Oceanográfico Nacional (CONA). 31 p.

BALLAST WATER CONVENTION. 2004. Convenio internacional para el control y la gestión de aguas y sedimentos de lastre. Organización Marítima Internacional (OMI).

BERNAL, A. y S. ZEA. 2000. Estructura de la comunidad de zooplancton en condiciones de descarga continental y de afloramiento costero en Santa Marta, Caribe Colombiano. *Bol, invern.* 20(1): 3-26.

BRAVO-SIERRA, E. 2004. Fitoflagelados potencialmente tóxicos y nocivos de costas del Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 52 (1): 5-16.

BURKHOLDER, J., WEYER, P., HEATHCOTE, S., KOLPIN, D., THORNER, PS. Y M. WICHMAN. 2007. Impact of waste from concentrated animal feeding operations on water quality. USA. *Environ Health Perspect.* 115: 308-312.

CABRERA, A. 2012. Variación de cobertura de Mangle en el Antiguo Delta del Río Sinú-Caribe Colombiano entre 1980-2004 y cambios estacionales del índice de Vegetación. Universidad de Puerto Rico. En línea: http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/a_cabrera.pdf. Citado el 13 de mayo de 2012.

CAÑÓN, M., VANEGAS, T., GAVILÁN, M., MORRIS, L. Y TOUS, G. 2005. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y Buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH.* 23: 46-59.

CAÑÓN, M. 2009a. ¿Qué es el agua de lastre? .Pp15-29. En: Dimar- CIOH. 2009. Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. Dimar, Serie Publicaciones Especiales CIOH. Vol. 3. Cartagena de Indias, Colombia. 116 p.

CAÑÓN, M. 2009b. Primeros avances, caso Colombia. Pp. 73-108. En: Dimar- CIOH. 2009. Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. Dimar, Serie Publicaciones Especiales CIOH. Vol. 3. Cartagena de Indias, Colombia. 116 p.

CIOH-CARDIQUE. 1997. Caracterización y diagnóstico integral de la zona costeras comprendida entre Galerazamba y Bahía de Barbacoas. Tomo I y II. Dirección General Marítima. Convenio de cooperación CIOH-CARDIQUE. Cartagena. Colombia. 694 p.

CIOH-UNOPS. 1997. Proyecto regional de planificación y manejo de bahías y áreas costeras fuertemente contaminadas del Gran Caribe. Caso bahía de Cartagena, Colombia. Informe ejecutivo del resultado 1.1 "Estudios que identifican la condición ambiental del ecosistema, grado de impacto sobre los componentes biológicos, potencial de la capacidad de recuperación y acciones de rehabilitación del sistema de la bahía de Cartagena. Cartagena de Indias. 146 p + anexos.

CONDE-PORCUNA, J., RAMOS-RODRÍGUEZ, E. Y R. MORALES-BAQUERO. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. Instituto del Agua, Universidad de Granada. España. Ecosistemas. 13 (2).

CORTES-USECHE, C. 2009. Los erizos de mar *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1878) y *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) como control biológico del “fouling” durante el desarrollo de un cultivo piloto del Pectínido *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Trabajo de Grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, D.T.C.H. 54 p.

DELGADILLO, O. 2003. Estructura y dinámica de peces asociados a dos arrecifes artificiales en el Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 108 p.

ECOPETROL. 2012. Terminal Coveñas, Instalaciones costa afuera. Tuberías submarinas. En línea: <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=83&conID=36476&pagID=127911>. Citado el 15 de junio de 2012.

ELÍAS, E. 2007. El comercio exterior de Santa Marta a partir de un balance sectorial 1990-2005. Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. Pensamiento y Gestión. 23: 72-111.

FRANCO-HERRERA, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira – El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 58 P.

FRANCO-HERRERA, A., GRIJALBA-BENDECK, L., IBAÑEZ, J. Y J. DAZA. 2011. Carbón, clima, playas y peces: El caso de la zona costera del departamento del Magdalena. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano. 186 p.

FREER, E. y M. VARGAS-MONTERO. 2003. Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. Universidad de Costa Rica. Acta méd. costarric. 45(4): 158-164.

FRÍAS, J. 2009. Gestión del agua de lastre en espacios marítimos costeros. Organización: Armada Argentina. En línea citado el 21 de diciembre de 2010. http://www.ipen.org.br/downloads/XXI/022_FRIAS_JUAN_CARLOS.pdf.

GARCÍA- HOYOS, L. 2008. Dinámica en el acoplamiento océano-atmosfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica durante un evento de surgencia y no surgencia en la zona costera del departamento del Magdalena. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino, Universidad Jorge Tadeo Lozano Santa Marta. 109 p.

GAVILÁN, M., CAÑON, M. Y G. TOUS. 2005. Comunidad fitoplanctónica en la Bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. Boletín Científico CIOH. 23:60-75.

INVEMAR. 1999. Informe final proyecto diagnóstico y evaluación ecológica del antiguo delta del Río Sinú con énfasis en la bahía de Cispatá y ciénagas aledañas. Santa Marta: Instituto de investigaciones marinas y costeras, José Benito Vives de Andreis. 204 p.

_____. 2005. Plan de seguimiento y monitoreo de la zona deltáico estuarino del río Sinú (Noviembre de 1999 – abril de 2005). Santa Marta: Instituto de Investigaciones marinas y costeras, José Benito Vives.

SOLANO, O., TORRES, C., HERNANDEZ, C., SAENZ, H., ESTELA, F., SARABIA, R., DE LA HOZ, J. Y W. GIL. 2005. Plan de seguimiento y monitoreo de la zona deltaico estuarino del río Sinú (noviembre de 1999 - abril de 2005). Santa Marta: Instituto de investigaciones marinas y costeras, José Benito Vives de Andreis. 366 p.

LÓPEZ, V. Y U. KRAUSS. 2006. National and regional capacities and experiences on marine invasive species, including ballast waters, management programmes in the wider Caribbean region - a compilation of current information. Final Report. CAB International (CABI), Caribbean and Latin America Regional Centre (CLARC), United Nations Environment Programme, 103 pp.

MALLMANN, D. Y M. ASMUS. 2006. Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande, Brasil. *Investig. mar.*34 (2): 205-210.

MARGALEF, R. 1986. *Ecología*. Barcelona: Edición Omega. 951 p

MONTES, R., GÁLVEZ. M. Y H. RIVERA. 2006. Fitoplancton de la Bahía de sechura, Piura-2005. *Universidad Nacional de Piura. Universalia*. 11(2): 57-65.

MOYÁ, G. y RAMÓN. 1984. Variación espacio temporal de *Ceratium hirundinella*, en los embalses de Cuber y Gorr Blau (Mallorca). España. *Asociación Española de Limnología. Limnética*. 1: 285-290.

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

OSORIO-CARDOSO, J. 2010. Dinámica espacio-temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena y su relación con parámetros fisicoquímicos en un ciclo climático anual. Trabajo de grado. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Programa de Biología Marina. Cartagena. 98 p.

PAERL, H.W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. En: *Limnol. Oceanogr.*, 33(4, part 2). P. 823-847.

PATIÑO, F. y F. FLOREZ. 1993. Estudio ecológico del Golfo de Morrosquillo. Universidad Nacional de Colombia. Fondo FEN Colombia. Bogotá D.C. 109 p.

PRATO. J. 2009. Desarrollo de un ensayo in situ para la evaluación preliminar de extractos y compuestos de origen natural como recubrimientos antifouling no tóxicos, en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. Trabajo de grado. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Programa de Biología Marina. Bogotá. 158 p.

RAAYMAKERS, S. 2002. The Ballast Water Problem: Global Ecological, Economic and Human Health Impacts. Paper Presented at the RECSO / IMO Joint Seminar on Tanker Ballast Water Management & Technologies Dubai. Inglaterra. 20 p.

RAMIREZ, J. 2008. Dinámica espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 118 p.

RAMÍREZ-BARÓN, J., FRANCO-HERRERA, A., GARCÍA-HOYOS, L. Y A, LÓPEZ. 2010. La comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Santa marta, Colombia. Bol. Invest. Mar, Cost. 39 (2): 233-263.

RAMÍREZ, J., GIRALDO, A. Y J, TOVAR. 2006. Producción primaria, Biomasa y Composición Taxonómica del Fitoplancton Costero y Oceánico en el Pacífico colombiano (septiembre-octubre 2004). Revista de Investigaciones Marinas. Valparaíso. Chile. 34(2): 211-216.

RAMOS-ORTEGA, L., VIDAL, L., VILARDY, S. Y L. SAAVEDRA-DÍAZ. 2008. Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Acta Biol. Colomb.13 (3): 87 – 98.

RANGEL, L. Y L. VIDAL. 2008. Fitoplancton nocivo y toxico presente en las aguas de lastre de los buques que arriban al puerto de Santa Marta, Caribe colombiano. Cartagena de Indias, Colombia. Boletín Científico CIOH. 26: 179-186.

RENDÒN, S., VANEGAS, T. Y P. TIGREROS. 2003. Contaminación de la Bahía de Cartagena por agua de lastre de los buques. Boletín Científico CIOH. 21:91-100.

RONDÓN, E. 1991. Estimación de la productividad fitoplanctónica en ciénagas del complejo Pajarales, Caribe colombiano. Bogotá. Trabajo de grado (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias

SUÁREZ, V. 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. Trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 130 p.

SUÁREZ, V., FRANCO-HERRERA, A. Y M. CAÑÓN. 2007. El microfitoplancton en los principales muelles de la bahía de Cartagena, Caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales. Cartagena de Indias, Colombia. Boletín Científico CIOH. 25: 135-149.

TELLEZ, N. 2011. Contaminación ocasionada por las aguas de lastre en el Mediterráneo occidental. Trabajo final para de carrera. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 150 p.

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

TIGREROS, P. 2003. Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques de tráfico internacional, componente fitoplanctónico Fase II. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena, Colombia. 56 p.

TORRES-SIERRA, E. 2007. La comunidad fitoplanctónica presente en un evento de surgencia, frente a la costa del departamento del Magdalena, Caribe colombiano, año 2006. Trabajo de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales. Santa Marta. 84 p.

VARGAS-CASTELLANOS, J. 2008. Distribución horizontal y vertical de la comunidad fitoplanctónica alrededor de Las Islas De Providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano (Época húmeda de 2005). Trabajo de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D.C. 131p.

VÁQUEZ- CARDENAS, D. 2006. Dinámica estructural de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cispatá, asociada a la industria camaronera local. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo lozano. Bogotá. 146 p.

VIDAL, L. 1995. Dinámica de la estructura de la comunidad del fitoplancton en un sistema laguno - estuarino tropical (Ciénaga Grande de Santa Marta) año 1987. Santa Marta: INVEMAR.

VIDAL, L. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 384 p.

ZAMBRANO, M. 2008. Variaciones en composición y abundancia de las algas de la clase Bacillariophyceae en tres áreas de la bahía de Cispatá, Caribe colombiano, con distintas características de actividad camaronera y salinidad. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 110p.

ANEXOS

ANEXO A

Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónica encontradas en los muestreos de Cartagena, tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época de año Octubre del 2010.						
Especie	SPRC-Muelle 4	Boya CONTECAR	Ecopetrol TNP	Barú I Manglar	Barú II Entrada	Barú III Manglar
<i>Skeletonema costatum</i>	28,10	38,19	29,83	16,37	30,85	45,08
<i>Coscinodiscus granii</i>	0,000	0,000	0,000	9,94	0,000	0,000
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0,000	0,000	5,26	0,000	0,000	0,000
<i>Coscinodiscus centralis</i>	2,56	0,000	0,000	0,000	4,79	0,000
<i>Coscinodiscus gigas</i>	4,75	8,54	9,21	8,77	4,26	8,81
<i>Ditylum brightwellii</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	1,06	0,000
<i>Chaetoceros affinis</i>	9,12	0,000	0,000	18,13	0,000	11,92
<i>Chaetoceros diversus</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,59
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,000	4,02	7,02	2,34	20,21	4,66
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0,000	9,55	0,000	12,87	0,000	0,000
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0,000	0,000	0,000	1,75	0,000	2,07
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,88
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,000	0,000	0,000	9,94	0,000	0,000
<i>Thalassiosira sp.</i>	0,000	7,06	5,26	1,75	0,000	0,000
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	0,000	6,03	4,39	2,34	0,000	1,55
<i>Nitzschia longissima</i>	0,000	0,000	0,000	2,924	0,000	0,000
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,591
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,04
<i>Neoceratium hircus</i>	18,98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ceratium sp.</i>	14,6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Ceratium furca</i>	11,68	22,61	13,16	0,000	0,000	0,000
<i>Ceratium hirundinella</i>	10,22	0,000	16,23	0,000	0,000	2,07
<i>Pediastrum simplex</i>	0,000	4,02	9,649	6,433	24,468	0,000
<i>Nostoc sp</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	14,36	0,000
<i>Euglena oxyuris</i> (forma mínima)	0,000	0,000	0,000	6,43	0,000	6,73

ANEXO B

Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas encontradas en los muestreos de Coveñas tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época de año Octubre del 2010.						
Especie	Muelles Argos	Ecopetrol Muelle Servicio	Cispatá Manglar E1	Cispatá Manglar E2 (B)	Ecopetrol TLU1	Ecopetrol TLU3
<i>Skeletonema costatum</i>	38,36	30,67	0,00	0,00	3,69	0,00
<i>Coscinodiscus granii</i>	0,00	0,00	18,63	0,00	1,17	0,00
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	6,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coscinodiscus centralis</i>	0,00	0,00	7,35	1,12	0,19	0,56
<i>Coscinodiscus gigas</i>	0,00	0,00	9,80	0,74	0,97	0,56
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	1,86
<i>Chaetoceros affinis</i>	0,00	0,00	6,37	0,00	12,62	6,69
<i>Chaetoceros diversus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,58
<i>Chaetoceros spp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,96
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	2,16	11,34	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	14,66	0,00	0,00	0,00	10,68	26,21
<i>Chaetoceros danicus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
<i>Chaetoceros didymus</i>	0,00	9,24	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00
<i>Bacteriastrum sp</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
<i>Bacteriastrum comosum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	1,30
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	42,91	0,00
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	3,45	0,00	10,78	34,20	0,78	0,00
<i>Cyclotella sp.</i>	0,00	3,78	5,39	6,32	0,00	0,00
<i>Aulacoseira granulata</i>	0,00	0,00	9,80	0,00	8,74	0,00
<i>Eucampia sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
<i>Proboscia alata fragilissima</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
<i>Asterolampra marylandica</i>	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Guinardia flaccida</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
<i>Hemiaulus hauckii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,37
<i>Pseudosolenia calcaravis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
<i>Thalassiosira sp.</i>	0,00	3,36	0,00	0,00	0,00	0,37
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	1,30
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37

<i>Nitzschia palea</i>	0,00	0,00	0,00	6,32	0,00	0,00
<i>Nitzschia longissima</i>	0,00	0,00	3,43	2,97	0,58	0,00
<i>Synedra sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0,00	0,00	0,00	2,23	0,00	0,00
<i>Donkinia recta</i>	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00
<i>Grammatophora marina</i>	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00
<i>Diploneis sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
<i>Girosigma balticum</i>	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
<i>Alexandrium sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,19
<i>Prorocentrum gracile</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74
<i>Neoceratium hircus</i>	8,19	11,76	3,43	0,00	0,00	0,00
<i>Neoceratium lineatum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42
<i>Ceratium sp.</i>	2,16	7,14	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ceratium furca</i>	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
<i>Ceratium hirundinella</i>	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93
<i>Ceratium trichoceros</i>	0,00	0,00	0,00	1,49	4,08	0,00
<i>Gonyaulax sp</i>	0,00	12,18	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pediastrum simplex</i>	0,00	0,00	19,12	0,00	0,00	0,00
<i>Nostoc sp</i>	7,33	4,20	0,00	18,59	0,78	0,00
<i>Euglena oxyuris (forma mínima)</i>	0,00	0,00	3,92	19,70	0,00	0,00
<i>Dictyocha fibula</i>	0,00	4,20	1,96	1,49	0,78	0,00

ANEXO C

Abundancias relativas (%) de las especies fitoplanctónicas encontradas en los muestreos de Santa Marta tanto en puertos como en zonas adyacentes, segunda época de año Octubre del 2010.					
Especie	Sociedad Portuaria Sta. Marta; muelle 1	Sociedad Portuaria Sta. Marta; muelle 4	Pozos Colorados; Boya Zuana	Puerto Luz	Morro
<i>Skeletonema costatum</i>	91,98	75,11	30,75	89,76	0,00
<i>Coscinodiscus granii</i>	0,57	7,11	0,63	0,87	0,00
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0,38	3,11	0,00	0,44	8,73
<i>Coscinodiscus centralis</i>	0,19	3,56	0,00	1,09	3,17
<i>Coscinodiscus gigas</i>	0,00	0,00	0,94	0,00	4,37
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0,95	1,33	0,00	0,44	2,78
<i>Ditylum brightwellii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57
<i>Ditylum sp.</i>	0,38	0,00	0,00	0,44	1,19
<i>Thalassiosira sp.</i>	0,00	0,00	0,84	1,96	0,00
<i>Chaetoceros affinis</i>	0,00	0,00	0,31	0,00	25,00
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,95	2,22	0,00	0,00	3,57
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1,72	0,00	0,42	0,00	19,44
<i>Bacteriastrum sp</i>	0,00	0,00	0,84	1,09	0,00
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	0,57	0,00	1,15	0,00	7,94
<i>Aulacoseira granulata</i>	0,00	0,00	17,36	0,00	0,00
<i>Thalassiosira sp.</i>	1,15	0,00	1,36	0,00	1,59
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0,00	0,00	0,00	0,87	4,76
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0,00	0,00	0,00	0,87	1,98
<i>Diploneis sp.</i>	0,00	0,00	0,21	0,00	1,19
<i>Neodelphineis pelagica</i>	0,57	0,44	0,21	0,22	0,40
<i>Peridinium quinquecorne</i>	0,19	0,00	0,52	0,87	0,00
<i>Alexandrium sp.</i>	0,00	0,00	0,10	0,00	2,38
<i>Protoperidinium abei</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98
<i>Prorocentrum gracile</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,17
<i>Neoceratium hircus</i>	0,38	0,00	0,42	0,00	0,00
<i>Ceratium sp.</i>	0,00	0,00	0,00	1,09	2,78
<i>Ceratium trichoceros</i>	0,00	3,56	21,97	0,00	0,00
<i>Pediastrum simplex</i>	0,00	3,56	21,97	0,00	0,00

ANEXO D

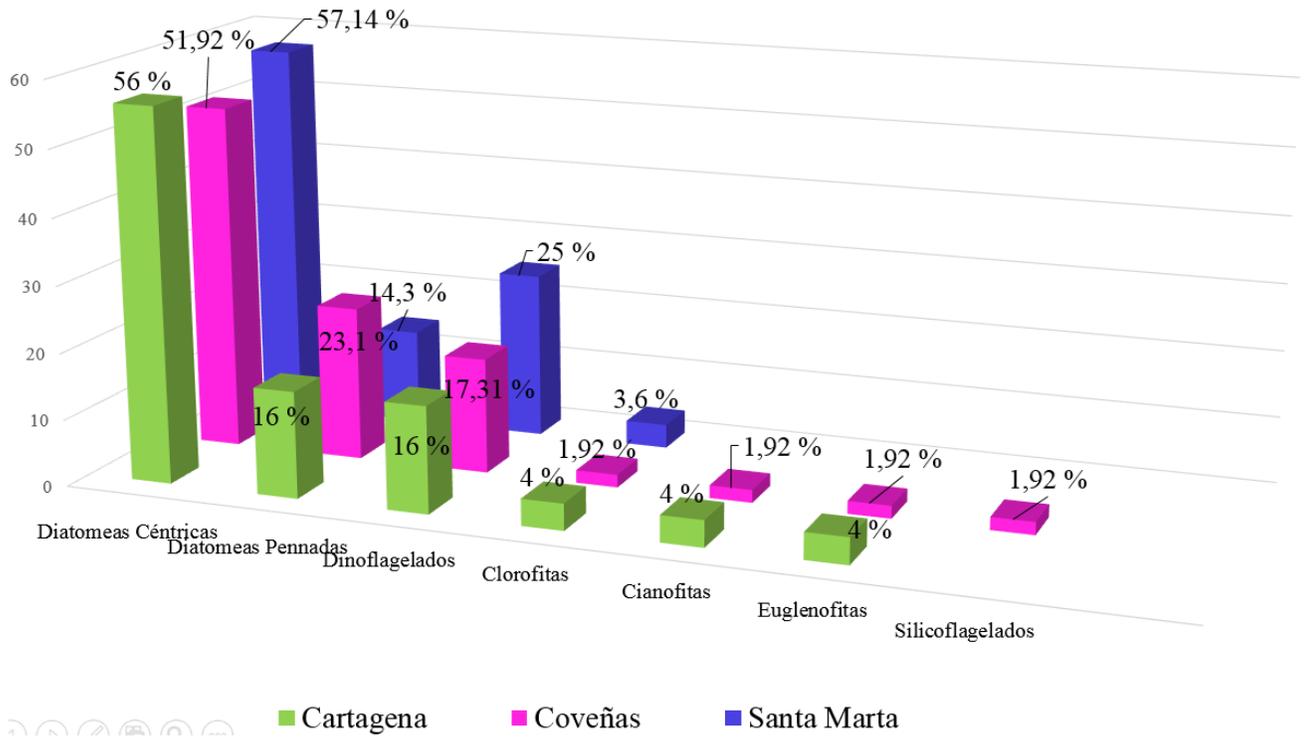
Taxonomía de especies

Especie	Phylum	Clase	Subclase	Super orden	Orden	Familia
<i>Skeletonema costatum</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Thalassiosiosiranae	Thalassiosirales	Skeletonemataceae
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Thalassiosiranae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae
<i>Cyclotella sp.</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Thalassiosiranae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Thalassiosiosiranae	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae
<i>Thalassiosira sp.</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Thalassiosiosiranae	Thalassiosirales	Thalassiosirales
<i>Coscinodiscus granii</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae
<i>Coscinodiscus centralis</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae
<i>Coscinodiscus gigas</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Coscinodiscales	Coscinodiscaceae
<i>Chaetoceros spp</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros danicus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros didymus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros affinis</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros diversus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Bacteriastrum sp</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Bacteriastrum comosum</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Chaetocerotanae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae
<i>Rhizosolenia setigera</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Rhizosolenianae	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae
<i>Ditylum sp.</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Lithodesmianae	Lithodesmiales	Lithodesmiaceae
<i>Ditylum brightwellii</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Lithodesmianae	Lithodesmiales	Lithodesmiaceae
<i>Proboscia alata fragilissima</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Rhizosolenianae	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae
<i>Guinardia flaccida</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Rhizosolenianae	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Rhizosolenianae	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae
<i>Aulacoseira granulata</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae
<i>Eucampia sp.</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Biddulphianae	Hemiaulales	Hemiaulaceae
<i>Hemiaulus hauckii</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Biddulphianae	Hemiaulales	Hemiaulaceae
<i>Asterolampra marylandica</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Coscinodiscophycidae	Coscinodiscanae	Asterolamprales	Asterolampraceae
<i>Nitzschia palea</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Bacillariales	Bacillariaceae

<i>Pseudonitzschia pungens</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Bacillariales	Bacillariaceae
<i>Nitzschia longissima</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Bacillariales	Bacillariaceae
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Bacillariales	Bacillariaceae
<i>Diploneis</i> sp.	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Naviculales	Diploneidaceae
<i>Girosigma balticum</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Naviculales	Pleurosigmataceae
<i>Donkinia recta</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Naviculales	Pleurosigmataceae
<i>Grammatophora marina</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilarianae	Striatellales	Striatellaceae
<i>Pleurosigma angulatum</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Bacillarianae	Naviculales	Pleurosigmataceae
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilarianae	Thalassionematales	Thalassionemataceae
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilarianae	Thalassionematales	Thalassionemataceae
<i>Synedra</i> sp.	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilarianae	Fragilariales	Fragilariaceae
<i>Neodelphineis pelagica</i>	Ochrophyta	Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilarianae	Rhaphoneidales	Rhaphoneidaceae
<i>Alexandrium</i> sp.	Dinophyceae	Dinophyceae			Gonyaulacales	Goniodomataceae
<i>Gonyaulax</i> sp.	Dinophyceae	Dinophyceae			Gonyaulacales	Gonyaulacaceae
<i>Neoceratium hircus</i>	Dinophyceae	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Neoceratium lineatum</i>	Dinophyceae	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Ceratium trichoceros</i>	Dinophyceae	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Neoceratium hircus</i>	Dinophyta	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Ceratium</i> sp.	Dinophyta	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Ceratium furca</i>	Dinophyta	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Ceratium hirundinella</i>	Dinophyta	Dinophyceae			Gonyaulacales	Ceratiaceae
<i>Prorocentrum gracile</i>	Dinophyceae	Dinophyceae			Prorocentrales	Prorocentraceae
<i>Peridinium quinquecorne</i>	Dinophyta	Dinophyceae			Peridiniales	Peridiniaceae
<i>Protoperidinium abei</i>	Dinophyta	Dinophyceae			Peridiniales	Protoperidiniaceae
<i>Pediastrum simplex</i>	Chlorophyta	Chlorophyceae			Sphaeropleales	Hydrodictyaceae
<i>Nostoc</i> sp.	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocophycidae		Nostocales	Nostocaceae
<i>Euglena oxyuris</i> (forma minima)	Euglenophyta	Euglenophyceae			Euglenales	Euglenaceae
<i>Dictyocha fibula</i>	Ochrophyta	Dictyochophyceae			Dictyochales	Dictyochaceae

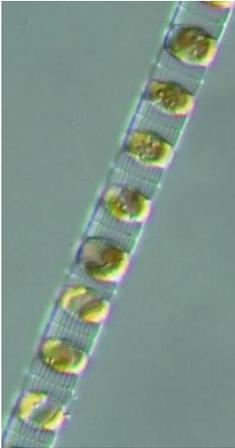
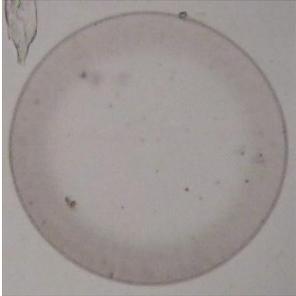
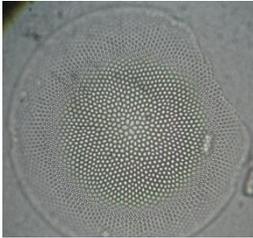
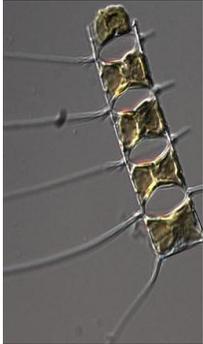
ANEXO E

Abundancias relativas (%) de diferentes grupos fitoplanctónicos encontrados en cada una de las áreas muestreadas del Caribe colombiano, en la segunda época del año (Octubre) de 2010.

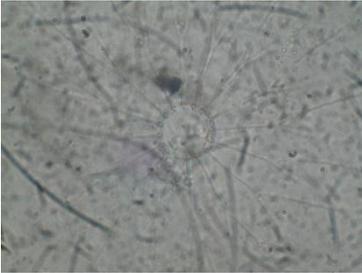


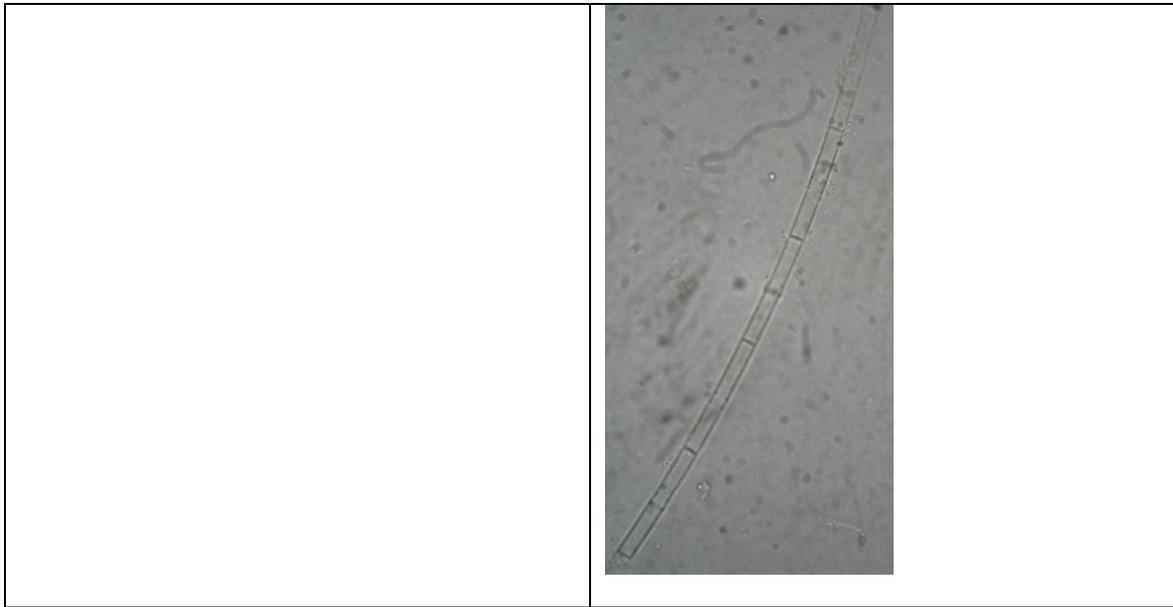
ANEXO F. Fotos especies más abundantes, dentro de este estudio: DIATOMEAS CÉNTRICAS, DIATOMEAS PENNADAS, DINOFLAGELADOS, CLOROFITAS, CIANOFITAS, EUGLENOFITAS

DIATOMEAS CÉNTRICAS

<p><i>Skeletonema costatum</i></p>  <p>http://www.eos.ubc.ca/research/phytoplankton/diatoms/centric/skeletonema/s_costatum.html</p>	<p><i>Coscinodiscus gigas</i></p> 	<p><i>C. granii</i></p> 	<p><i>Chaetoceros curvisetus</i></p>  <p>http://planktonnet.awi.de/index.php?contenttype=image_details&itemid=58924#content</p>
---	---	--	---

DIATOMEAS PENNADAS

<p><i>Bacteriastrum hyalinum</i></p> 	<p><i>Aulacoseira granulata</i></p>
--	-------------------------------------



DINOFLAGELADOS

Ceratium trichoceros



Ceratium furca



CLOROFITAS	CIANOFITAS	EUGLENOFITAS
<i>Pediastrum simplex</i>	<i>Nostoc sp</i>	<i>Euglena oxyuris</i> (forma mínima)

