

FITOPLANCTON DE LAS ISLAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA,  
CARIBE COLOMBIANO

EDGAR MAURICIO CAMPOS-GONZÁLEZ

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

FITOPLANCTON DE LAS ISLAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA,  
CARIBE COLOMBIANO

EDGAR MAURICIO CAMPOS-GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino

Director

ANDRÉS FRANCO HERRERA

Biólogo Marino

Ph.D. Oceanografía

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Asesor

JAIRO MEDINA

Biólogo Marino

M.Sc. Biología Marina

Universidad Nacional de Colombia

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

SANTA MARTA, D.T.C.H.

2007

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Santa Marta D.T.C.H., 2007.

*A mis padres Pedro Pablo Campos Martínez y Beatriz González Ávila por tanta cosas que me han dado (así sean buenas o malas).*

*A mi Familia: Abuelos, Tíos, Primos y demás allegados que son como mi familia, que no tiene ni la más remota idea de lo que hago pero siempre muestran interés así sea la 10 vez que les echo el cuento.*

*A Kelly Gómez Campo por aguantarme, cuidarme y darme mucho amor en estos últimos años..... Quizás más del que merezco.*

*Y como no acordarme de Sally Gwial.... que me sacó la piedra muchas veces pero verla a los ojos y jugar con ella me distraía en las tardes de trabajo.*

*"We cannot cause the wind to blow the way we want it to, but we can so adjust our sail that they will take us where we want to go" S/V logs*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS) por el apoyo financiero (proyecto código 116109 - 16817).

De gran manera al Instituto de Estudios Caribeños de la Universidad Nacional de Colombia, Sede San Andrés Islas por su colaboración tanto técnica como económica, a la directora del proyecto Adriana Santos Martínez por la oportunidad de vincularme y permitirme trabajar en el tema que más me gusta.... El Fitoplancton.

A la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Sede Santa Marta y a su Director Hernando Valencia por los permisos otorgados para la utilización de las instalaciones.

Al Instituto de Investigaciones Marina y Costeras "José Benito Vives de Andrés"- INVEMAR, por la colaboración prestada en cuanto a la infraestructura y equipo técnico facilitado para el procesamiento de las muestras de pigmentos fotosintéticos.

A mi director Andrés Franco Herrera que no solo se limitó a revisar este documento sino que me acompañó en los muestreos iniciales y vivió las condiciones ambientales agrestes a las que fuimos sometidos.

Al investigador Jairo Medina Calderón por toda la colaboración prestada en San Andrés en el laboratorio y Providencia en la base y el intento en el altamar. No solo fue un jefe sino un amigo.

A mi equipo de trabajo en las islas.... Mayra Natalia Muñoz Pinilla y Sandra Patricia Pérez Botero, que me colaboraron con la toma de muestras en altamar, el filtrado de las muestras en la base, la preparada de los sanduchitos para las salidas y a mi gran lanchero Mario Robinson que me enseñó parte de las artes de la navegación. Además de acogernos él y su familia (Nelly, Mary and Matthieu), en su hogar durante el huracán.

Las muestras de pigmentos nunca se habrían procesado sin la colaboración de Claudia Catalina Barón Aguilar.

Y como olvidarme de todas aquellas personas que, con razón o sin ella, evitaron que terminara materias en 5 años.... GRACIAS. Me dieron el tiempo para trabajar

en lo que me gusta, sino fijo salgo y termino haciendo curso. Ahí si como dice el filosofo del fútbol (F.M.) "Perder es ganar un poco".

Por mi estadía en San Andrés, agradezco al Carlis (Carlos Ballesteros) quien me acogió en "the village" la mayor parte y como olvidar al hombre de 4 letras (Heins Bent) quien también me dejó quedar en su casa y por las lecciones básicas de creolle..... y obvio no solo por eso sino por todos los buenos momentos que pasamos en la nevera, la playa, preparando un rondón o/y muestreando flyinfish con Erick, Felo, Omar, Alfredo y Mayra....

Y por último y no menos importante a mis PANGUAS: el negro papito (Juan Pablo Valencia), bob patiño (Federico Maldonado), pillito (Juan Carlos Rubio), cejitas (Lucas Ramírez), el gordo (Carlos Borrero), poncharelo (Gerfried Pinto), patula (Juan Diego Gaitan), eu (Eugenio Argote) y la yiyis (Maria Angélica Martínez). Mucho más que amigos con los que recorrí parte del camino en la U. Jaimico (Jaime Orejarena) con quien compartí mis últimos años en la U y el gusto por la oceanografía. Y claro a las chicas..... Ustedes saben quienes son.

"The sea was, is and will always be our best ally" Island Proverb

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDO	VIII
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	6
3. OBJETIVOS	9
3.1. Objetivo general	9
3.2. Objetivos específicos	9
4. HIPÓTESIS	10
5. METODOLOGÍA	11
5.1. Área de estudio	11
5.2. Fase de campo	14
5.3. Fase de laboratorio	16



5.4. Análisis de información	18
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
6.1. Parámetros fisicoquímicos	22
6.2. Pigmentos fotosintéticos	25
6.3. Composición y abundancia fitoplanctónica	29
6.3.1. Composición fitoplanctónica	29
6.3.2. Abundancia fitoplanctónica	35
6.3.3. Diversidad	41
7. CONCLUSIONES	43
8. RECOMENDACIONES	45
9. BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	56
A. Matriz de datos de temperatura (°C), Salinidad (UPS), pH, Clorofila <i>a</i> (µg/l), Feopigmento <i>a</i> (µg/l) y abundancia total (cel/l) fitoplanctónica en las estaciones analizadas durante el presente estudio, * datos hurtados. N: norte, E: este, O: oeste, S: sur.	57
B. Abundancia fitoplanctónica por géneros (cel/l) en las estaciones analizadas durante el presente estudio. N: norte, E: este, O: oeste, S: sur.	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos reportados por diferentes autores para el área de San Andrés (SA), Providencia (P) y Santa Catalina (SC). En diferentes épocas climáticas seca (S), transición (T) y lluvias (L). Se indican los rangos y el promedio para el presente estudio.	25
Tabla 2. Concentraciones de clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ ) y feopigmento <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ ) por diferentes autores en áreas oceánicas de la cuenca del Caribe, con diferentes métodos de evaluación: espectrofotometría (E), Fluorometría (F) y Cromatografía líquida de alto rendimiento (C). Se indican los rangos para el presente estudio.	27
Tabla 3. Densidad de células fitoplanctónicas (cel/l) reportadas por diferentes autores en áreas de la cuenca del Caribe. Se indican los rangos para el presente estudio.	36
Tabla 4. Abundancias relativas encontradas para cada una de las zonas muestreadas en las aguas superficiales alrededor de P y SC.	38
Tabla 5. Diversidad ( $H'$ ) y Uniformidad ( $J'$ ) calculadas para las diferentes zonas de muestreo y en general para el área de P y SC	42

## LISTA DE FIGURAS

- Figura. 1. Ubicación espacial de las islas de Providencia y Santa Catalina en el mar Caribe colombiano (Modificado de UN, 2004). 11
- Figura. 2. Ubicación detallada de las islas de P y SC y el complejo arrecifal que las rodea (Modificado de SIG-UN, 2001). 12
- Figura. 3. Ubicación espacial de las estaciones a muestrear en los alrededores de la Islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n), este (e), sur (s) y oeste (o). El número indica la estación (Modificado de SIG UN, 2003). 15
- Figura 4. Valores promedio de temperatura del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general. 22
- Figura 5. Valores promedio de salinidad del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general. 23
- Figura 6. Valores promedio de pH del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general. 24

Figura 7. Concentraciones promedio de clorofila <i>a</i> del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.	26
Figura 8. Análisis de clasificación de distancia euclidiana para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC, usando UPGMA como técnica de ligamiento. Las letras indican la zona norte (n), este (e), sur (s) y oeste (o). El número indica la estación.	29
Figura 9. Porcentaje relativo de grupos fitoplanctónicos encontrados en el área de P y SC, a partir del total de géneros reportados en cada uno de ellos.	34
Figura 10. Densidad celular promedio para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.	35
Figura. 11. Análisis de similaridad Bray – Curtis para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.	39
Figura. 12. Análisis MDS para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.	40

Figura. 13. Análisis MDS para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Excluyendo las estaciones o2, o4 y o5. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.

41

## RESUMEN

Con el fin de determinar la concentración y distribución del fitoplancton en aguas adyacentes a las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano, durante el periodo climático seco de 2005, se tomaron muestras de agua en 39 estaciones superficiales. Los parámetros fisicoquímicos evaluados variaron durante el muestreo, la temperatura fluctuó entre 25 y 28,5 °C, la salinidad desde 33 hasta 39 y el pH entre 8,54 y 8,90. Las concentraciones de clorofila *a* y feopigmento *a* fueron bajas, la clorofila *a* presentó un promedio para el muestreo de  $0,203 \pm 0,014$  µg/l, mientras que el feopigmento *a* tuvo un valor por debajo de 0,01 µg/l. Se encontró una densidad promedio de  $758,19 \pm 57,72$  cel/l, la cual fue inferior a la reportada en diferentes áreas costeras de Caribe. En todas las zonas, la mayor cantidad de individuos perteneció a la familia Oscillatoriaceae quienes dominaron gracias a sus adaptaciones así como la poca influencia que presentan las Aguas Superficiales del Caribe. En general no se observaron características atípicas en el área durante el presente estudio ya que las variables analizadas se encontraron dentro de los rangos característicos para aguas oligotróficas.

*PALABRAS CLAVES:* Clorofila *a*, fitoplancton, Islas de Providencia y Santa Catalina, Oscillatoriaceae, oligotrófico.

## ABSTRACT

With the purpose of determining the phytoplankton concentration and distribution in adjacent waters off Providence and Santa Catalina islands, Colombian Caribbean at the dry season 2005, 39 surface water samples were taken. Physic and chemical parameters oscillated around the islands, temperature fluctuated between 25 to 28,5 °C, salinity ranged from 33 until 39 PSU and pH between 8,54 to 8,90. Photosynthetic pigments were low in the sampling period, an average of  $0,203 \pm 0,014 \mu\text{g/l}$  and  $<0,01 \mu\text{g/l}$  was registered by chlorophyll *a* and phaeopigment *a*, respectively. A mean phytoplankton density of  $758,19 \pm 57,72 \text{ cell/l}$  was calculated for the community, an inferior value compared with different Caribbean coastal areas. In the whole area of Providence and Santa Catalina islands, individuals from Oscillatoriaceae family registered the major abundance, due to adaptations and the low influence of the Caribbean Surface Waters (CSW). Atypical characteristics were not identified in this research, the variables studied showed normal behaviors considering values for oligotrophic waters.

*KEY WORDS:* Chlorophyll *a*, Phytoplankton, Providence and Santa Catalina islands, Oscillatoriaceae, Oligotrophic.



## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia presenta una gran variedad de ecosistemas, los cuales albergan una amplia biodiversidad de especies no solo en ambientes terrestres, sino marinos (Márquez, 1986). Con el estudio del medio marino se mejora su entendimiento, con ayuda de variables físicas, químicas y/o biológicas; por ende se incrementa también el aprovechamiento de los recursos que se traduce en divisas para los grupos que dependen de actividades pesqueras.

Los organismos que conforman la comunidad fitoplanctónica son los principales productores primarios del medio marino, de los cuales dependen los niveles tróficos superiores para su sostenimiento; esta característica es de suma importancia en los ecosistemas en general pero es más tangible en aquellos que no tienen aporte de nutrientes, ya sea por surgencia y/o esorrentía. Este rasgo de dependencia en un ecosistema oligotrófico se observa en el Caribe colombiano en el área de San Andrés (SA), Providencia (P) y Santa Catalina (SC) donde los recursos pesqueros (invertebrados o vertebrados marinos), dependen directa o indirectamente de las comunidades autotróficas.





Los estudios de fitoplancton para el área de SA, P y SC son escasos, ya que en su mayoría se han centrado en niveles tróficos de mayor importancia económica. Autores como Garay *et al.* (1988); Téllez *et al.* (1988); Márquez y Herrera (1986) encontraron una baja productividad primaria en el sistema, destacando al grupo de las cianobacterias como el más abundante, seguido por los dinoflagelados y las diatomeas como los grupos más diversos.

En el área solo la investigación de Garay *et al.* (1988), indica que la abundancia de fitoplancton aumenta según la cercanía a las islas; de ahí que haya un desconocimiento del fitoplancton oceánico y costero de P y SC, donde este último además, se encuentra afectado por las actividades antrópicas como la descarga de aguas servidas que permiten la entrada de nutrientes y crean una zona de posible eutroficación (Arango y Fonseca, 1978), que en un ecosistema oligotrófico trae como consecuencia el aumento de organismos y la exclusión de otros, variando la composición y abundancia del fitoplancton en comparación con el que se encuentra en el mar abierto (Webber y Roff, 1996).

Téllez *et al.* (1988) concluyen que el área del archipiélago de SA y P es un ecosistema pelágico maduro y estable con una baja productividad primaria donde destacan las cianobacterias como base del mantenimiento del sistema, seguidas de



los dinoflagelados y las diatomeas con un bajo porcentaje en la composición de la población pero con gran variedad de formas tamaños y ornamentaciones.

Esta alta diversidad también es descrita por Márquez y Herrera (1986) quienes en cuanto al componente biológico encuentran en el archipiélago de SA, P y SC, 190 especies de 69 géneros fitoplanctónicos destacándose en diversidad las diatomeas con 110 especies y en cantidad la cianofícea colonial del género *Oscillatoria*. En cuanto a parámetros hidrográficos resaltan las variaciones estacionales que influyen en la producción, atribuye dichos cambios a la climatología predominante del área.

La baja productividad primaria del ecosistema característico del archipiélago es debido al escaso aporte de nutrientes por la baja influencia de las aguas superficiales del Caribe (ASC), a causa de lo alejado que se encuentra de los ríos caudalosos (Magdalena, Orinoco y Amazonas) y la poca mezcla entre las capas de la columna agua (Molares *et al.*, 2004), ya que los ríos como el Magdalena y el Atrato aportan el 90% de la descarga total del nitrógeno al Caribe colombiano (Marín *et al.*, 2005). Así mismo, las condiciones de oligotrofia que conllevan a un aumento de la biodiversidad, evitan la competencia entre individuos permitiendo ocupar diferentes nichos (Garay *et al.*, 1988).



Las cianobacterias son consideradas como poco frecuentes en las aguas marinas en comparación con las aguas dulces (Margalef, 1991), pero estas algas son de suma importancia en ecosistemas oligotróficos, en los que el nitrógeno es el limitante. Debido a sus adaptaciones le permiten: protegerse de la gran intensidad lumínica en superficie al mantenerse en ella por medio de vesículas gaseosas (Balech, 1977), sintetizar  $N_2$  y aportarlo al medio como nitrógeno combinado, ya sea por excreción o muerte (Márquez y Herrera, 1986). Los dinoflagelados se caracterizan por tener una forma ovoide o bicóncava con dos surcos donde se alojan dos flagelos que le sirven al individuo en el desplazamiento permitiendo migraciones verticales (Balech, 1977); son llamados "pastos marinos" por su importancia en la productividad primaria (Dawes, 1986), sin embargo, en ecosistemas con bajas concentraciones de nutrientes mantienen una baja tasa reproductiva (Herrera, 1985). Las diatomeas se encuentran divididas en dos grandes grupos que se diferencian por la simetría valvar: las céntricas presentan simetría radial y son de mayor relevancia en este estudio por sus hábitos planctónicos (Balech, 1977) y las penadas que exhiben una simetría bilateral. Este grupo es de suma importancia en el medio marino ya que su aporte a la productividad primaria se estima entre 20 y 25 %, es alimento de alta energía para el zooplancton gracias a los ácidos grasos que usan como fuente de almacenamiento (Dawes, 1986).



En este estudio se evaluaron algunos aspectos estructurales de la comunidad fitoplanctónica en las aguas superficiales adyacentes a las Islas de Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano) durante la época seca (2005), por medio de la identificación de los diferentes géneros presentes y la determinación de la concentración y distribución de la clorofila *a* y feopigmento *a*, con el propósito de establecer las zonas de mayor diversidad y abundancia de dicha comunidad autotrófica, permitiendo en conjunto con otros componentes de la comunidad pelágica como el zooplanctónico, ictioplanctónico, bentónico e íctico, definir la ubicación de nuevos caladeros de pesca que permitan aminorar la presión sobre aquellos tradicionalmente explotados por las comunidades pesqueras de la zona.

El presente trabajo se desarrolló como requisito para optar al título de Biólogo Marino de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y se encuentra enmarcado dentro del proyecto "Revalidación de los caladeros de pesca en las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano" de la Universidad Nacional de Colombia – Sede San Andrés y COLCIENCIAS (proyecto código 116109 - 16817). Igualmente se encuentra incluido en el Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera PNIBM, en el área de caracterización de ecosistemas teniendo una prioridad alta para la ecorregión Archipiélago de San Andrés y Providencia (INVEMAR, 2000).



## 2. MARCO TEÓRICO

Los organismos autótrofos que flotan en el agua formando parte del plancton son denominados fitoplancton, estos individuos son los más abundantes en el océano, así como los de menor talla (Cifuentes *et al.*, 1997b) y aunque su capacidad natatoria es nula o limitada, no significa que no tengan desplazamiento ya que tienen la capacidad de migrar durante el día ocupando diferentes estratos de agua (Villemann, 1996). El fitoplancton constituye la base primordial de producción de materia orgánica y es fundamental en la manutención de niveles tróficos superiores de los ecosistemas pelágicos y bentónicos marinos. Desde el punto de vista sistemático, estos microorganismos integran diversos grupos en tamaños y formas (Bougis, 1967) de los cuales se destacan las diatomeas, los dinoflagelados, los cocolitofóridos y las cianobacterias (Balech, 1977). Los dos primeros son considerados como los principales componentes de la comunidad fitoplanctónica, especialmente en las zonas costeras (Tait, 1987).

Las zonas oceánicas son consideradas oligotróficas debido a que presentan aguas con bajas concentraciones de nutrientes esenciales y por ende una baja productividad (Lalli y Parsons, 1997). Esta condición influye en los individuos,



observándose una baja densidad celular y una disminución de la talla a causa de la baja concentración de compuestos inorgánicos en la columna de agua (Margalef, 1983); así por ejemplo, los bajos niveles de nitrógeno y fósforo, influyen marcadamente en no alcanzar niveles de producción primaria fitoplanctónica altos en estos ambientes (Margalef, 1991), debido a que dichos compuestos son fundamentales en la síntesis de compuestos orgánicos por el proceso fotosintético y al ser limitantes, causan un efecto deletéreo en la formación de nueva materia orgánica autotrófica (Tait, 1987).

En capas superficiales de la columna de agua de este tipo de ambientes tropicales, no solamente los nutrientes juegan un papel fundamental en la estructura de la comunidad fitoplanctónica. Igualmente, la luz influye drásticamente controlando la distribución de los organismos en la columna de agua y haciendo que los mayores valores de productividad sean en los primeros metros (Margalef, 1991). Pero a su vez, la alta intensidad lumínica tiene un efecto fotoinhibidor atribuido a la destrucción de los pigmentos fotosintéticos, de ahí que los individuos generen adaptaciones para protegerse de esta (Balech, 1977).

Conjuntamente, los cambios de temperatura en el agua ejerce acciones directas, en las que la producción aumenta o se reduce al incrementarse o disminuirse la



temperatura, respectivamente (Nielsen, 1975) o indirectas, ya que alteran las propiedades físicas del agua (e.g. densidad, viscosidad y solubilidad de gases), que a la vez influyen sobre los organismos que allí habitan (Tait, 1987).

Pero dada la estabilidad climática del ecosistema tropical, se ha favorecido el desarrollo de especies estenoicas debido al aislamiento, aumentando la biodiversidad en comparación con las áreas subtropicales y templadas (Ramírez, 1999). Así, las condiciones de oligotrofia que se presentan en sistemas oceánicos, conllevan a una gran biodiversidad, ya que esto evita la competencia entre los individuos permitiendo ocupar diferentes nichos (Garay *et al.*, 1988). Entre los grupos presentes comúnmente en las zonas oceánicas del caribe, aparte de las cianobacterias reportadas para SA, P y SC, están los dinoflagelados (Carbonell, 1981) y los cocolitofóridos (Lalli y Parsons, 1997). Téllez (1988) también incluye en este tipo de ecosistemas a las diatomeas y resalta la gran variedad de dinoflagelados en el área de SA, P y SC. Por otro lado, esta misma diversidad plantea un problema que se produce cuando se estima la biomasa por medio de un volumen de fitoplancton debido a que no es muy precisa; de allí la importancia de estimarla por medio de los pigmentos fotosintéticos, utilizando la clorofila *a* (Van den Hoek *et al.*, 1995 En: Tigreros, 1999), que es considerado como un pigmento fundamental que no falta en ningún alga (Balech, 1977).



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar algunos aspectos estructurales de la comunidad fitoplanctónica en las aguas superficiales adyacentes a las Islas de Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano) durante la época seca (2005), como un aporte al conocimiento básico de este sistema oligotrófico y con el propósito de establecer las zonas de mayor diversidad y abundancia de dicha comunidad autotrófica.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar puntualmente el comportamiento físico y químico en las áreas de muestreo, a partir de la temperatura, salinidad y pH.

Evaluar la concentración y distribución de la clorofila *a* y feopigmento *a* alrededor de P y SC, con el fin de encontrar las áreas con mayor productividad potencial.

Identificar los diferentes géneros y/o especies presentes en los alrededores de las Islas de Providencia y Santa Catalina, estableciendo geográficamente cambios en la composición y abundancia de la comunidad.





#### 4. HIPÓTESIS

Como consecuencia de las características oligotróficas del mar adyacente a las Islas de P y SC, la comunidad fitoplanctónica presentará una baja abundancia de individuos y una alta diversidad.

El principal componente fitoplanctónico del área insular de P y SC, serán las cianobacterias del genero *Oscillatoria*, debido a sus estrategias de adaptación.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Área de estudio

Las islas de P y SC hacen parte del departamento Archipiélago de SA, P y SC. Este complejo insular se encuentra ubicado en el mar Caribe occidental entre los paralelos 12° y 16° N y los meridianos 78° y 82° O (figura 1); cubriendo un área terrestre aproximada de 52,5 km<sup>2</sup>; es la división político administrativa más pequeña del país (De los Ríos y Cabrera, 1986).



Figura. 1. Ubicación espacial de las islas de Providencia y Santa Catalina en el mar Caribe colombiano (Modificado de UN, 2004).



Las islas de P y SC se hallan a 480 km de las costas colombianas (Barriga *et al.*, 1969), a 270 km de las costas centroamericanas y aproximadamente a 86 km de la vecina isla de SA (De los Ríos y Cabrera, 1986) y se encuentran rodeadas por un complejo arrecifal que se localiza entre  $13^{\circ} 17' y 13^{\circ} 31' N$  y los  $81^{\circ} 18' y 81^{\circ} 22' W$  (Díaz *et al.*, 2000) en sentido NNE - SSW (figura 2) con un gran desarrollo de las formaciones coralinas (Buitrago, 2004), esta barrera es la segunda más larga del Caribe después de la de Belice (Geister y Díaz, 1997).

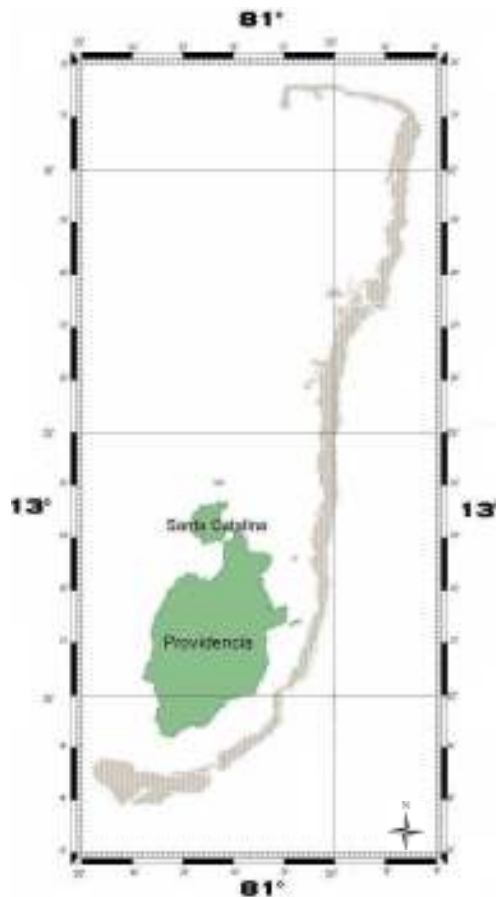


Figura. 2. Ubicación detallada de las islas de P y SC y el complejo arrecifal que las rodea (Modificado de SIG-UN, 2001).



El clima del área está clasificado en los de bajas latitudes - húmedo tropical -, controlados por los vientos Alisios que provienen de los núcleos de alta presión subtropicales (Garay *et al.*, 1988). Los vientos del área provienen del este y noroeste, con una velocidad mínima de 15 km/h durante los meses de agosto a noviembre y máxima de 30 km/h de diciembre a abril, época en la que se presenta la mayor influencia de los vientos Alisios (Geister y Díaz, 1997).

El área presenta una temperatura anual promedio de 27 °C, con un valor máximo de 28 °C entre mayo y agosto, y mínimo de diciembre a febrero cercano a 25 °C (De los Ríos y Cabrera, 1986; IDEAM, 2002). La precipitación tiene un promedio anual de 1636 mm presentando un régimen pluviométrico bimodal, que en la época seca comprendida de enero hasta abril presenta un mínimo de 7 mm mientras la época de lluvias de septiembre a noviembre presenta un pico máximo de 301 mm (IDEAM, 2002; Medina, 2004).

La circulación oceánica de SA, P y SC depende principalmente de las limitaciones geográficas del Paso Chibcha a las aguas que se dirigen al Mar Caimán (Andrade *et al.*, 1996). La corriente del Caribe fluye en dirección este – oeste desviándose hacia el suroeste y hacia el sur, las islas de P y SC se hallan en el área donde se bifurca dicha corriente (Díaz *et al.*, 1996). Sin embargo, la circulación de las masas



de agua en el archipiélago cambia a lo largo del año con variaciones en su rumbo principalmente hacia el noroeste (Garay *et al.*, 1988); estas masas de agua mantienen superficialmente una temperatura entre los 26,8 °C a 30 °C, una salinidad que oscila dentro del rango de 34 a 36,3 UPS y un régimen mareal mixto que oscila entre 40 y 60 cm (Díaz *et al.*, 1996).

## **5.2. Fase de campo**

La ubicación de las estaciones muestreadas fue preestablecida en el marco del Proyecto "Revalidación de los caladeros de pesca en las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano" teniendo en cuenta los caladeros explotados por los pescadores artesanales de las islas. Se dispusieron 13 transectos ubicados en los alrededores de las islas de P y SC sobre las áreas tradicionales de pesca explotadas artesanalmente por las comunidades pesqueras de P y SC, inicialmente sobre las isóbatas de 20, 50, 100, 200, y 300 m. Pero dadas las altas inclinaciones de las pendientes encontradas en el fondo marino del, área se modificó la ubicación inicial con el propósito de evitar la cercanía entre estaciones. La nueva ubicación fue sobre las isóbatas de 30, 100 y 400 m (figura 3), para un total de 39 estaciones muestreadas.

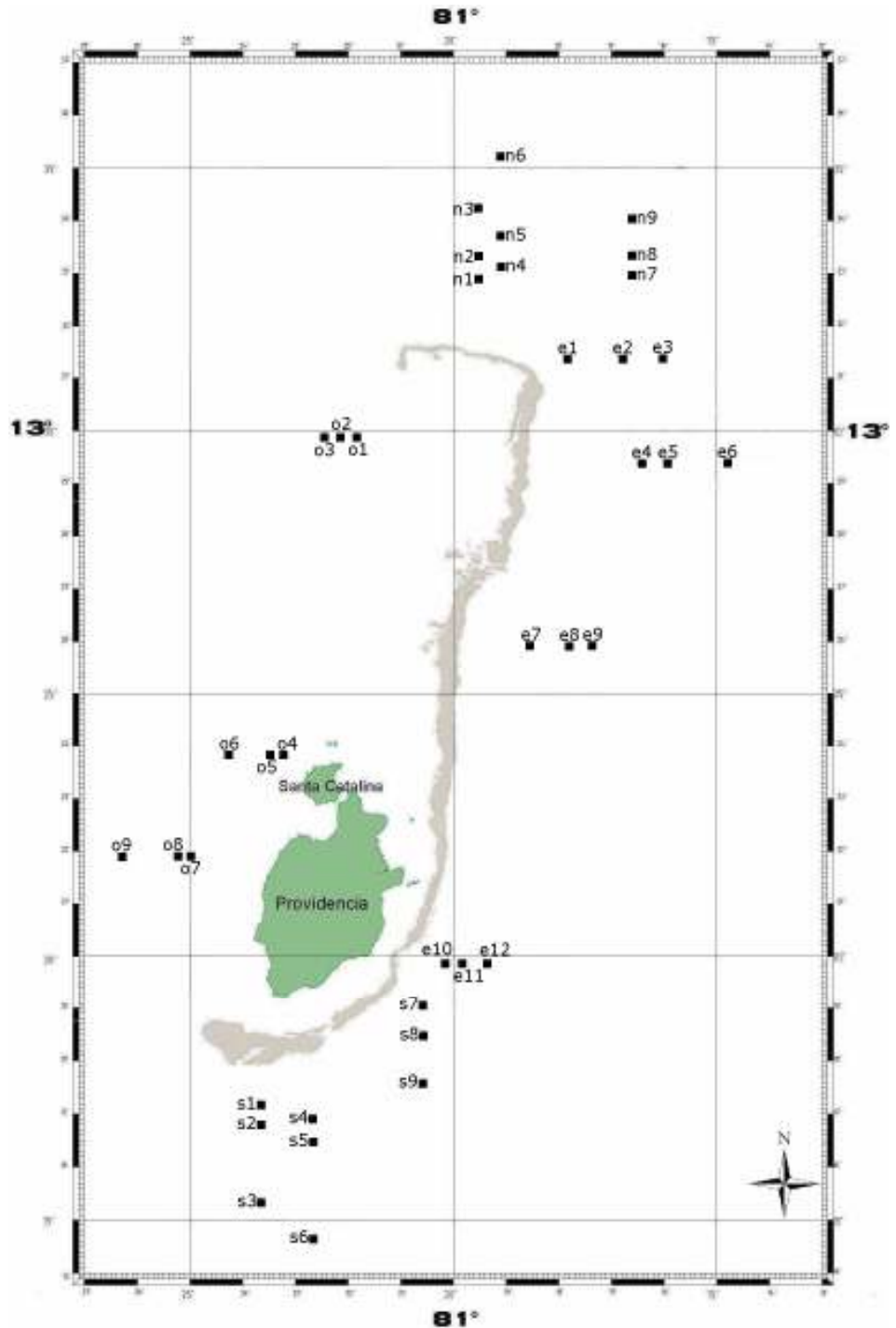


Figura. 3. Ubicación espacial de las estaciones a muestrear en los alrededores de la Islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n), este (e), sur (s) y oeste (o). El número indica la estación (Modificado de SIG-UN, 2001).



Por medio de un Global Positioning System (GPS) Magellan 315 se accedió con precisión de +/- 10 m a cada punto de muestreo, en el que inicialmente se midió la temperatura superficial del agua con ayuda de un termómetro de mercurio convencional de  $\pm 0,5$  °C y la salinidad con un refractómetro Vista de  $\pm 0,5$  UPS. Posteriormente se tomaron muestras de agua superficial con un balde, dos muestras para pigmentos fotosintéticos, cada una de 4 l y una de 250 ml para el análisis de pH; estas muestras se refrigeraron en neveras con hielo hasta su manejo en el laboratorio, para evitar la degradación biológica y los cambios fisicoquímicos. Por último, se tomó una muestra de agua que se almacenó en frascos de 2 l y se fijó con una solución de lugol para posteriores análisis cualitativos y cuantitativos del fitoplancton. Adicionalmente con el fin de ampliar el conocimiento de la composición específica de especies, se hicieron arrastres superficiales con red cónica de fitoplancton con ojo de malla de 50  $\mu\text{m}$ , diámetro de boca de 30 cm y longitud de 1 m, el colector se lavo con agua de mar filtrada y su contenido se almaceno en frascos de 250 ml y fijado con solución de lugol.

### **5.3. Fase de laboratorio**

La determinación del pH se realizó con una sonda WTW pH330/SET-1 de  $\pm 0,01$  de precisión.



Para la biomasa fitoplanctónica, se aplicó el método estándar de extracción con acetona al 90 %, se filtraron 4 l de agua a través de un filtro de fibra de vidrio tipo GF/F humedecido con gotas de  $MgCO_3$  con el fin de evitar la acidificación, posteriormente los filtros se congelaron para posterior análisis con ayuda de un fluorómetro SHIMADZU RF-5301 PC y siguiendo la metodología propuesta por Garay *et al.* (2003).

Para La composición y abundancia fitoplanctónica inicialmente las muestras se sedimentaron para concéntralas, este tratamiento no se realizo a las muestras de red, y posteriormente se evaluaron usando un microscopio óptico Nikon modelo SE con objetivos de 40x y 100x. Para la identificación de individuos se usaron textos de Cupp (1943), Vidal y Carbonell (1977), Vidal (1981), Balech (1988) y Delgado y Fortuño (1991), contando las células a excepción de los individuos del género *Oscillatoria* que se contaron los filamentos. El número de alícuotas mínimo evaluadas en portaobjeto-cubreobjeto, se determinó por medio de curvas de diversidad acumulada empleando el índice de diversidad de Shannon-Wiener.





#### 5.4. Análisis de información

Inicialmente los datos fisicoquímicos se agruparon en una matriz primaria, en la cual, por medio del programa Microsoft® Office Excel 2003 se realizó un análisis exploratorio en el que se calculó la media y el error estándar, para posteriormente generar histogramas comparativos entre zonas alrededor de las islas de P y SC. Complementariamente, también se hallaron los valores mínimos y máximos.

El cálculo de la biomasa fitoplanctónica se realizó aplicando las siguientes expresiones (Parsons *et al.*, 1984 En: Tigreros, 2001):

Para la clorofila  $a$ :

$$\mu\text{g Chl } a / l = \frac{\left\{ Fd * \left[ \frac{\lambda}{(\lambda - 1)} \right] * (Rb - Ra) * \left( \frac{v}{V} \right) \right\}}{10}$$

Para el feopigmento  $a$ :

$$\mu\text{g Feo } a / l = \frac{\left\{ Fd * \left[ \frac{\lambda}{(\lambda - 1)} \right] * [\lambda(Ra) - Rb] * \left( \frac{v}{V} \right) \right\}}{10}$$

Donde: Fd es un factor de amplitud de la rendija.

Rb y Ra unidades de intensidad con la muestras sin y acidificada.

$\lambda$  relación entre Rb/Ra para el equipo.



v volumen de acetona empleado para la extracción (ml).

V volumen de agua filtrada para la determinación (l).

10 factor de corrección para el fluorómetro del INVEMAR.

Para observar las diferencias entre estaciones en relación a los parámetros anteriores, se aplicó un análisis de Distancia Euclidiana estandarizada, con ayuda del programa Primer<sup>®</sup> 5.0 para Windows.

Se calculó el cociente entre la clorofila *a* y el feopigmento *a*, que permitió observar el estado fisiológico del fitoplancton disponible para niveles tróficos superiores, a partir de la ecuación (Margalef, 1991):

$$\text{Chl } a/\text{Feo } a = \frac{[\text{Chl } a]}{[\text{Feo } a]}$$

Donde: [Chl*a*] es la concentración de Clorofila *a*

[Feo*a*] es la concentración de Feopigmento *a*

Inicialmente, se reportó en un listado con la ubicación taxonómica de los géneros y/o especies encontrados, empleando la clasificación de Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (en línea: <http://www.itis.gov>), posterior a esto se insertó la información en una matriz de datos brutos con ayuda del programa Microsoft<sup>®</sup> Excel, en la que inicialmente se calculó la densidad y la abundancia



relativa para observar la dominancia de algún taxón o algunas taxa por estación, a partir de la ecuación (Franco com. per.):

$$D_{cel} = \frac{vmc * celalic}{(va * alic) * Vtm}$$

Donde: D<sub>cel</sub> es la densidad celular.

vmc es el volumen de la muestra concentrada (ml).

celalic es el número total de individuos encontrados.

va es el volumen de la alícuota (ml).

alic es el número de alícuotas observadas.

V<sub>tm</sub> es el volumen total de la muestra (l).

La densidad y la diversidad no se calcularon para las estaciones: este 1, 4, 11 y 12, sur 4 y 7, oeste 1, 7 y 9, debido a la pérdida de la información por hurto.

Para determinar si habían diferencias o no espaciales entre las estaciones se realizó un análisis de clasificación Bray-Curtis aplicando la técnica de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) complementado con un análisis de escalamiento multidimensional (MDS), con ayuda del programa Primer<sup>®</sup> 5.0 para Windows.



Para calcular la diversidad se empleó el índice de diversidad de Shannon y Wiener ( $H'$ ) (Ramírez, 1999):

$$H' = -\sum \left[ \left( \frac{n_i}{n} \right) \ln \left( \frac{n_i}{n} \right) \right]$$

Donde:  $H'$  es el índice de diversidad de Shannon-Wiener.

$n_i$  es el número de individuos por género ó especie en la muestra.

$n$  es el número total de individuos en la muestra.

$\ln$  es el logaritmo natural.

Para el cálculo de la uniformidad de Pielou ( $J'$ ) (Ramírez, 1999):

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

Donde:  $J'$  es el índice de uniformidad de Pielou.

$H'$  es la diversidad de Shannon-Wiener.

$H_{\max}$  es la diversidad máxima.

La diversidad y la uniformidad se calcularon a partir de morfotipos y de géneros para hacerlo comparable con otros estudios.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Parámetros fisicoquímicos

La temperatura superficial del agua presentó un promedio para la época de  $27,84 \pm 0,10$  °C, el área con la mayor temperatura promedio fue la zona este con  $28,13 \pm 0,04$  °C y la menor se encontró en la zona sur con  $27,51 \pm 0,17$  °C (figura 4). La temperatura reportada durante la presente investigación osciló entre los 25,0 y los 28,5 °C, lo que concuerda con la temperatura promedio para el área durante la primera parte del año (tabla 1), en donde la influencia de los vientos Alisios es mayor (Geister y Díaz, 1997) permitiendo la mezcla de la capa superficial, lo que disminuye la temperatura del agua.

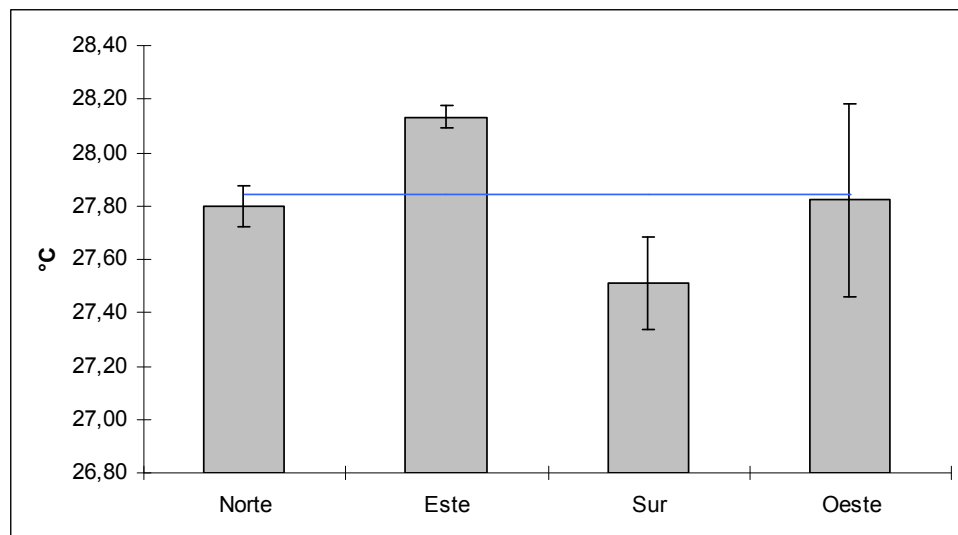


Figura 4. Valores promedio de temperatura del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.



La salinidad promedio para la totalidad del área de estudio fue de  $35,05 \pm 0,18$  UPS con un mínimo de 33 UPS y un máximo de 39 UPS; la mayor salinidad promedio por área se encontró en la zona oeste  $35,78 \pm 0,36$  UPS, mientras la menor se halló en las estaciones de la zona este  $34,67 \pm 0,14$  UPS (figura 5); los altos valores de salinidad durante la época seca (tabla 1), son producto de los pocos aportes de origen continental, la baja pluviosidad (Márquez, 1986) y la evaporación que ocurren durante el primer periodo el año. Adicionalmente, el pico observado en las estaciones del oeste es debido a un evento conocido localmente como "brisa norte", este viento, al igual que otros desplaza la capa superficial de agua y esta es reemplazada por una capa más profunda de mayor salinidad (Müller, 1979).

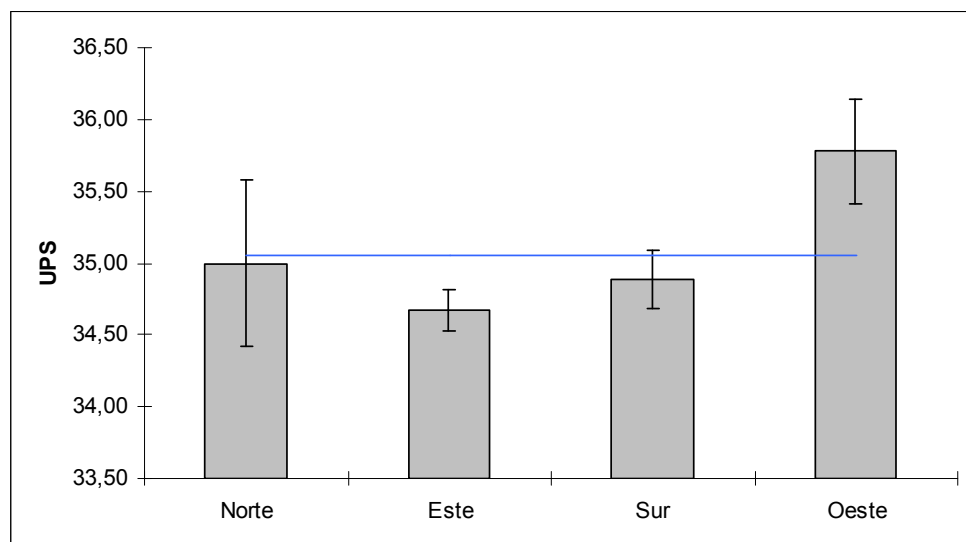


Figura 5. Valores promedio de salinidad del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.



El pH para la época seca presentó un valor de  $8,74 \pm 0,01$  (figura 6) y fluctuó entre 8,54 – 8,90 (tabla 1). Los valores relativamente altos observados están relacionados con picos de temperatura (Cifuentes *et al.*, 1997a) encontrados en el área, que favorecen una caída en los niveles de  $\text{CO}_2$  en el agua y por ende un favorecimiento en los niveles de pH. Así, los mayores valores promedio se encontraron en la estaciones del oeste ( $8,77 \pm 0,02$ ) mientras que los menores se encontraron en las estaciones del sur ( $8,71 \pm 0,03$ ), áreas donde se presentaron los más altos y bajos promedios de temperatura, respectivamente. La poca variación de los promedios ( $< 0,06$ ) demuestra la estabilidad del sistema oceánico, concordante con la información histórica, donde las fluctuaciones de esta variable pueden llegar a ser de hasta 0,6 (Garay y Gutiérrez, 1984).

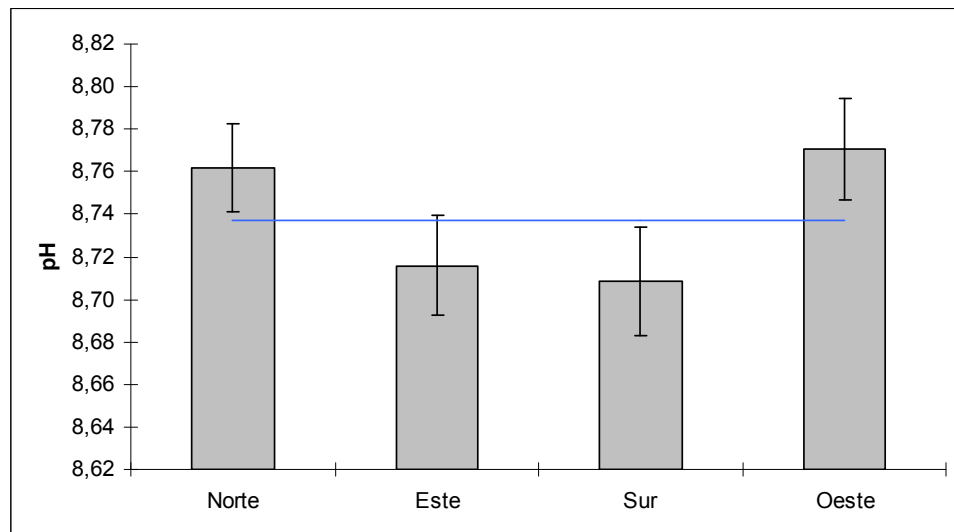


Figura 6. Valores promedio de pH del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.



En síntesis, los valores de temperatura, salinidad y pH encontrados, se ajustan a los reportes históricos del área de estudio de los últimos 20 años (tabla 1), indicando, desde esta óptica una condición estable de la masa de agua superficial de este sistema oceánico.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos reportados por diferentes autores para el área de San Andrés (SA), Providencia (P) y Santa Catalina (SC). En diferentes épocas climáticas seca (S), transición (T) y lluvias (L). Se indican los rangos y el promedio para el presente estudio.

	Región	Época	Temperatura (°C)	Salinidad (UPS)	pH
Garay y Gutiérrez (1984)	SA, P y SC	L			7,60 – 8,50
González (1987)	SA, P y SC	S, T y L	26,85 – 29,45	35,60 – 36,20	
Téllez <i>et al.</i> (1988)	SA, P y SC	T	30,20	34,41	
Elhuyar (1988)	P y SC	T	28,50	36,00	
Garay <i>et al.</i> (1988)	SA, P y SC	S, T y L	26,90 – 29,10	35,60 – 36,25	
Molares <i>et al.</i> (2004)	SA, P y SC	T	27,20 – 28,40		
<b>Presente estudio</b>	<b>P y SC</b>	<b>S</b>	<b>25,00 – 28,50</b> <b>27,84 ± 0,10</b>	<b>33,00 – 39,00</b> <b>35,05 ± 0,18</b>	<b>8,54 – 8,90</b> <b>8,74 ± 0,01</b>

## 6.2. Pigmentos fotosintéticos

La clorofila *a* durante el período de muestreo, presentó un promedio de  $0,203 \pm 0,014$   $\mu\text{g/l}$  (figura 7), fluctuando entre  $0,173 \pm 0,041$   $\mu\text{g/l}$  en las estaciones del sur y  $0,280 \pm 0,018$   $\mu\text{g/l}$  en el oeste. Se observó la más baja concentración en la estación este 11 con un valor de  $0,057$   $\mu\text{g/l}$  y las más elevadas en la sur 5 con concentración de  $0,849$   $\mu\text{g/l}$ .



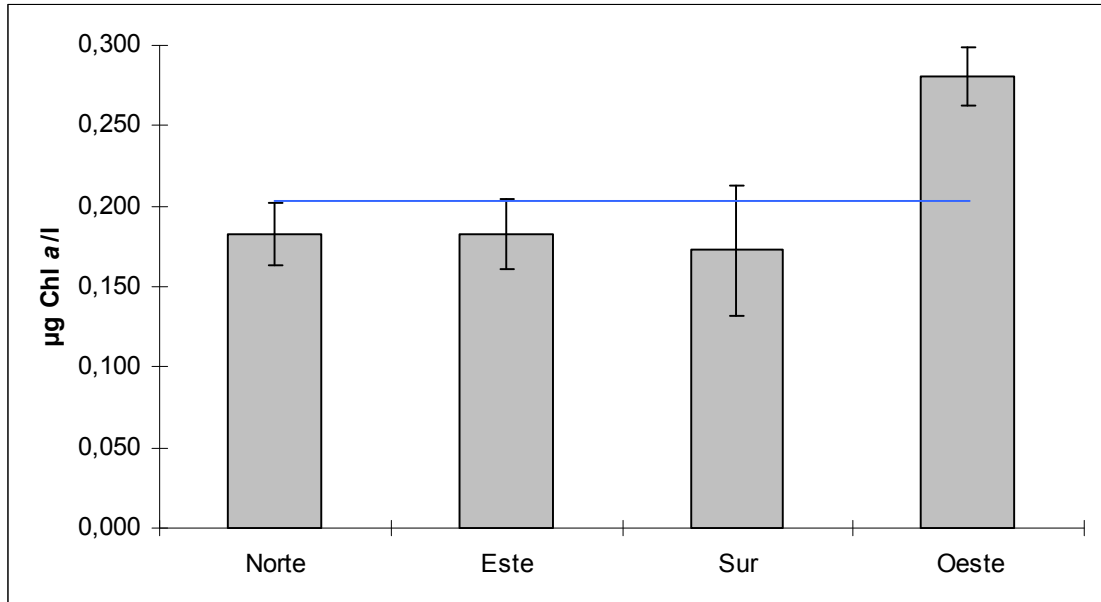


Figura 7. Concentraciones promedio de clorofila *a* del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.

Los niveles de feopigmento *a* reportados para las áreas evaluadas siempre se encontraron por debajo del mínimo de detección del fluorómetro ( $< 0,01 \mu\text{g/l}$ ). De esta forma, el cociente entre la clorofila *a*: feopigmento *a* (*Chl a/Feoa*), registró valores muy superiores a uno, durante la época seca.

El rango de concentración de clorofila *a* de  $0,057 - 0,849 \mu\text{g/l}$  encontrado durante el primer periodo climático del año, está dentro del rango de concentración reportados por otros autores con método fluorométrico, este método es diez veces mas sensible que el espectrofotométrico (Franco,2001), para el gran Caribe (tabla 2), que fluctúan entre  $0,01 - 2,640 \mu\text{g Chl a/l}$ , mostrando así el comportamiento



típico de aguas oceánicas oligotróficas debida a la poca influencia de las Aguas Superficiales del Caribe (ASC) como lo afirman Garay *et al.* (1988), Téllez *et al.* (1988) y Márquez y Herrera (1986); el pico observado en las estaciones de oeste es a causa igualmente del ya mencionado fenómeno ambiental brisa norte, pero este evento es conocido generalmente como “*Easterly Waves*” que afectan el grado de turbulencia del agua afectando la productividad primaria (Garay *et al.*, 1988); esta alteración de la capa superficial permite la resuspensión de nutrientes que son aprovechados rápidamente por los individuos, y dado que este es un evento atípico no se puede considerar como una zona en la cual la productividad potencial sea mayor a la de las otras zonas.

Tabla 2. Concentraciones de clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) y feopigmento *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) por diferentes autores en áreas oceánicas de la cuenca del Caribe, con diferentes métodos de evaluación: espectrofotometría (E), Fluorometría (F) y Cromatografía líquida de alto rendimiento (C). Se indican los rangos para el presente estudio.

	<b>Región</b>	<b>Método</b>	<b>Clorofila <i>a</i></b>	<b>Feopigmento <i>a</i></b>
Hargraves <i>et al.</i> (1970)	Antillas menores	E	0,050 – 0,270	
Harold <i>et al.</i> (1982)	Caribe	F	0,053 – 0,154	0,052 – 0,109
Martinet y Saint (1982)	Martinica	F	0,020 – 0,580	
Bianchi <i>et al.</i> (1995)	Golfo de México	F y C	0,010 – 2,850	0,01 – 0,65
Webber y Roff (1996)	SE Jamaica	F	0,700 – 2,640	
Bode <i>et al.</i> (2001)	Canarias	E	0,040	
Orejarena <i>et al.</i> (2004)	Bancos de Salmedina	E	0,060 – 1,200	
<b>Presente estudio</b>	<b>P y SC</b>	<b>F</b>	<b>0,057 – 0,849</b>	<b>&lt; 0,01</b>



Las bajas concentraciones de feopigmento *a* en las diferentes áreas evaluados, con relación a las concentraciones de clorofila *a*, indican una comunidad fitoplanctónica joven y en buen estado fisiológico, típica respuesta de comunidades autotróficas que habitan en masas de agua con una baja disponibilidad de nutrientes en el sistema (Margalef, 1991).

El análisis de Distancia Euclidiana mostró que no se presentaron diferencias entre las estaciones evaluadas. Aunque se observaron algunas variaciones espaciales en la concentración de clorofila *a*, la estabilidad del sistema en sus otros indicadores (e.g. temperatura, salinidad, pH y feopigmento *a*) no permite detectar diferencias entre las estaciones. Dicha homogeneidad espacial, está determinada en parte por la misma agua de mar, ya que su propia capacidad calórica no permite observar grandes variaciones a nivel espacial en la temperatura (Andrade *et al.*, 1996), y su alta capacidad de tampón (Tait, 1987) evita cambios bruscos en el pH. También hay que tener presente la corriente que baña las islas, puesto que esta no transporta las Aguas Superficiales del Caribe, aguas que traen nutrientes de los grandes ríos de Suramérica (Molares *et al.*, 2004) y que eventualmente podrían favorecer algún tipo de diferenciación espacial alrededor de la islas.

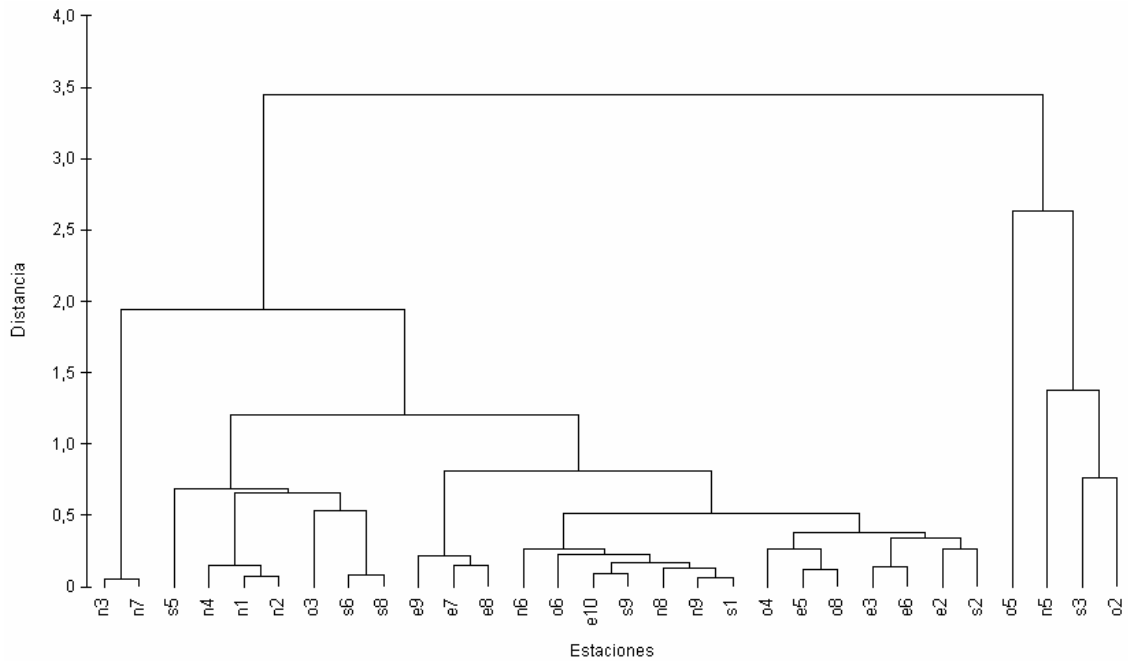


Fig 8. Análisis de clasificación de distancia euclidiana para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC, usando UPGMA como técnica de ligamiento. Las letras indican la zona norte (n), este (e), sur (s) y oeste (o). El número indica la estación.

### 6.3. Composición y abundancia fitoplanctónica

#### 6.3.1. Composición fitoplanctónica

Se encontraron 46 géneros pertenecientes a 34 familias. La clasificación taxonómica de los género-taxa reportados se lista a continuación:

Reino Monera  
 Phylum Cyanophycota  
 Clase Cyanophyceae  
 Orden Nostocales  
 Familia Oscillatoriaceae  
 Género *Oscillatoria*



- Reino Plantae  
  División Bacillariophyta  
    Clase Bacillariophyceae  
      Orden Bacillariales  
        Familia Bacillariaceae  
          Géneros *Cylindrotheca*  
              *Nitzschia*
- Orden Centrales  
        Familia Eupodiscaceae  
          Género *Odontella*
- Orden Naviculales  
        Familia Naviculaceae  
          Género *Navicula*
- Familia Pleurosigmales  
          Género *Gyrosigma*
- Orden Surirellales  
        Familia Entomoneidaceae  
          Género *Entomoneis*
- Familia Surirellaceae  
          Géneros *Campylodiscus*  
              *Surirella*
- Orden Thalassiophysales  
        Familia Catenulaceae  
          Género *Amphora*
- Clase Coscinodiscophyceae  
      Orden Biddulphiales  
        Familia Biddulphiaceae  
          Géneros *Biddulphia*  
              *Isthmia*  
              *Terpsinoe*



Orden Chaetocerotales  
Familia Chaetocerotaceae  
Géneros *Bacteriastrum*  
*Chaetoceros*

Orden Corethrales  
Familia Corethraceae  
Género *Corethron*

Orden Coscinodiscales  
Familia Coscinodiscaceae  
Género *Coscinodiscus*

Orden Hemiaulales  
Familia Hemiaulaceae  
Género *Hemiaulus*

Orden Rhizosoleniales  
Familia Rhizosoleniaceae  
Géneros *Guinardia*  
*Rhizosolenia*

Orden Thalassiosirales  
Familia Skeletonemaceae  
Género *Skeletonema*

Orden Triceratiales  
Familia Triceratiaceae  
Género *Triceratium*

Clase Fragilariophyceae  
Orden Climacospheniales  
Familia Climacospheniaceae  
Género *Climacosphenia*

Orden Fragilariales  
Familia Fragilariaceae  
Géneros *Asterionella*  
*Podocystis*  
*Synedra*



Orden Licmophorales  
Familia Licmophoraceae  
Género *Licmophora*

Orden Rhabdonematales  
Familia Rhabdonemataceae  
Género *Rhabdonema*

Orden Thalassionematales  
Familia Thalassionemataceae  
Géneros *Thalassionema*  
*Thalassiothrix*

Division Chrysophyta  
Clase Chrysophyceae  
Orden Dictyochales  
Familia Dictyochaceae  
Género *Dictyochoa*

División Haptophyta  
Clase Prymnesiophyceae  
Orden Coccoisphaerales  
Familia Coccolithaceae  
Género *Coccolithus*

División Pyrrophytophyta  
Clase Dinophyceae  
Orden Dinophysiales  
Familia Amphisoleniaceae  
Género *Amphisolenia*  
  
Familia Dinophysiaceae  
Géneros *Dinophysis*  
*Ornithocercus*

Orden Gonyaulacales  
Familia Calciodinellaceae  
Género *Scrippsiella*

Familia Ceratiaceae  
Género *Ceratium*



Familia Gonyaulacaceae  
Género *Gonyaulax*

Familia Oxytoxaceae  
Género *Oxytoxum*

Familia Pyrocystaceae  
Género *Pyrocystis*

Familia Pyrophacaceae  
Género *Pyrophacus*

Orden Peridinales  
Familia Protoperidinaceae  
Género *Protoperidinium*

Familia Podolampaceae  
Género *Podolampas*

Orden Phytodinales  
Familia Phytodiniaceae  
Género *Diplodinium*

Orden Prorocentrales  
Familia Prorocentraceae  
Género *Prorocentrum*

Entre los grupos encontrados, la mayor cantidad de géneros fue aportada por los dinoflagelados, seguidos por las diatomeas pennadas y centrales, mientras que los silicoflagelados tuvieron la menor representación (figura 9). Esta riqueza de géneros de los dinoflagelados sobre las diatomeas (centrales y penadas), responde principalmente a las condiciones oligotróficas de la zona, en donde la limitación de nutrientes hace que los individuos se adapten en diferentes formas, y en el caso





de los dinoflagelados la presencia de flagelos le permite desplazamientos o migraciones, para ocupar distintos nichos y así evitar la competencia, además de la capacidad trófica de muchos dinoflagelados a ser heterótrofos facultativos (Garay *et al.*, 1988; Margalef, 1983). Esta condición ambiental de las aguas que rodean a P y SC, permite la aparición igualmente de las cianobacterias, acá representadas por el género *Oscillatoria*, ya que sus adaptaciones le permiten en sectores donde el nitrógeno es limitante, tomar este compuesto en forma de  $N_{2(g)}$  (Berman *et al.*, 1997), de la atmósfera donde no es limitante.

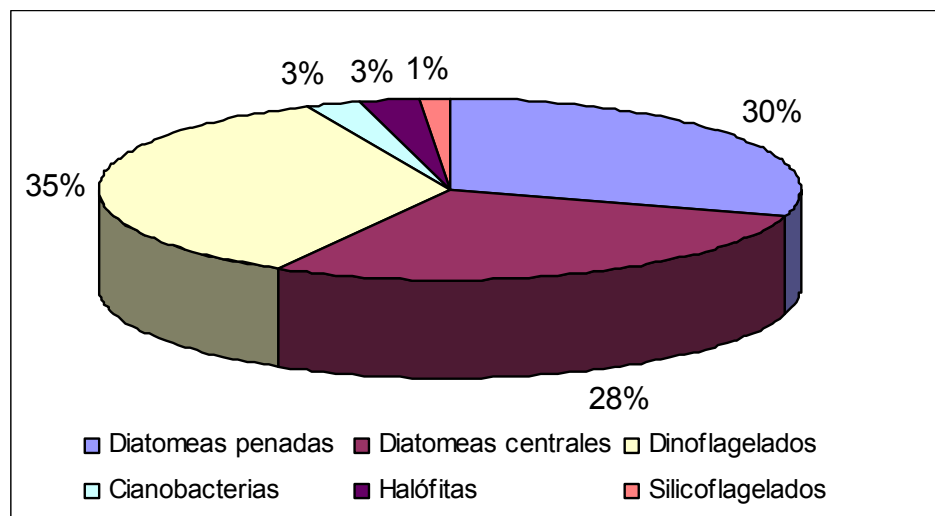


Fig 9. Porcentaje relativo de grupos fitoplanctónicos encontrados en el área de P y SC, a partir del total de géneros reportados en cada uno de ellos.



### 6.3.2 Abundancia fitoplanctónica

El promedio para el área de P y SC encontrado por el presente estudio fue de  $758,19 \pm 57,72$  células por litro (cel/l), la zona con mayor densidad total promedio fue la oeste, con  $1008,97 \pm 155,26$  cel/l y la menor densidad total promedio se presentó en la zona este con  $556,63 \pm 54,97$  cel/l, formándose dos grupos en los que las zonas norte y oeste presentaron las mayores densidades y las restantes, este y sur las menores (figura 10). Evidenciando los efectos de la brisa norte en la zona norte y oeste.

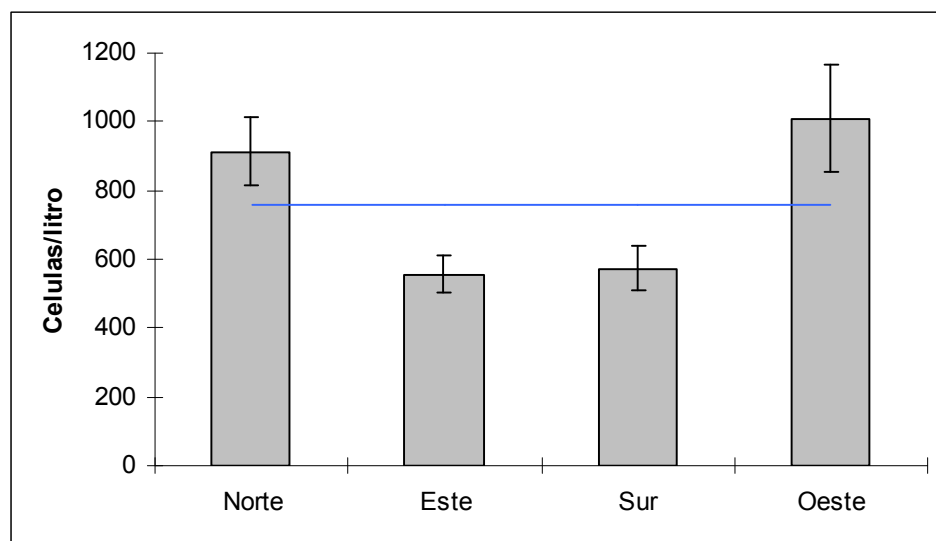


Figura 10. Densidad celular promedio para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar), la línea horizontal indica al promedio general.

Este rango de densidad, se encuentra por debajo de aquellos reportados para zonas costeras de la cuenca del Caribe (tabla 3), e incluso a las densidades registradas por Herrera (1985) para la misma área de estudio. Esta condición en P



y SC, es el resultado de las bajas concentraciones de nutrientes que llegan al área, por lo alejado de los ríos caudalosos (Molares *et al.*, 2004), cuyo impacto en el aporte de compuestos inorgánicos sobre la zona es bajo o nulo por acción de la corriente del Caribe (Garay *et al.*, 1988), además la baja turbulencia y la alta estratificación en el área (Téllez *et al.*, 1988), no favorecen que haya una disponibilidad permanente de nutrientes en las capas superiores de la columna de agua.

Tabla 3. Densidad de células fitoplanctónicas (cel/l) reportadas por diferentes autores en áreas de la cuenca del Caribe. Se indican los rangos para el presente estudio.

	<b>Región</b>	<b>Tipo de agua</b>	<b>(cel/l)</b>
López y Vinogradova (1974)	Golfo de Batabanó	Oceánica	< 1.000 – 4.560
Herrera (1985)	SA, P y SC	Oceánica	4.000 – 12.000
Torres <i>et al.</i> (1993)	Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT)	Costera	3.763 – 292.578
De la Hoz (1995)	Bahía de el Rodadero	Costera	249.366 – 484.450
Mogollón (1996)	Complejo Pajarales y Salamanca	Laguna costera	11.112.436 – 42.583.254
Ruiz (1999)	Delta Exterior del Magdalena	Laguna costera	9.000.000
<b>Presente estudio</b>	<b>P y SC</b>	Oceánica	<b>325 – 1.428,57</b>

Las mayores abundancias relativas siempre pertenecieron a la familia Oscillatoriaceae, en las estaciones del norte representó el 66,38 %, del este el 57,37 % y en las del sur el 52,78 %, mientras que en las estaciones de la zona oeste fue del 21,84 % (tabla 4). Esta alta representatividad de este grupo ya ha sido reportada históricamente por Téllez (1985) y Herrera (1985) quienes también



encontraron una alta densidad relativa de esta familia en las aguas superficiales de SA, P y SC, basado en que esta alta abundancia es debida a la adaptaciones que poseen las cianófitas para protegerse de la intensidad lumínica en superficie al mantenerse en ella por medio de vesículas gaseosas (Balech, 1977), sintetizar  $N_2$  y aportarlo al medio como nitrógeno combinado, ya sea por excreción o muerte (Márquez y Herrera, 1986).

La disminución de la abundancia de la familia Oscillatoriaceae y la mayor cantidad de familias en la zona oeste es debido al evento conocido como "brisa norte" que causa una agitación de las aguas rompiendo la estabilidad descrita por Téllez (1988), y homogeniza o redistribuye las comunidades fitoplanctónicas de diferentes rangos de profundidad. También hay que tener en cuenta que esta ruptura de la estabilidad a causa de fenómenos atmosféricos, presenta el enriquecimiento de la capa eufótica (Garay *et al.*, 1988) que es aprovechada por organismos de estrategia R para aumentar su densidad.



Tabla 4. Abundancias relativas por familias encontradas para cada una de las zonas muestreadas en las aguas superficiales alrededor de P y SC.

<b>Familia</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Sur</b>	<b>Oeste</b>
Oscillatoriaceae	65,68	56,89	51,58	19,96
Bacillariaceae	8,96	6,97	1,71	3,92
Eupodisceae		0,32	0,71	1,22
Naviculaceae	1,23	1,59	1,69	6,96
Pleurosigmataceae	2,28	2,85	3,39	0,71
Entomoneidaceae	0,17		4,27	0,80
Surirellaceae			1,90	4,37
Catenulaceae			1,34	1,57
Biddulphiaceae	2,46	4,75	5,97	9,10
Chaetocerotaceae	0,52	3,54	3,10	4,98
Corethraceae	0,15	0,28		
Coscinodisceae	1,17	2,52	2,64	2,16
Hemiaulaceae	0,55	0,32	2,13	1,73
Rhizosoleniaceae	2,02	0,89	2,50	3,89
Skeletonemaceae				0,80
Triceratiaceae			4,06	1,98
Climacospheniaceae	0,41	6,88	1,44	1,06
Fragilariaceae			0,31	4,76
Licmophoraceae		2,45	2,17	2,64
Thalassionemataceae	0,42	1,96	0,36	0,24
Dictyochaceae	0,15	0,32		
Coccolithaceae	9,29	1,57	3,98	10,85
Amphisoleniaceae			1,21	0,71
Dinophysiaceae	0,58	0,65	0,85	0,24
Calciodinellaceae	0,41	0,50	0,31	3,03
Ceratiaceae	1,18	2,18	1,30	2,34
Gonyaulacaceae			1,07	
Oxytoxaceae	0,12			
Pyrocystaceae	1,06	0,84		6,84
Pyrophacaceae		0,28		0,47
Protoperidinaceae	0,30	0,32		1,04
Podolampaceae	0,65	0,57		1,08
Phytodiniaceae				0,24



El análisis de similitud Bray – Curtis refleja inicialmente una comunidad fitoplanctónica similar en la mayoría de estaciones, ya que el valor de ligamiento del 60%, se formaron 5 grupos que abarcan 24 de las 30 estaciones evaluadas (figura 11).

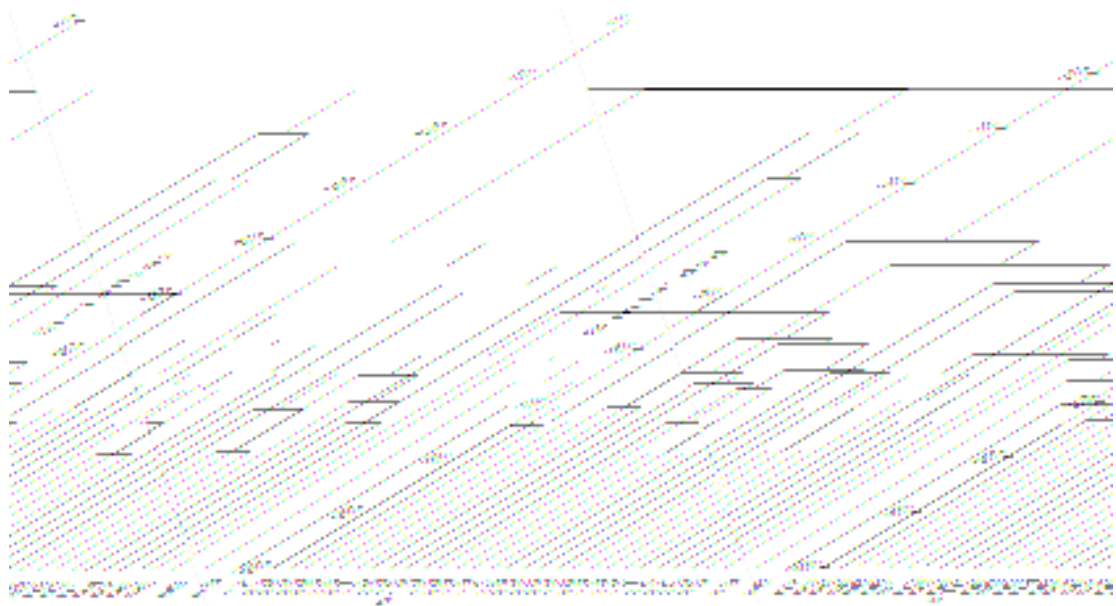


Fig. 11. Análisis de similitud Bray – Curtis para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.

Similar resultado se observó con el análisis MDS (figura 12) en donde hay una separación evidente de las estaciones: o2, o4 y o5. Las diferencias entre estaciones, especialmente a aquellas de la zona oeste se debe principalmente a que en esta zona se presentan la mayor dinámica medioambiental (e.g. vientos, fuerte oleaje), debido a eventos meteorológicos que rompen la estabilidad



oceanográfica y genera cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica (Téllez, 1988), ya discutidos anteriormente.

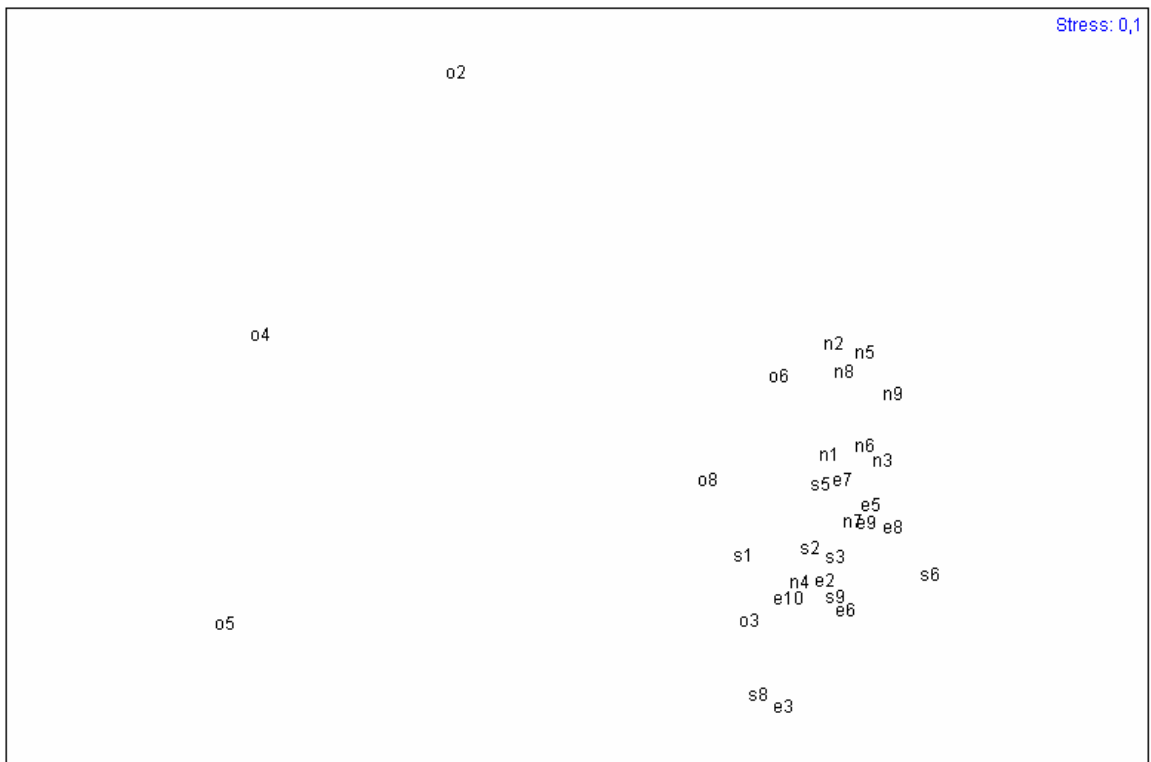


Fig. 12. Análisis MDS para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.

La homogeneidad encontrada en las demás estaciones analizadas está en contraposición a lo planteado por Téllez (1985) y Herrera (1985), quienes sugieren una heterogeneidad espacial en la distribución, composición y abundancia del fitoplancton en el área de SA, P y SC, influenciada por la topografía y las condiciones atmosféricas.



Esta homogeneidad en el análisis es a causa del enmascaramiento que ejercen las estaciones o2, o4 y o5 sobre las otras estaciones, y que al ser retiradas del análisis MDS (figura 13). Pone en evidencia la heterogeneidad al no formarse asociaciones de estaciones de una misma zona.

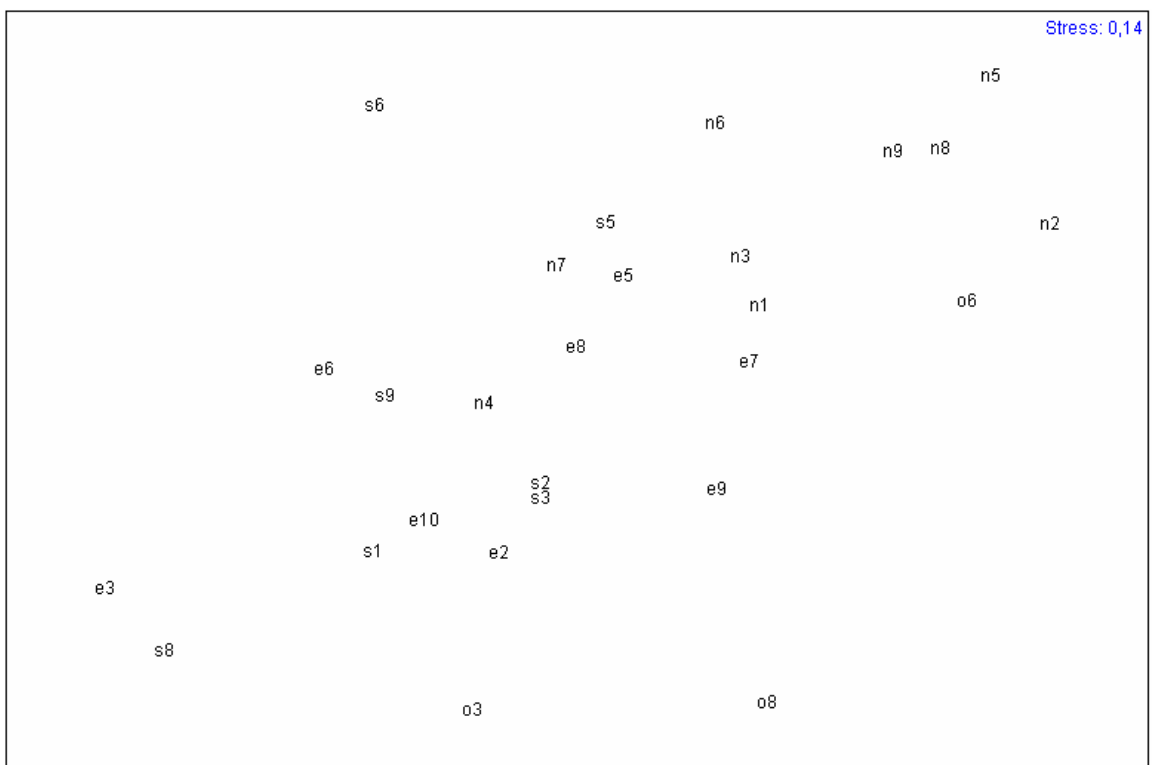


Fig. 13. Análisis MDS para todas las estaciones muestreadas en las islas de P y SC. Excluyendo las estaciones o2, o4 y o5. Las letras indican la zona norte (n) este (e) sur (s) y oeste (o) el número indica la estación.

### 6.3.3. Diversidad

Los cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica, discutidos anteriormente, se evidencian también en el cálculo de la diversidad. Donde la zona





que presento la mayor valor fue la oeste 3,3 y la uniformidad de 0,82 evidenciando baja dominancia y con tendencia al equilibrio (Ferreira y Jégu, 1988), el valor de la diversidad se acerca al propuesto por Margalef (1991) para zonas oceánicas donde no hay proliferación de una especie (3,5 – 4,5) mientras que las otras zonas presentaron valores inferiores (tabla 5) debido a la dominancia que presento la familia Oscillatoriaceae, esta dominancia también la evidencia Herrera (1985) ya que la diversidad fluctuó entre 0,95 – 2,81 para el área de SA, P y SC.

Tabla 5. Diversidad ( $H'$ ) y Uniformidad ( $J'$ ) calculadas para las diferentes zonas de muestreo y en general para el área de P y SC

	A partir de morfotipos		A partir de géneros	
	$H'$	$J'$	$H'$	$J'$
Norte	1,66	0,46	1,51	0,46
Este	2,05	0,56	1,92	0,58
Sur	2,25	0,62	2,13	0,66
Oeste	3,30	0,83	3,01	0,85
General	2,55	0,60	2,33	0,62

La diversidad general calculada para P y SC se encontró dentro del rango calculado por Margalef (1980) para las zonas oceánicas 2,4 – 2,5 evidenciando un comportamiento típico y que comparado con una zona costera del PNNT considerada oligotrófica (Tigreros, 2001), es como es de esperarse superior ya que esta la diversidad es 1,05 mientras que en el presente estudio llego hasta 2,33.



## 7. CONCLUSIONES

Las aguas superficiales alrededor de las islas de Providencia y Santa Catalina, reflejan una alta homogeneidad en sus atributos oceanográficos, con rangos similares a los registros históricos del área.

La concentración de clorofila *a* en las aguas adyacentes a las islas de P y SC son bajas y típicas de sistemas oligotróficos de la gran cuenca del Caribe. Los bajos niveles de feopigmento *a*, indican una comunidad fitoplanctónica fotosintéticamente activa.

La composición y abundancia fitoplanctónica encontradas en los alrededores de las islas de P y SC es típica de aguas oceánicas con cambios leves en algunas estaciones de la zona Oeste.

La comunidad fitoplanctónica de P y SC está dominada por células del género *Oscillatoria*, lo cual es típico de ecosistemas oligotróficos ya que esta es vital para los flujos de energía hacia otros estratos de la comunidad.



La diversidad en las aguas superficiales de P y SC no es alta debido a la dominancia que exhibe el género *Oscillatoria*.



## 8. RECOMENDACIONES

Dado que la productividad pesquera de la región es importante y está sustentada por un primer eslabón de la red trófica, que es relativamente escaso, sería de importancia evaluar otros aspectos estructurales de la comunidad fitoplanctónica, como el aporte de compuestos bioquímicos (e.g. carbohidratos y proteínas), que son de importancia también para el sostenimiento de niveles tróficos superiores.

Para futuros estudios en el área, será de gran importancia evaluar los nutrientes ya que estos son limitantes en el área y pueden confirmar la presencia o ausencia de las Aguas Superficiales del Caribe en la zona.

En futuros trabajos en la zona, será importante plantear muestreos en una grilla de estaciones y con áreas definidas, que faciliten la aplicación de la geoestadística para tener una mejor aproximación a la distribución en un mapa de los parámetros a evaluar.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE C, GIRALDO L y LONIN S. Nota sobre la circulación de las aguas en el Bajo Alicia y el sector de San Andrés, Bol. Cient. CIOH. No 17. 1996: 27-36 Pág.
- ARANGO H y FONSECA C. Cambios en la biomasa planctónica debido a focos de contaminación en la Bahía de Cartagena, Colombia 1976/77. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Cartagena. Colombia. 1978. 50 Pág.
- BALECH E. Introducción al fitoplancton marino. Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. 1977. 211 Pág.
- BALECH E. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanografía. No 1. Madrid. España. 1988. 310 Pág.
- BARRIGA E, HERNÁNDEZ J, JARAMILLO I, JARAMILLO R, MORA L, PINTO P y RUIZ M. La isla de San Andrés: contribuciones al conocimiento de su ecología, flora, fauna y pesca. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 1969. 152 Pág.
- BERMAN B, GALLON J, RAI A y STAL L. N<sub>2</sub> fixation by non-hererocystous cyanobacteria. FEMS Microbiology Reviews. No 19. 1997: 139-185 Pág.



- BIANCHI T, LAMBERT C y BIGGS D. Distribution of chlorophyll *a* and phaeopigments in the northwestern Gulf of Mexico. A comparison between fluorometric and high performance liquid chromatography measurements. Bull. Mar. Sci. Vol 56 No 1. 1995: 25-32 Pág.
- BODE A, BARQUERO S, VARELA M, BRAUN J Y DE ARMAS D. Pelagic bacteria and phytoplankton in oceanic waters near the Canary Islands in summer. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol 209. 2001: 1-17 Pág.
- BOUGIS P. Le plancton. Universitaires de France. París. Francia. 1967. 124 Pág.
- BUITRAGO D. La pesquería en Providencia y Santa Catalina, islas del Caribe occidental: Estrategias de aprovechamiento de los recursos marinos relacionados con el palangre vertical. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Bogotá. Colombia. 2004. 159 Pág.
- CARBONELL M. Fitoplancton de República Dominicana. Bol. Cient. CIOH. No 3. 1981: 11-52 Pág.
- CIFUENTES J, TORRES M Y FRÍAS M. El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Fondo de Cultura Económica. México. México. 1997a. 170 Pág.
- CIFUENTES J, TORRES M Y FRÍAS M. El océano y sus recursos V. Plancton. Fondo de Cultura Económica. México. México. 1997b. 161 Pág.



- CUPP E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scrip. Inst. Ocea. Vol 5 No 1. 1943: 1-238. Pág.
- DAWES C. Botánica marina. Limusa. México D.F. México. 1986. 672 Pág.
- DE LA HOZ M. Estudio de la variación temporal y espacial del fitoplancton de la Bahía de el Rodadero, Santa Marta (Caribe colombiano), para el periodo comprendido entre agosto y octubre de 1995. Seminario de investigación Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 1995. 28 Pág.
- DE LOS RÍOS C y CABRERA W. San Andrés y Providencia. Aspectos Geográficos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia. 1986. 156 Pág.
- DELGADO M y FORTUÑO J. Atlas del fitoplancton del mar Mediterráneo. Sci. Mar. Vol 55 No 1. 1991: 1-133 Pág.
- DÍAZ J, DÍAZ-PULIDO G, GARZÓN-FERREIRA J, GEISTER J, SÁNCHEZ J y ZEA S. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano I. Complejos arrecifales oceánicos. INVEMAR. Santa Marta. Colombia 1996. 83 Pág.
- DÍAZ J, BARRIOS L, CENDALES H, GARZÓN-FERREIRA J, GEISTER J, LOPEZ-VICTORIA M, OSPINA G, PARRA-VELANDIA F, PINZON J, VARGAS-ANGEL B, ZAPATA F Y ZEA S. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR. Santa Marta. Colombia. 2000. 176 Pág.



- ELHUYAR M. Estudio geomorfológico y sedimentológico del complejo carbonatado de las islas de Providencia y Santa Catalina. Bol. Cient. CIOH. No 8. 1988: 35-70 Pág.
- FERREIRA E y JÉGU M. Aspectos ecológicos da ictiofauna do Rio Mucajai, na àrena da ilha Paredao, Roraima, Brasil. Amazoniana. No 3. 1988: 339-352 Pág.
- FRANCO, A. Estrategias de Ingestión y Flujo de Carbono entre el Fitoplancton, Seston Total y *Eucalanus* spp (COPEPODA: CALONOIDEA) en dos Ambientes Oceanográficos del Caribe Central Colombiano. Informe Final Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. Colombia. 2001, 67 Pág.
- GARAY J y GUTIÉRREZ H. Contribución al estudio oceanográfico químico del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Bol. Cient. CIOH. No 5. 1984: 25-59 Pág.
- GARAY J, CASTILLO F, ANDRADE C, AGUILERA J, NIÑO L, DE LA PAVA M, LÓPEZ W y MÁRQUEZ G. Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe colombiano – Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos vecinos. Bol. Cient. CIOH. No 9. 1988: 3-73 Pág.
- GARAY J, RAMÍREZ G, BETANCOURT J, MARÍN B, CADAVID B, PANIZZO L, LESMES L, SÁNCHEZ J, LOZANO H y FRANCO A. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR. Santa Marta. Colombia. 2003. 177 Pág.





- GEISTER J y DIAZ J. A field guide to the oceanic barrier reefs and atolls of the southwestern Caribbean (Archipiélago of San Andrés and Providencia, Colombia) En: Proc. 8th Int. Coral Ref. Sym. I. Berna. Switzerland. 1997: 235-262 Pág.
- GONZÁLEZ E. Oceanografía física y descriptiva del Archipiélago de San Andrés y Providencia con base en el análisis de los cruceros Océano VI al IX. Bol. Cient. CIOH. No 7. 1987: 73-100 Pág.
- HARGRAVES P, BRODY R y BURKHOLDER P. A study of phytoplankton in the lesser antilles region. Bull. Mar. Sci. Vol 20 No 2. 1970: 331-349 Pág.
- HERRERA M. Estudios en la abundancia del fitoplancton y su distribución geográfica durante el crucero Océano VII, Área I, Archipiélago de San Andrés y Providencia. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá. Colombia. 1985. 153 Pág.
- IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES). Registro de las condiciones atmosféricas por la estación El embrujo, Isla de Providencia, entre 1973 y 2001. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. San Andrés. Colombia. 2002. Base de datos electrónica.
- INVEMAR (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERA "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS). Programa Nacional de Investigación en



- Biodiversidad Marina y Costera PNIBM. Editado por Juan Manuel Díaz Merlano y Diana Isabel Gómez López. INVEMAR, FONADE y MMA. Santa Marta. Colombia. 2000. 83 Pág.
- ITIS (INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM). Base de datos en línea. Acceso: Mayo 2006 en: <http://www.itis.gov>.
- LALLI C y PARSONS T. Biological oceanography and introduction. Butterworth – Heinemann. Oxford. Great Britain. 1997. 314 Pág.
- LÓPEZ L Y VINOGRADOVA L. Distribución del fitoplancton en la plataforma suroccidental de Cuba. Serie Oceanológica. No 24. 1974: 3-17 Pág.
- MARGALEF R. La Biosfera. Entre la termodinámica y el juego. Omega. Barcelona. España. 1980. 236 Pág.
- MARGALEF R. Limnología. Omega. Barcelona. España. 1983. 1010 Pág.
- MARGALEF R. Ecología. Omega. Barcelona. España. 1991. 951 Pág.
- MARÍN B, TROCOSO W, VIVAS L Y GÓMEZ M. Estado del medio ambiente abiótico, la calidad ambiental marina y costera en Colombia (33-68 Pág.) En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2005 INVEMAR. Santa Marta. Colombia. 2005. 360 Pág.
- MÁRQUEZ G. Ecosistemas estratégicos: y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN. Bogotá. Colombia. 1986. 221 Pág.



- MÁRQUEZ G y HERRERA M. Estudio de la biomasa fitoplanctónica y su distribución geográfica durante el crucero Océano área I: Archipiélago levantamiento Providencia en el Caribe colombiano. Informe final Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 1986. 153 Pág.
- HAROLD E, MARSHALL H y SOLDER J. Pelagic Phytoplankton in the Caribbean Sea. Bull. Mar. Sci. Vol 32 No 1. 1982: 354-365 Pág.
- MARTINET J y SAINT C. Primary production of Atlantic waters of Martinique coastal. Carib. J. Sci. Vol 18 No 1-4. 1982: 103-105 Pág.
- MEDINA J. La pesca artesanal en las islas de Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano): distribución espacial y temporal de los recursos capturados con línea de mano. Tesis (Magíster en Biología) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. San Andrés. Colombia. 2004. 112 Pág.
- MOGOLLÓN M. Estructura de la comunidad fitoplanctónica del complejo Pajarales y Salamanca occidental, costa Caribe colombiana. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 1996. 68 Pág.
- MOLARES R, VANEGAS T, BUSTAMANTE J y ANDRADE A. Aspectos oceanográficos de las aguas sobre la Depresión Providencia en mayo de 2004. Bol. Cient. CIOH. No 22. 2004: 11-25 Pág.



- MÜLLER K. Interrelaciones entre la salinidad y la temperatura en la Bahía de Santa Marta. An. Inst. Inv. Mar. – Punta Betín. No 11. 1979: 219-226 Pág.
- NIELSEN S. Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. oceanography series No 13. Elsevier. Amsterdam. Netherlands. 1975. 141 Pág.
- OREJARENA J, DOMÍNGUEZ J, RICAURTE C, MAYO G, ANDRADE A, OSPINA H y CASTRO W. Variaciones de la concentración de la clorofila a y su relación con los parámetros físicos medidos en los Bancos de Salmedina durante 2003 2004, Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH No 22. 2004: 56-63 Pág.
- RAMÍREZ A. Ecología aplicada: Diseño y análisis estadísticos. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá. Colombia. 1999. 325 Pág.
- RUIZ D. Variación cualitativa y cuantitativa del fitoplancton en ciénagas del delta exterior oriental del Río Magdalena y su relación con la reapertura del canal el Clarín. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 1999. 183 Pág.
- SIG-UN (SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – UNIVERSIDAD NACIONAL). Servicio de consulta de mapas. Universidad Nacional de Colombia. 2001.
- TAIT R. Elementos de Ecología Marina. Acribia. Zaragoza. España. 1987. 446 Pág.



- TELLEZ C. Estudios en el fitoplancton coleccionado durante el crucero Océano VI – area I en el Caribe colombiano. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá. Colombia. 1985. 113 Pág.
- TÉLLEZ C, MÁRQUEZ G y CASTILLO F. Fitoplancton y ecología pelágica en el Archipiélago de San Andrés y Providencia: Crucero Océano VI en el Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH No 8. 1988: 3-26 Pág.
- TIGREROS P. Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. Anteproyecto de trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 1999. 47 Pág.
- TIGREROS P. Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 2001. 152 Pág.
- TORRES A, MARTÍNEZ F, DUARTE O Y OROZCO R. Caracterización del fitoplancton para el periodo comprendido entre los meses de agosto – septiembre de 1993 en la Bahía de Gayraca Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Seminario de investigación Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. Colombia. 1993. 38 Pág.



- UN (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA). Revalidación de los caladeros de pesca en la Isla de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. San Andrés. Colombia. 2004. 17 Pág.
- VIDAL A. Diatomeas y dinoflagelados en islas del Rosario (arrecife coralino) y alrededores. Bol. Cient. CIOH. No 3. 1981: 75-133 Pág.
- VIDAL A y CARBONELL M. Diatomeas y dinoflagelados de la Bahía de Cartagena. Trabajo de grado Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Cartagena. Colombia. 1977. 360 Pág.
- VILLEE C. Biología. McGraw-Hill. México. México. 1996. 944 Pág.
- WEBBER D y ROFF J. Influence of Kingston harbor on the phytoplankton community of the nearshore hellshire coast, southeast Jamaica. Bull. Mar. Sci. Vol 59 No 2. 1996: 245-258 Pág



## **ANEXOS**



Anexo A. Matriz de datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Salinidad (UPS), pH, Clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ), Feopigmento *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) y abundancia total (cel/l) fitoplanctónica en las estaciones analizadas durante el presente estudio, \* datos hurtados. N: norte, E: este, O: oeste, S: sur.

Estación	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
<b>Latitud</b>	13,548850	13,551850	13,569867	13,550417	13,556783	13,585033	13,550717	13,553650	13,570367
<b>Longitud</b>	81,325767	81,325950	81,326283	81,319033	81,318717	81,318583	81,277550	81,277267	81,277350
<b>Temperatura</b>	27,50	27,50	28,00	27,50	27,90	27,90	28,00	27,90	28,00
<b>Salinidad</b>	35,00	35,00	33,00	35,00	39,00	35,00	33,00	35,00	35,00
<b>pH</b>	8,80	8,80	8,82	8,79	8,66	8,82	8,80	8,69	8,70
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0,252	0,208	0,115	0,323	0,153	0,154	0,143	0,116	0,145
<b>feopigmento <i>a</i></b>	1,168E-05	1,166E-05	1,165E-05	1,186E-05	1,169E-05	1,168E-05	1,166E-05	1,160E-05	1,182E-05
<b>abundancia total</b>	800,00	1310,00	766,67	571,43	1244,44	860,00	483,33	1137,50	1050,00

Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
<b>Latitud</b>	13,522667	13,522167	13,522300	13,489533	13,489700	13,488917	13,431000	13,431050	13,431167
<b>Longitud</b>	81,302500	81,277367	81,267333	81,274150	81,271017	81,246883	81,310833	81,297983	81,290533
<b>Temperatura</b>	28,20	28,20	28,20	28,20	28,50	28,20	28,00	28,00	28,10
<b>Salinidad</b>	35,00	35,00	35,00	34,00	35,00	35,00	34,00	34,00	34,00
<b>pH</b>	8,78	8,73	8,73	8,54	8,73	8,78	8,70	8,75	8,63
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0,064	0,151	0,322	0,110	0,325	0,388	0,140	0,211	0,145
<b>feopigmento <i>a</i></b>	1,152E-05	1,152E-05	1,174E-05	1,205E-05	1,192E-05	1,182E-05	1,178E-05	1,166E-05	1,186E-05
<b>abundancia total</b>	*	511,11	325,00	*	644,44	400,00	757,14	642,86	712,50





Continuación anexo A...

Estación	E10	E11	E12
<b>Latitud</b>	13,331000	13,331733	13,331633
<b>Longitud</b>	81,335833	81,331983	81,324650
<b>Temperatura</b>	28,00	28,00	28,00
<b>Salinidad</b>	35,00	35,00	35,00
<b>pH</b>	8,65	8,85	8,76
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0,109	0,074	0,153
<b>feopigmento <i>a</i></b>	1,174E-05	1,159E-05	1,182E-05
<b>abundancia total</b>	460,00	*	*

Estación	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
<b>Latitud</b>	13,313850	13,307117	13,294467	13,283683	13,277083	13,264333	13,288667	13,281300	13,271300
<b>Longitud</b>	81,343417	81,343767	81,344300	81,377683	81,377717	81,377500	81,393833	81,394017	81,392650
<b>Temperatura</b>	28,00	27,50	27,00	28,00	27,00	27,00	28,10	27,00	28,00
<b>Salinidad</b>	35,00	34,00	36,00	34,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
<b>pH</b>	8,74	8,63	8,71	8,83	8,80	8,67	8,71	8,72	8,59
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0,154	0,172	0,100	0,161	0,486	0,112	0,135	0,118	0,116
<b>feopigmento <i>a</i></b>	1,177E-05	1,166E-05	1,643E-05	1,169E-05	1,201E-05	1,279E-05	1,174E-05	1,174E-05	1,346E-05
<b>abundancia total</b>	480,00	542,86	544,44	*	814,29	800,00	*	371,43	462,50

Estación	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9
<b>Latitud</b>	13,515030	13,501450	13,501470	13,403650	13,403950	13,403420	13,371430	13,371480	13,370783
<b>Longitud</b>	81,365933	81,366967	81,370650	81,391917	81,393033	81,403800	81,421883	81,423217	81,434150
<b>Temperatura</b>	28,00	28,00	27,90	28,50	25,00	28,00	28,00	28,50	28,50
<b>Salinidad</b>	35,00	38,00	36,00	35,00	37,00	35,00	36,00	35,00	35,00
<b>pH</b>	8,76	8,77	8,63	8,78	8,90	8,71	8,82	8,78	8,80
<b>Clorofila <i>a</i></b>	0,291	0,301	0,316	0,186	0,203	0,248	0,398	0,383	0,199
<b>feopigmento <i>a</i></b>	1,172E-05	1,191E-05	1,182E-05	1,149E-05	1,222E-05	1,153E-05	1,194E-05	1,161E-05	1,153E-05
<b>abundancia total</b>	*	528,57	585,71	1216,67	1428,57	1314,29	*	980,00	*



Anexo B. Abundancia fitoplanctónica por géneros (cel/l) en las estaciones analizadas durante el presente estudio. N: norte, E: este, O: oeste, S: sur.

Genero	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	e2	e3	e5	e6	e7	e8	e9	e10
<i>Oscillatoria</i>	542,9	630,0	511,1	285,7	977,8	520,0	383,3	800,0	750,0	288,9	150,0	400,0	227,3	485,7	371,4	350,0	260,0
<i>Cylindrotheca</i>		190,0	33,3							33,3		11,1		28,6			
<i>Nitzschia</i>	71,4	120,0	33,3	42,9	33,3			112,5	100,0			22,2	27,3		42,9	125,0	20,0
<i>Odontella</i>															14,3		
<i>Navicula</i>	14,3		33,3	28,6					25,0	22,2					28,6		20,0
<i>Gyrosigma</i>				28,6	11,1	60,0	50,0		37,5	44,4	37,5		18,2		14,3	12,5	
<i>Entomoneis</i>				14,3													
<i>Surirella</i>																	
<i>Amphora</i>																	
<i>Biddulphia</i>				22,2						22,2							20,0
<i>Isthmia</i>	57,1	20,0		42,9						22,2	50,0			57,1			40,0
<i>Terpsinoe</i>						60,0											
<i>Bacteriastrium</i>	28,6			14,3						11,1			18,2		28,6	37,5	20,0
<i>Chaetoceros</i>												22,2					20,0
<i>Corethron</i>									12,5							12,5	
<i>Coscinodiscus</i>			11,1			60,0		25,0			12,5	22,2	18,2		14,3	25,0	20,0
<i>Hemiaulus</i>						20,0		25,0						14,3			
<i>Guinardia</i>																	
<i>Rhizosolenia</i>	28,6	70,0	22,2			20,0		25,0				11,1		28,6			
<i>Skeletonema</i>																	



## Continuación anexo B...

Genero	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	e2	e3	e5	e6	e7	e8	e9	e10
<i>Triceratium</i>																	
<i>Climacosphenia</i>			22,2		11,1						37,5	77,8		71,4	57,1	62,5	
<i>Asterionella</i>																	
<i>Podocystis</i>																	
<i>Synedra</i>																	
<i>Licmophora</i>										55,6				28,6		25,0	
<i>Thalassionema</i>												22,2	36,4		28,6		
<i>Thalassiothrix</i>			22,2						12,5								
<i>Dictyocha</i>									12,5					14,3			
<i>Coccolithus</i>	28,6	250,0		57,1	155,6	60,0	50,0	112,5	50,0			33,3	36,4				
<i>Amphisolenia</i>																	
<i>Dinophysis</i>																	
<i>Ornithocercus</i>		10,0		14,3	11,1			12,5						9,1			20,0
<i>Scrippsiella</i>					33,3					11,1		11,1					
<i>Ceratium</i>		10,0	33,3	42,9	11,1						12,5		9,1	14,3	28,6	12,5	20,0
<i>Gonyaulax</i>																	
<i>Oxytoxum</i>		10,0															
<i>Pyrocystis</i>			22,2			40,0		25,0									37,5
<i>Pyrophacus</i>																	12,5
<i>Protoperidinium</i>									25,0						14,3		
<i>Podolampas</i>	28,6								25,0			11,1		14,3			
<i>Diplodinium</i>																	
<i>Prorocentrum</i>						20,0					25,0						



Continuación anexo B...

Genero	s1	s2	s3	s5	s6	s8	s9	o2	o3	o4	o5	o6	o8	Abundancia relativa por género
<i>Oscillatoria</i>	220,0	328,6	333,3	428,6	328,6	157,1	275,0		257,1			671,4	280,0	49,3
<i>Cylindrotheca</i>														1,3
<i>Nitzschia</i>	40,0			28,6				14,3	14,3		85,7	42,9	80,0	4,6
<i>Odontella</i>		14,3		14,3					28,6	16,7		28,6		0,5
<i>Navicula</i>					28,6	14,3	25,0	42,9		150,0	185,7	42,9		2,9
<i>Gyrosigma</i>		14,3	11,1	28,6	28,6	28,6	25,0				42,9			2,2
<i>Entomoneis</i>				100,0	71,4							28,6	20,0	1,0
<i>Surirella</i>			33,3		42,9					50,0	214,3			1,5
<i>Amphora</i>			11,1		28,6	14,3			28,6	66,7				0,7
<i>Biddulphia</i>							12,5	14,3	14,3	50,0	14,3		40,0	0,9
<i>Isthmia</i>	40,0	57,1	44,4	28,6		57,1		28,6	57,1	66,7	71,4	28,6	80,0	3,7
<i>Terpsinoe</i>									14,3		71,4			0,6
<i>Bacteriastrium</i>	20,0	14,3					12,5	42,9	14,3				20,0	1,2
<i>Chaetoceros</i>			22,2	14,3		28,6	12,5		57,1	50,0	42,9	14,3	60,0	1,5
<i>Corethron</i>														0,1
<i>Coscinodiscus</i>			22,2	28,6	28,6	14,3	12,5			33,3	42,9	14,3	40,0	2,0
<i>Hemiaulus</i>				42,9	42,9			42,9		33,3	28,6			1,1
<i>Guinardia</i>													40,0	0,2
<i>Rhizosolenia</i>	20,0			14,3	14,3	14,3	37,5			66,7	71,4	57,1		2,2
<i>Skeletonema</i>									28,6				20,0	0,2
<i>Triceratium</i>	20,0	28,6			100,0	14,3			28,6		57,1	14,3	20,0	1,2
<i>Climacosphenia</i>	20,0		11,1			14,3	12,5		14,3	50,0				2,0



Continuación anexo B...

Genero	s1	s2	s3	s5	s6	s8	s9	o2	o3	o4	o5	o6	o8	Abundancia relativa por género
<i>Asterionella</i>								14,3			71,4			0,4
<i>Podocystis</i>							12,5							0,1
<i>Synedra</i>								14,3		116,7		71,4		0,9
<i>Licmophora</i>		42,9	44,4								42,9	57,1	60,0	1,6
<i>Thalassionema</i>					14,3									0,4
<i>Thalassiothrix</i>									14,3					0,2
<i>Dictyocha</i>														0,1
<i>Coccolithus</i>	60,0	28,6		42,9	28,6			214,3		116,7	71,4	114,3	140,0	7,3
<i>Amphisolenia</i>	20,0			28,6							28,6	14,3		0,4
<i>Dinophysis</i>								14,3						0,1
<i>Ornithocercus</i>	20,0					14,3								0,5
<i>Scrippsiella</i>							12,5			183,3				1,1
<i>Ceratium</i>		14,3	11,1	14,3			12,5	14,3	14,3	50,0		42,9	20,0	1,7
<i>Gonyaulax</i>					42,9									0,2
<i>Oxytoxum</i>														0,0
<i>Pyrocystis</i>								28,6		100,0	285,7			2,4
<i>Pyrophacus</i>								14,3				14,3		0,2
<i>Protoperdinium</i>								14,3				28,6	20,0	0,4
<i>Podolampas</i>										16,7		28,6	20,0	0,6
Diplodinium								14,3						0,1
<i>Prorocentrum</i>													20,0	0,3