

Dinámica espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del Departamento del Magdalena,
Caribe colombiano

Jeimmy Samanta Ramírez Barón

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Facultad de Ciencias Naturales
Programa de Biología Marina
Santa Marta, D.T.C.H.

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

Jeimmy Samanta Ramírez Barón

Trabajo de Grado para
optar al título de Biólogo Marino

Director

Andrés Franco-Herrera

Biólogo Marino

Doctor en Oceanografía

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Facultad de Ciencias Naturales

Programa de Biología Marina

Santa Marta, D.T.C.H.

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

Jeimmy Samanta Ramírez Barón

APROBADO POR:

Director del Jurado

Jurado

Jurado

A mi familia...

A mi abuelita Ma. Bárbara

*A mis padres...
Elías Orlando y Ma. Del Pilar*

*A mis tías...
Ma. Teresa y Alexandra*

A mi hermano Alejandro R.

y

A mi perro "Vicente"

A mi grupo en la U

*Richard A., Juan C., y
especialmente a Lorena G.*

En memoria de: Omar Andrés Arboleda (Niñito)

Daniel Bohórquez

Juan Felipe Bonilla

Diego Canter

Juan Francisco Rodríguez

Agradecimientos

A mi familia por ser los pilares de mi vida y llenarla de amor y comprensión...

Inmensa gratitud para *Andrés Franco Herrera*, por su entereza, dedicación y enseñanzas en este recorrido sin lo cual, sin lugar a duda, no habría sido posible culminar este trabajo.

A *Hernando Valencia Abdala* por su apoyo al grupo de investigación y préstamo de las instalaciones de la Sede Santa Marta, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

A *Carlos Torres* por su trabajo en campo y gabinete, su paciencia y apoyo.

A *Adolfo Sanjuan*, por su siempre oportuna colaboración en este trabajo, y por sus enseñanzas profesionales y personales a lo largo de mi carrera.

A *Lorena García Hoyos* por su amistad, compañía y apoyo en los buenos y malos momentos desde el inicio de mi carrera hasta hoy, no encuentro palabras para expresar mi gratitud y cariño...

A *Paulo Tigreros Benavides* por su trabajo en campo, su ayuda en la toma de fotos e identificación de microalgas, y por su contagiante espíritu alegre.

A *Luís Alfonso Vidal* por sus oportunas correcciones y su colaboración en la identificación de microalgas.

A *Charly, Claudia y Edgar* en los laboratorios, *Lamia y Nélide* en las oficinas y especialmente a *Alexi Torres* en la biblioteca, miembros de la Sede de Santa Marta.

A *Alejandro Ramírez Barón, Michael Rosaine, Nathalie vivas pineda, Juliana González* y "*Poncho*" por su colaboración en diferentes áreas de este trabajo.

Tabla de contenido

	Pág.
Lista de tablas	iv
Lista de figuras	vii
Lista de anexos	x
Resumen	
Abstract	
1. Introducción	1
2. Marco teórico y estado del arte	5
2.1 Fitoplancton	5
2.1.1 <i>Diatomeas</i>	5
2.1.2 <i>Dinoflagelados</i>	8
2.1.3 <i>Silicoflagelados</i>	8
2.1.4 <i>Cianobacterias</i>	9
2.1.5 <i>Clorófitas</i>	10
2.2 Pigmentos fotosintéticos	10
2.3 Algunos factores que modulan las interacciones medio abiótico y biótico	14
2.3.1 <i>Surgencia</i>	15
2.3.2 <i>Flujo de ríos</i>	19
2.4 Factores que afectan y regulan la abundancia y distribución algal	20
2.4.1 <i>Luz</i>	20
2.4.2 <i>Nutrientes</i>	22
2.4.3 <i>Temperatura</i>	27
2.4.4 <i>Salinidad</i>	31

2.4.5	<i>Movimiento del agua y hundimiento</i>	32
2.4.6	<i>Eventos NIÑO y NIÑA</i>	33
3.	Problema de Investigación	36
4.	Objetivos específicos	37
5.	Hipótesis	38
6.	Metodología	39
6.1	Área de estudio y estaciones de muestreo	39
6.2	Diseño muestral	44
6.3	Componente biótico	44
6.3.1	<i>Fase de campo</i>	44
6.3.1.1	<i>Muestreo variables biológicas</i>	44
6.3.1.2	<i>Muestreo variables físicas y químicas</i>	45
6.3.2	<i>Fase de laboratorio y variables biológicas</i>	46
6.3.3	<i>Fase de gabinete</i>	48
6.3.3.1	<i>Variables biológicas</i>	48
6.3.3.2	<i>Variables físicas y químicas</i>	51
7.	Resultados	55
7.1	Parámetros océano-atmosféricos	55
7.1.1	<i>velocidad y dirección del viento</i>	55
7.1.2	<i>Parámetros fisicoquímicos</i>	55
7.1.3	<i>Documentación de las condiciones atípicas del muestreo numero cuatro</i>	59
7.2	Composición y abundancia	59
7.3	Índices ecológicos	69
7.4	Pigmentos fotosintéticos	72
7.5	Relación componente biótico y abiótico	76
7.5.1	Eventos Lasker y concentración de clorofila <i>a</i>	76

7.5.1	<i>Correlaciones</i>	77
7.5.3	<i>Efecto del evento NIÑA sobre la dinámica fitoplanctónica</i>	78
8.	Discusión de resultados	82
9.	Conclusiones	98
10.	Recomendaciones	100
11.	Bibliografía	101
12.	Anexos	119

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos promedio de la columna de agua (0-60m) propios del periodo febrero-junio de 2008 para la Ensenada de Granate, Bahía de Taganga y Ensenada de Gaira. S: surgencia. NS: no surgencia. ND: no determinado	56
Tabla 2. Abundancia relativa de diatomeas céntricas, diatomeas pennadas, dinoflagelados, cianobacterias, flagelados y clorófitas encontrados durante seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia, mediante los métodos de botella de Van Dorn y red fitoplanctónica. *: Indica los géneros reportados únicamente bajo el método de arrastre con red fitoplanctónica. - : Indica la presencia en el periodo.	61
Tabla 3. Abundancia relativa (%) y densidad total promedio fitoplanctónica (cel l ⁻¹) por géneros, para la columna de agua (0-60 m) en las épocas de surgencia y no surgencia. DC: Diatomeas céntricas. DP: Diatomeas pennadas, DF: Dinoflagelados. FG: Flagelados. CY: Cianobacterias. CLF: Clorófitas. Desc: desconocido.	63
Tabla 4. Densidad celular fitoplanctónica integrada para la columna de agua (cel m ⁻²) en época de surgencia y no surgencia reportada para las tres estaciones en estudio. M4: muestreo 4.	66
Tabla 5. Distribución vertical de la densidad celular fitoplanctónica (cel l ⁻¹) de las estaciones de Gaira, Taganga y Granate a 0, 5, 30 y 60 m, durante eventos de surgencia y no surgencia. M4: Muestreo 4.	67
Tabla 6. Atributos ecológicos de la comunidad fitoplanctónica encontrada durante cinco muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia. Valores promedio para las estaciones de Ensenada de Gaira, Bahía de Taganga y Ensenada de Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. N0: número de géneros. N: número de células. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. λ': predominio de Simpson. N1: número de géneros abundantes. N2: número de géneros muy abundantes.	70
Tabla 7. Atributos ecológicos de la comunidad fitoplanctónica encontrada	

durante el cuarto muestreo bajo condiciones de surgencia. Valores promedio para las estaciones de Ensenada de Gaira, Bahía de Taganga y Ensenada de Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. N0: número de géneros. N: número de células. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. λ' : predominio de Simpson. N1: número de especies abundantes. N2: número de especies muy abundantes. M4: muestreo 4.

72

Tabla 8. Concentración promedio de pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) obtenidos en los intervalos surgencia y no surgencia para Gaira, Taganga y Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad junto con los índices de actividad fotosintética con respecto a los feopigmentos (IAF₁) y carotenoides (IAF₂). S: surgencia. NS: No surgencia. Chl-*a*: Clorofila *a*. Feo-*a*: Feopigmento *a*. Chl- *b*: Clorofila *b*. Chl- *c*: Clorofila *c*.

73

Tabla 9. Correlaciones de Pearson entre los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua 0-60 m y algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. S-N0: número de géneros. Cart: carotenoides. r: coeficiente de correlación. n: número de datos pareados. p: valor *p*. las casillas resaltadas denotan correlación.

79

Tabla 10. Estudios de la comunidad fitoplanctónica comprendidos entre el periodo 1974 – 2001, en el área costera del Departamento del Magdalena, influenciados por eventos Niño/Niña o en ausencia de ellos. Promedios trimestrales del índice ONI. EFM: enero-febrero-marzo. OND: octubre- noviembre-diciembre.

79

Tabla 11. Estudios de la comunidad fitoplanctónica comprendidos entre el periodo 2003 – 2008, en el área costera del Departamento del Magdalena, influenciados por eventos Niño/Niña o en ausencia de ellos. Promedios trimestrales del índice ONI. EFM: Enero-Febrero-Marzo. OND: Octubre- Noviembre-Diciembre.

80

Tabla 12. Rangos de concentración de amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y ortofostatos (HPO_4^-) para cuatro locaciones del Departamento del Magdalena. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio. ND: No determinado. (modificado de Torres-Sierra 2007).

85

Tabla 13. Porcentaje de representación de diatomeas para varias

locaciones que comprenden el periodo 1974 – 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio.	87
Tabla 14. Rangos de densidad celular, para diferentes focos de surgencia, comprendidas entre 1997 y 2005.	90
Tabla 15. Rangos de diversidad Shannon – Wiener (H') y Uniformidad de Pielou (J' = equiparabilidad), para diferentes locaciones, comprendidas entre 1978 y 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio. ND: no determinado. (modificado de Torres-Sierra, 2007).	92
Tabla 16. Rangos de concentración de clorofila α , para diferentes locaciones, comprendidas entre 1984 y 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio (modificado de Franco-Herrera, 2001).	93

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Estructura de las clorofilas <i>a</i> y <i>b</i> (modificado de Strasburger <i>et al.</i> , 1997).	12
Figura 2. Disminución de la irradiancia lumínica con el aumento de la profundidad en aguas costeras y aguas claras oceánicas. Note que la luz está disminuyendo exponencialmente con la profundidad (tomado de Levinton, 2001).	22
Figura 3. Distribución vertical media anual del fosfato y nitrato en los tres océanos principales (tomado de Cognetti <i>et al.</i> , 2001).	24
Figura 4. Estructura térmica de tres capas en las aguas oceánicas en las latitudes bajas y medias (modificado de Cognetti <i>et al.</i> , 2001).	29
Figura 5. Zona costera del Departamento del Magdalena, indicando la localización de las tres estaciones muestreadas (señaladas con puntos blancos): Ensenada Gaira, Bahía Taganga y Ensenada Granate. Escala 10,25 km (modificado de Google Earth, 2008).	43
Figura 6. Serie de tiempo de velocidad del viento (m s^{-1}), Departamento del Magdalena. (a) Desde el año 1996 al 2001. (b) Desde el año 2002 al 2006. Se muestra la media multianual como referencia general. Escala secuencial de enero (1) a diciembre (12). Los recuadros azul y naranja punteados indican los valores más altos y más bajos del primer semestre del año (estación Meteorológica Aeropuerto Simón Bolívar, IDEAM, 2007).	47
Figura 7. Perfiles de los parámetros fisicoquímicos del agua, para la totalidad de los muestreos a los 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Temperatura. (b) salinidad. (c) saturación de oxígeno. (d) pH. M: Muestreo (modificado de García-Hoyos, en prep.).	57
Figura 8. Perfiles de los parámetros fisicoquímicos del agua, para la totalidad de los muestreos a los 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Concentración de NO_3^- . (b) Concentración de NH_4^+ . (c) Concentración de HPO_4^+ . (d) Concentración de NO_2^- . M: Muestreo (modificado de García-Hoyos, en prep.).	58

Figura 9. Abundancia relativa por grupos mayores, conforme seis muestreos durante época de surgencia (a) y no surgencia (b). 60

Figura 10. Abundancia total por muestreos para la columna de agua de 12 géneros más representativos a lo largo de los periodos de surgencia y no surgencia. (a) *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Guinardia* y *Anabaena*. (b) *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Bacteriastrum*, *Leptocylindrus*, *Helicotheca* y *Nitzschia*. 62

Figura 11. Análisis de clasificación cualitativo para la comunidad fitoplanctónica obtenido durante seis muestreos, bajo condiciones de surgencia y no surgencia. M1, 2,..., 6: muestreo uno, dos,..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. A y B: indican agrupaciones formadas. 64

Figura 12. Densidad celular fitoplanctónica (cel l^{-1}) reportada para las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) conforme a seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia. (a) Representa las densidades totales para la columna de agua de 0 a 60 m de profundidad. (b) Representa las densidades totales promedio propias de las profundidades 0, 5, 30 y 60 m del agua. 65

Figura 13. Análisis de clasificación cuantitativa Bray-Curtis mediante el método UPGMA para las muestras fitoplanctónicas obtenidas durante seis muestreos, bajo condiciones de surgencia y no surgencia. M1, 2,..., 6: muestreo uno, dos,..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. 0, 5 30 y 60: Indican la profundidad (m). M1Gr0: Muestreo uno en la estación Granate a 0 metros de profundidad. A, B, C, D y E: indican agrupaciones formadas. Se muestran las densidades celulares promedio de cada grupo en cel l^{-1} . 68

Figura 14. Ordenamiento no métrico NMDS conforme seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia M1, 2,..., 6: muestreo uno, dos,..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. 0, 5 30 y 60: Indican la profundidad (m). M1Gr0: Muestreo uno en la estación Granate a 0 metros de profundidad. A y B: indican las agrupaciones formadas. 69

Figura 15. Perfiles de los índices ecológicos de la comunidad fitoplanctónica que incluyen Equiparabilidad (J'), diversidad promedio Shannon – Wiener (H'_{ln}), y riqueza de Margalef (d) en periodos de

surgencia y no surgencia para las tres estaciones a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Ensenada de Gaira S. (b) Ensenada de Gaira NS. (c) Bahía de Taganga S. (d) Bahía de Taganga NS. (e) Ensenada de Granate S. (f) Ensenada de Granate NS. 71

Figura 16. Perfiles de pigmentos fotosintéticos para seis muestreos correspondientes a periodos de surgencia y no surgencia propios de las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Clorofila *a*. (b) Feopigmento *a*. (c) Clorofila *b*. (d) Clorofila *c*. (e) Carotenoides. M4: Muestreo 4. S: surgencia. NS: no surgencia. 74

Figura 17. Índices de actividad fotosintética promedio propios del periodo de surgencia y no surgencia en las estaciones de Granate, Taganga y Gaira. (a) IAF₁. (b) IAF₂. S: surgencia. M4 S: Muestreo cuatro en surgencia. NS: no surgencia. 76

Figura 18. Variación de la concentración de clorofila *a* en relación con la turbulencia del agua en el periodo febrero – junio de 2008 para las Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr) y la Bahía de Taganga (Ta). M: muestreo. 77

Figura 19. Análisis de clasificación cualitativo para la comunidad fitoplanctónica obtenidos a partir de los trabajos de Vásquez (2006) (1), Tigreros (2001) (2), Caicedo (1975) (3), Torres *et al.* (1993) (4), De La Hoz (1995) (5), presente estudio (6) y Torres-Sierra, (2007) (7). Cis S-Llm: Bahía de Cispatá en época seca y lluviosa. EE seca: Bahía Concha, Ensenada de Gaira y Bahía de Chengue. Neg: Bahía de Neguangué. Gay: Bahía Gayraca. Ga: Ensenada de Gaira. Gr: Ensenada de Granate. Ta: Bahía de Taganga. S: época seca. Ll: época lluviosa. 80

Figura 20. Concentración de los pigmentos fotosintéticos chl-*a* (a) y feo-*a* (b) obtenidos a partir de los trabajos de Barragán *et al.* (2003), Campos *et al.* (2004), Torres-Sierra (2007) y presente estudio. EE3: Bahía de Taganga, y Ensenadas de Gaira y Granate. Seca: época seca. Lluviosa: época lluviosa. 81

Figura 21. Concentraciones de clorofila *a* y densidad celular fitoplanctónica promedio propia de los periodos de surgencia (a) y no surgencia (b). 95

Lista de anexos

	Pág.
<p>Anexo A. Curvas de diversidad acumulada correspondientes a las estaciones de Granate, Taganga y Gaira en los cuatro estratos considerados para la totalidad de los muestreos. Se presenta en orden consecutivo las estaciones. Gaira (Ga) Granate (Gr), Taganga (Ta) y (a-c) Muestreo uno. (d-f) Muestreo dos. (g-i) Muestreo tres. (j-l) Muestreo cuatro. (m-o) Muestreo cinco. (p-r) Muestreo seis.</p>	119
<p>Anexo B. Concentraciones de clorofila <i>a</i> integrada (mg m^{-2}) para la columna de agua (0 - 60 m), valores de turbulencia para las Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr) y la Bahía de Taganga (Ta) y correlación Spearman entre las variables turbulencia y concentración de clorofila <i>a</i>. M: Muestreo. U: velocidad de corriente. C: constante de resistencia.</p>	122
<p>Anexo C. Matriz de variables físicas y químicas durante la época de surgencia y no surgencia, dentro de los 0 y 60 m de profundidad, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. MI: muestro. MII: muestro II. MIII: muestreo 3. MIV: muestreo 4. MV: muestreo 5 (tomado de García-Hoyos, <i>en prep.</i>).</p>	123
<p>Anexo D. Matriz de composición fitoplanctónica de arrastres verticales de 60 – 0 m de profundidad durante la época de surgencia y no surgencia, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga (Ta) y Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr), Caribe colombiano. 1: indica presencia. 0: Indica ausencia. M: muestreo.</p>	125
<p>Anexo E. Organismos identificados en 40X, durante la época de surgencia y no surgencia, para los muestreos realizados entre febrero y junio de 2008 en la Bahía de Taganga, y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. (a) <i>Ceratium</i>. (b) <i>Pleurosigma</i>. (c) <i>Thalassionema</i> sp₁. (d) <i>Thalassionema</i> sp₂. (e) <i>Asterionellopsis</i> 10X. (f) <i>Asterionellopsis</i> 40X. (g) <i>Guinardia</i> sp₁. (h) <i>Helicotheca</i>. (i) Orden Nostocales. (j) <i>Bleakeleya</i>. (k) <i>Thalassiothrix</i>. (l) <i>Ornithocercus</i>. (m) <i>Guinardia</i> sp₂. (n) <i>Hemiaulus</i> sp₁. (o) <i>Guinardia</i> sp₃. (p) <i>Thalassionema</i> sp₁. (q) <i>Hemiaulus</i> sp₂. (r) <i>Coscinodiscus</i>. (s) <i>Chaetoceros</i> sp₁. (t) <i>Oscillatoria</i>. (u) <i>Guinardia</i></p>	

sp₄. (v) *Skeletonema*. (w) *Pseudo-nitzschia* (x) *Chaetoceros* sp₂. (y) *Cylindrotheca*. (z) *Pyrocystis* (aa) *Rhizosolenia* sp₁. (ab) *Chaetoceros* sp₃. (ac) *Protoperidinium*. (ad) *Bacteriastrum*. 126

Anexo F. Matriz de densidad celular (cel l⁻¹) durante la época de surgencia y no surgencia, dentro de los 0 y 60 m de profundidad, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. Anexo Digital. 131

Resumen

Para evaluar algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica y su respuesta a cambios en la dinámica oceanográfica modulados por pulsos de surgencia y no surgencia en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano, en el periodo comprendido entre febrero-junio de 2008, correspondiente a época seca mayor y lluviosa menor, se colectaron muestras en tres estaciones: Ensenada de Granate, Bahía de Taganga y Ensenada de Gaira siguiendo el método Eureliano a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad de la columna de agua, además de realizar arrastres verticales desde 60 hasta 0 m con red fitoplanctónica. Se determinaron los pigmentos fotosintéticos, así como la composición y abundancia propia del microfitoplancton. En total se identificaron 51 y 47 taxa-géneros distribuidos en 29 y 28 familias, correspondiendo el 78,23 y 86,19 % a diatomeas céntricas, el 16,68 y 9,47 % a diatomeas pennadas, el 4,57 y 3,78 % a cianobacterias y cerca del 0,5 y 0,55 % a dinoflagelados, flagelados y clorófitas durante condiciones de surgencia y no surgencia, respectivamente. Los géneros con mayor abundancia fueron *Chaetoceros* y *Skeletonema* alcanzando una abundancia relativa respectiva en ambos periodos de 47 % y 8,13 % y, 19,57 % y 60,93 % con densidades superiores a 2000 cel l⁻¹. La diversidad de Shannon-Wiener fue en promedio para el periodo inicial de $1,93 \pm 0,21$ y $1,55 \pm 0,48$ para el periodo final. Las concentraciones de clorofila *a* ostentaron valores bajos a lo largo de las sesiones en estudio y un claro declive para la época en ausencia de surgencia con $0,72 \pm 0,47$ mg m⁻³ y $0,15$ mg m⁻³ $\pm 0,15$ mg m⁻³. Por su parte, el feopigmento *a* presentó valores de $0,21 \pm 0,27$ mg m⁻³ y $5,62 \pm 6,08$ mg m⁻³, alcanzando concentraciones considerablemente altas con respecto a la clorofila *a* en ausencia de afloramientos. El IAF₁ con $6,34 \pm 5,34$ y $0,52 \pm 0,84$, indica una alta

calidad de los pigmentos o el poco pastoreo por parte del zooplancton, representando entonces un estado fisiológico óptimo en el periodo inicial. En contraste, el bajo valor promedio propio del periodo de no surgencia indica un amplio declive en el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica. Por otra parte, el IAF₂ muestra una relación similar en los periodos en mención con $0,55 \pm 0,30$ y $0,21 \pm 0,23$. Consecuentemente, se registraron valores de densidad integrada promedio de $36,7 \times 10^7 \pm 19,4 \times 10^7$ cel m⁻² y $10,8 \times 10^7 \pm 76,4 \times 10^6$ cel m⁻². Las concentraciones de clorofila *b*, clorofila *c* y carotenoides siguieron una misma tendencia y análoga a la clorofila *a*, es decir, valores superiores acordes a la sesión inicial y una clara disminución propia de la sesión final. Se evidenció un patrón de segregación definido por densidad celular, modulado por periodos de surgencia y no surgencia.

Palabras claves: Fitoplancton, surgencia, Caribe colombiano, pigmentos fotosintéticos, diversidad.

Abstract

In order to evaluate some of the phytoplankton community structural attributes and responses to changes in the oceanographic dynamics modulated by upwelling and non upwelling processes throughout the coastal waters off Magdalena department, Colombian Caribbean, in between February and June of 2008, during the highly dry and light rain seasons, samples were collected at three (3) stations: Granate and Gaira cove and Taganga bay following the Eurlen method at depths of: 0, 5, 30 and 60 in the water column. Additionally, vertical tows from 60 to 0 m were done using a phytoplankton net. Photosynthetic pigments, abundance and microphytoplankton composition were determined. In total, 51 and 47 genera were identified distributed in 29 and 28 families, respectively, corresponding 78,23 and 86,19 % to centric diatoms, 16, 68 and 9,47 % to pennate diatoms, 4,57 and 3,78 % to cyanobacteria and about 0,5 and 0,55 % at dinoflagellates and chlorophyta during upwelling and non upwelling conditions, respectively. The most abundant genera were *Chaetoceros* and *Skeletonema* with a respective relative abundance in both periods of 47 % and 8,13 % and 19,57 % and 60,93 % and higher densities than 2000 cel l⁻¹. Shannon-Wiener diversity mean was 1,93 ± 0,21 for the initial and 1,55 ± 0,48 for the final period. Chlorophyll *a* concentrations showed low values along the research and a clear decline during non upwelling conditions (0,72 ± 0,47 mg m⁻³ y 0,15 mg m⁻³ ± 0,15 mg m⁻³). Moreover, phaeopigment *a* fluctuated between 0,21 ± 0,27 mg m⁻³ and 5,62 ± 6,08 mg m⁻³, reaching substantially high values compared to chlorophyll *a* during non upwelling. The IAF₁ with 6,34 ± 5,34 y 0,52 ± 0,84, indicates either high pigment quality or low zooplankton grazing, representing an optimal

phytoplankton physiological state for the initial period. In contrast, the low average value for the final period indicates a wide decline regarding the phytoplankton community physiological state. However, the IAF₂ shows a similar relation for both periods with $0,55 \pm 0,30$ y $0,21 \pm 0,23$. Consequently, average integrated density values of $36,7 \times 10^7 \pm 19,4 \times 10^7$ cel m⁻² and $10,8 \times 10^7 \pm 76,4 \times 10^6$ cel m⁻² were registered. Chlorophyll *b*, *c* and carotenoids followed the same tendency as chlorophyll *a*; higher values during upwelling and lower during non upwelling. A segregation pattern was defined by cell density modulated by upwelling and non upwelling periods.

Key words: Phytoplankton, upwelling, Colombian Caribbean, photosynthetic pigments, diversity.

1. Introducción

Por su localización en el trópico y su posición geográfica en el continente, Colombia posee una enorme diversidad de sistemas ambientales en sus mares y costas, los cuales en términos de extensión geográfica representan casi la mitad del territorio nacional y que en su conjunto reúnen una riqueza invaluable de recursos (INVEMAR, 2005).

La costa Caribe de Colombia abarca una extensión de 132.288 Km (Aguilera y De La Hoz, 1998), con una alta variedad de ecosistemas marinos y eventos oceanográficos. Dentro de ellos, se destaca la presencia de una corriente ascensional en dirección a la costa, denominada surgencia o afloramiento. Dicho evento es muy significativo entre Punta Gallinas y Puerto Colombia; está bien delimitado durante las estaciones secas, especialmente en la mayor y presenta dos centros de intensidad máxima, al norte y oeste de la Guajira y otro frente al Cabo de la Aguja, esto se debe a que el factor generador del evento, los vientos Alisios, son más veloces y frecuentes en esos dos trayectos que en cualquier parte del litoral colombiano (Andrade y Barton, 2005). Este afloramiento de aguas profundas, produce un transporte masivo de agua superficial y subsuperficial en dirección perpendicular y hacia la derecha de la dirección del viento, es decir, hacia mar adentro. El retiro masivo de agua en la costa deja un vacío que es rápidamente reemplazado por agua profunda con temperaturas de 21-24 °C y salinidades de 36,5-37,2 (Bula-Meyer, 1990).

Durante las estaciones húmedas, especialmente en la mayor, la surgencia es prácticamente nula; sin embargo, otra vía de fertilización es la de las

“corrientes salobres mar adentro” que proceden de ríos como el Magdalena, el Sinú y el Atrato y de lagunas costeras como la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estas corrientes son ricas en elementos nutritivos que solo son aprovechables cuando penetran en aguas claras, se produce entonces una proliferación de fitoplancton, especialmente en aguas azules como las del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) (Bula-Meyer, 1990).

Es ampliamente reconocido que el estrés que el viento ejerce sobre la superficie del océano introduce energía en la dimensión vertical y horizontal que puede afectar a la producción planctónica, ya sea por turbulencia que genera fluctuaciones en la capa de mezcla, así como por la transformación de la capa superficial a consecuencia del movimiento costa afuera de esta masa (Boje y Tomkzac, 1978, Barber y Smith, 1981, Arcos *et al.*, 1987, Wroblewski y Richman, 1987, Bernal, 1990 En: Santander *et al.*, 2001).

Este transporte de masas de agua produce un sistema de corrientes en el mar abierto, provocado por el coeficiente de arrastre del viento sobre la superficie del mar. Las corrientes que se producen y el crecimiento del fitoplancton por el ascenso de los nutrientes son de vital importancia para la red trófica marina, ya que durante estos eventos, se produce el mayor reclutamiento de larvas de peces (González *et al.*, 2006).

Una comunidad fitoplanctónica consiste en un conjunto diverso de especies, cada una de ellas y su dinámica de crecimiento, está influenciada por una serie de parámetros ambientales (físicos, químicos y biológicos) que experimentan variaciones constantes temporales. Factores ambientales de gran importancia interaccionan para regular el crecimiento temporal y espacial del fitoplancton.

Aparte de los requerimientos fisiológicos básicos como la luz y la temperatura, existen diferentes nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos que desempeñan un papel crítico en la sucesión de las poblaciones algales, así como en los procesos de crecimiento y reproducción. Algunos de estos parámetros (*e.g.* temperatura, concentración de nutrientes) experimentan fluctuaciones marcadas en períodos de días a meses. Otros, como la intensidad y la calidad de luz a distintas profundidades y nutrientes de flujo rápido, muestran variaciones temporales muy rápidas en cuestión de minutos u horas, que pueden generar cambios fisiológicamente importantes en la comunidad fitoplanctónica (Wetzel, 1981).

Durante un evento de surgencia, es típico encontrar géneros de crecimiento rápido (*i.e.* oportunistas), principalmente del microfitoplancton como las diatomeas céntricas *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Bacteriastrium* o pennadas de los géneros *Thalassionema* y *Pseudonitzschia*, principalmente (Franco-Herrera, 2001; Tigreros, 2001). Estas células fitoplanctónicas tienen tiempos de duplicación mínimos inferiores a un día y máximos de 5-6 días, con un ciclo vital de algunas semanas. El ciclo biológico de estos organismos se desarrolla en un entramado de relaciones que constituyen el primer eslabón de las redes tróficas marinas, a su vez condicionadas por los factores ambientales (Cognetti *et al.*, 2001).

De acuerdo a lo anterior, el análisis de las características del desarrollo estacional y espacial de las microalgas fitoplanctónicas debe enmarcarse dentro de una serie dinámica de interacciones entre los parámetros ambientales y las características fisiológicas de los organismos. Es obligado un estudio detallado de los factores que interactúan y regulan el crecimiento y la sucesión, en

particular de la luz, la temperatura, la salinidad, los nutrientes inorgánicos y los factores biológicos de competencia por los recursos disponibles requeridos y la depredación por otros organismos (Wetzel, 1981).

Es por tal motivo importante realizar estudios sobre las características y dinámica de la comunidad fitoplanctónica, es decir, interacciones medio abiótico y biótico, que permitan conocer mejor el funcionamiento del ecosistema pelágico y sus recursos, así como su variación durante las diferentes épocas climáticas del año. Por tal razón, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar algunos atributos estructurales como composición, abundancia y biomasa de la comunidad fitoplanctónica y su respuesta a cambios en la dinámica oceanográfica causada por pulsos de surgencia o en períodos de tiempo en ausencia de ellos.

El presente trabajo de grado fue desarrollado dentro del Macroproyecto *“Variabilidad oceanográfica en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano: un sistema de alto valor trófico”*, adscrito al Programa de Biología Marina y la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y se realizó como requisito para optar al título de Biólogo Marino de la misma Institución.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Fitoplancton

Los productores primarios del plancton reciben el nombre de fitoplancton. En su gran mayoría son organismos que normalmente viven en suspensión en el agua y, por lo tanto, son llevados pasivamente por las corrientes (Balech, 1977). Los taxa principales de los productores planctónicos microscópicamente visibles que son encontrados en la mayoría de los océanos son diatomeas, dinoflagelados, coccolitofóridos y bacterias verde-azules (Millero, 2005).

2.1.1 *Diatomeas*

Las diatomeas son células unicelulares, con paredes de sílice y pectina, se caracterizan por la presencia de un esqueleto constituido por dos valvas o tecas, denominado frústula, con un rango de tamaño desde 0,01 a 2,0 mm (McConnaughey, 1974). Se encuentran flotando en la columna de agua o sujetas a superficies, individuales o como cadenas de células. Las diatomeas son grandes contribuyentes a la producción primaria, especialmente, en aguas costeras. Se encuentran en todo el mar, pero son más abundantes en aguas frías y ricas en nutrientes. La reproducción asexual se da por división y cada una de estas se encuentra acompañada por una reducción de tamaño de la célula y de la pared celular. También se presenta reproducción sexual. La mayoría de las diatomeas acumulan aceites o ácidos grasos en vez de azúcar como producto final de la fotosíntesis (Millero, 2005). Gran número de

diatomeas mueren a causa de los cambios estacionales, empobrecimiento local del material nutritivo por parte del zooplancton, o bien a causa de su localización por debajo de la zona eufótica, o de su transporte por movimientos verticales del agua (McConnaughey, 1974).

Diversos han sido los trabajos que vienen desarrollándose en el campo de caracterización de la comunidad fitoplanctónica para la zona del Caribe colombiano. En este contexto, para la Bahía de Nenguangue (PNNT), Caicedo (1975) quien estudió la productividad primaria y composición fitoplanctónica, reportó 71 especies entre diatomeas, dinoflagelados y cianófitas. Los géneros más abundantes fueron: *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Bacteriastrium*, *Rhizosolenia*, *Thalassionema*, *Thalassiothrix*, *Isthmia*, *Melosira*, *Cerataulina*, y *Nitzschia* dentro de las diatomeas, y *Ceratium*, *Pyrocystis*, *Peridinium*, y *Cladophyxis* dentro de los dinoflagelados. Torres *et al.* (1993), caracterizaron el fitoplancton en la Bahía de Gayraca (PNNT) para el periodo comprendido entre los meses de agosto y septiembre de 1993. Consideraron la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto y las relacionaron con la diversidad de especies durante el tiempo de muestreo. El grupo dominante fue el de las diatomeas y en menor proporción los dinoflagelados. Notaron la variación de la comunidad a través del tiempo y el espacio en cuanto a la composición. Igualmente, Para la Bahía del Rodadero, De La Hoz (1995), estudió la variación temporal y espacial del fitoplancton para el periodo comprendido entre agosto y octubre de 1995. Reportó como grupo predominante las diatomeas; los dinoflagelados ocuparon el segundo lugar y las cianófitas el tercero. Dentro de las diatomeas, *Chaetoceros* fue el género más abundante y frecuente. En cuanto a la relación de algunos parámetros fisicoquímicos observó una relación inversa de la profundidad del disco Secchi y de la salinidad con la biomasa fitoplanctónica.

Duarte (1996) analizó el comportamiento de las variables hidrográficas y químicas que afectan el área de la Guajira. Reportó a las bacilariofíceas como el grupo dominante. Los géneros de mayor frecuencia fueron *Conscinodiscus*, *Bacteriastrum*, *leptocylindrus*, *Hemiaulos*, *chaetoceros*, y *Rhizosolenia*. Lo que indica que las diatomeas son predominantes en aguas turbulentas ricas en nutrientes.

Trabajos más recientes sobre la composición, abundancia y biomasa fitoplanctónica junto con factores ambientales limitantes, determinan a las diatomeas como grupo dominante. Dentro de estos, Tigreros (2001), estudió para la zona Caribe central de Colombia durante la época lluviosa y seca de esta región, los componentes fisicoquímicos, bioquímicos, y biológicos de la comunidad fitoplanctónica. Reportó para el Golfo de Salamanca valores altos de temperatura, salinidad y coeficiente de extinción de luz, mientras que para el Parque Nacional Natural Tayrona durante la época seca, reportó valores bajos de temperatura y altos de salinidad. Las concentraciones de clorofila *a* y la densidad fitoplanctónica fueron más altas durante la época lluviosa, encontrando una alta presencia del género *Chaetoceros*. Franco-Herrera y Torres-Sierra (2006), evaluaron la composición, abundancia, dominancia y diversidad fitoplanctónica entre los meses de julio a septiembre de 2006 bajo eventos de surgencia y no surgencia en la costa central del Caribe colombiano. Encontraron igualmente como grupo dominante las diatomeas, resaltando los géneros *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus* y *Thalassionema*, con densidades superiores a 50 cel l⁻¹, y mayores abundancias en ausencia de surgencia. No registraron diferencias en la composición específica fitoplanctónica bajo las dos condiciones oceanográficas.

2.1.2 *Dinoflagelados*

Los dinoflagelados se presentan como células individuales o coloniales, con o sin pared celular, con un rango de tamaño desde 0,001 a 2,0 mm. Son planctónicos, y se dejan llevar por el agua, sin embargo, las especies presentan dos tipos de flagelos para moverse, heteromórficos y heterodinámicos: Uno transversal que se aloja en el cingulum cuando éste existe y otro que emerge en el sulcus y se extiende por detrás de la célula. La emergencia de ambos flagelos se hace por “poros” distintos (Balech, 1977). Metabólicamente son muy versátiles, pueden dedicarse a realizar fotosíntesis, ser parásitos, o simbióticas, absorber materia orgánica disuelta, o ingerir partículas de materia orgánica. Tienen cromosomas que son condensados a través del ciclo celular (Nybakken y Bertness, 2004). La reproducción se da por división, y las células hijas crecen hasta el tamaño del parental antes de dicha división (Millero, 2005). También presentan reproducción sexual. Muchos dinoflagelados como *Noctiluca* no son fotosintéticos pero se alimentan ingiriendo partículas, así, juegan el papel de pastoreadores (Nybakken y Bertness, 2004). Muchas especies combinan ambas formas de nutrición (Álvarez, 1981).

2.1.3 *Silicoflagelados*

Los silicoflagelados se presentan como células flageladas y pequeñas (0,06 mm). Típicamente secretan un esqueleto exterior de silicio; que consiste frecuentemente de dos círculos de varillas silíceas huecas unidas por varillas intercaladas y que forman un esqueleto enrejado (McConnaughey, 1974). Estos organismos son fotosintetizadores, pero algunos pueden consumir materia

orgánica. Son comunes en aguas frías, ricas en nutrientes y se reproducen por simple división (Millero, 2005).

2.1.4 *Cianobacterias*

Las cianobacterias son microorganismos fototróficos oxigénicos y se conocen tanto formas unicelulares como filamentosas. Se pueden dividir en cinco grupos morfológicos: (1) unicelulares que se dividen por fisión binaria, (2) unicelulares que se dividen por fisión múltiple, (3) filamentosas con células especiales fijadoras de nitrógeno o heterocistos, (4) filamentosas pero sin heterocistos y (5) filamentosas ramificadas. Las células de cianobacterias tienen un tamaño que va desde 0,5 a 60 μm de diámetro. Presentan una sola forma de clorofila, la clorofila *a*, y todas ellas tienen pigmentos biliproteicos (ficobilinas) que funcionan como pigmentos accesorios de la fotosíntesis. Estos organismos están ampliamente distribuidos en la naturaleza en medios terrestres o acuáticos (tanto de agua dulce como salada). Las cianobacterias marinas son euplanctónicas y no presentan movimiento propio. Algunos géneros claves para destacar son *Oscillatoria*, *Trichodesmium* y *Nostoc* (Madigan *et al.*, 2004).

Varios son los trabajos que destacan al grupo de las cianobacterias, entre estos, Vargas-Castellanos (2008), en las islas de Providencia y Santa Catalina determinaron a dicho como grupo dominante, resaltando a la familia Nostocaceae. Registraron valores de abundancia celular promedio de $7452,73 \pm 3610,33 \text{ cel l}^{-1}$ bajo condiciones típicas de la zona en época de lluvia, como lo son pH: $8,48 \pm 0,21$, salinidad: $32,49 \pm 1,58$ y temperatura: $28,08 \pm 0,95 \text{ }^\circ\text{C}$. Igualmente, De La Hoz (2004), evaluó la dinámica del fitoplancton de la

Ciénaga Grande de Santa Marta, durante el periodo comprendido entre marzo de 1996 y febrero de 1997, registrando 224 taxa en total y una densidad celular que oscilo entre 1119×10^6 individuos y 750×10^6 individuos, resaltando al grupo de las cianobacterias que alcanzó las mayores abundancias durante la totalidad de la sesión en estudio. Finalmente, Gocke *et al.* (2003), determinaron la composición fitoplanctónica en varias lagunas costeras del delta exterior del Río Magdalena; de la misma manera, registraron a las cianobacterias como el grupo algal dominante en todas las lagunas del plano inundable.

2.1.5 Clorófitas

Las clórofitas son organismos eucarióticos con estadios biflagelados. Presentan dos formas de clorofilas, las clorofilas *a* y *b*; los cloroplastos tienen por lo general de tres a siete tilacoides, agrupados en bandas, así como también pirenoides con granulos de almidón periféricos. Los talos varían desde unicelulares hasta filamentosos, con estructura parenquimatosa o cenocítica. Los flagelos están por lo general en pares, son acronomaticos (lisos y sin filamentos evidentes) y están fijos a la región apical de la célula. La reproducción es asexual por medio de división celular o esporas móviles o inmóviles, o bien sexual mediante gametos generalmente móviles (Clinton, 1986).

2.2 Pigmentos fotosintéticos

La energía solar es usada para conducir los procesos de fotosíntesis y la conversión de energía radiante a energía química depende de pigmentos

fotosintéticos especiales que son contenidos usualmente en los cloroplastos del alga (Lalli y Parsons, 1993). Existen tres grupos principales: las clorofilas, los carotenoides y las ficobilinas. Los dos primeros tienen en común que son solubles en solventes de grasas y se diferencian entre sí, entre otras cosas, por que las clorofilas tienen nitrógeno y los carotenoides no (Balech, 1977). El pigmento dominante es la clorofila *a*, pero las clorofilas *b*, *c*, y *d* también están presentes en muchas especies y algunos de estos pigmentos también pueden participar en esta conversión (Lalli y Parsons, 1993).

Las clorofilas contienen un anillo de porfirina con magnesio como átomo central; la cadena lateral de ácido propiónico está estratificada en las formas *a* y *b* con un alcohol lipofílico de cadena larga (Strasburger *et al.*, 1997). Las clorofilas pueden ser destruidas por la luz, por un proceso de fotooxidación, cuando la intensidad es muy alta (Balech, 1977).

La clorofila *a* es el pigmento fotosintético primario de todos los organismos fotosintetizadores que desprenden oxígeno y está presente en todas las algas. Presenta dos bandas de absorción, una en la zona roja del espectro de la luz, a 660-665 nm y otra a una longitud inferior, próxima a 430 nm (Wetzel, 1981). La clorofila *b* desempeña un papel principal en todos los organismos que producen oxígeno en la fotosíntesis (Figura 1; Strasburger *et al.*, 1997), ya que funciona como un acumulador de luz, transfiriendo la energía luminosa absorbida a la clorofila *a* para la quimiosíntesis primaria. Las bandas de absorción máxima se encuentran aproximadamente a 645 nm y 435 nm (Wetzel, 1981). La clorofila *c*, bien distribuida en las feofíceas y en por lo menos dos grupos planctónicos de gran importancia: diatomeas y dinoflagelados, es un pigmento de color más pálido que la clorofila *a* (Balech, 1977), consta de dos componentes espectrales

distintos, funcionando probablemente como un pigmento accesorio del fotosistema II. Las bandas de absorción de máxima extracción se encuentran aproximadamente a 630-635 nm y a los 444-452 nm. Finalmente, la clorofila *d* tiene una función desconocida, ya que se trata de un componente pigmentario que se encuentra tan solo en determinadas algas (Wetzel, 1981).

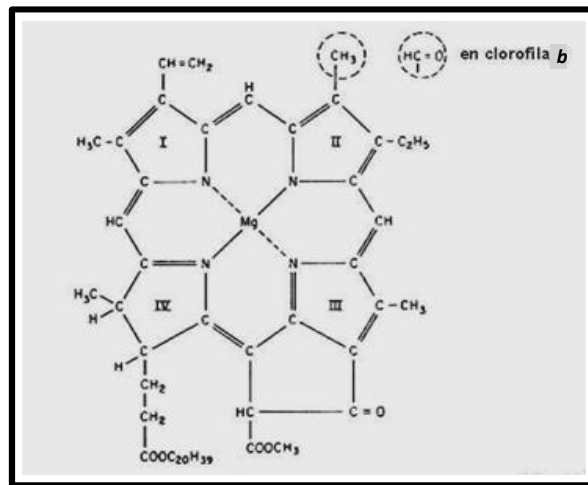


Figura 1. Estructura de las clorofilas *a* y *b* (modificado de Strasburger *et al.*, 1997).

Resaltando la incidencia de los periodos climáticos y teniendo en cuenta la biomasa fitoplanctónica se recopilan trabajos recientes como los de Campos *et al.* (2004) en la Bahía de Gaira durante el periodo seco, quienes reportaron concentraciones de clorofila *a* entre 0,21 – 2,24 mg m⁻³, llegando a sus picos a profundidades mayores de 15 m. Sin embargo, Barragán *et al.* (2003), para el periodo climático lluvioso, obtuvieron mayores concentraciones en las capas superficiales del agua en un rango de 0,10 – 4,38 mg m⁻³, los menores en profundidades mayores a 15 m. Garzón *et al.* (2000), reportaron para las Bahías de Santa Marta y Chengue (PNNT), durante el periodo septiembre 1998 hasta julio 1999, que incluye época seca y de lluvias, concentraciones promedio

de clorofila α de 0,46 mg m⁻³ (máximo= 3,4 mg m⁻³) y 0,84 mg m⁻³ (máximo= 7,0 mg m⁻³) para Chengue y Santa Marta, respectivamente.

Para la plataforma continental del Golfo de Salamanca y PNNT, Franco-Herrera (2001) encontró que las áreas presentan un mismo comportamiento espacial; sin embargo, la oferta de clorofila α , carbohidratos y proteínas es diferente temporalmente y sus concentraciones dependen principalmente del período climático y de los aportes de aguas dulces que llegan a la plataforma continental. Corroborando lo anterior, Franco-Herrera (2006), evaluó la variación estacional del plancton en el mar Caribe centro-sur de Colombia, cubriendo el Golfo de Salamanca y el Parque Nacional Natural Tayrona, durante las estaciones seca y lluviosa entre septiembre 1999 – mayo 2000. Encuentra concentraciones de clorofila α de 0,72–9,61 mg m⁻³ y 0,81–1,92 mg m⁻³ en época lluviosa y seca, respectivamente y densidades celulares entre 2000 cel m⁻² y 1300 cel m⁻², siendo más altas durante la época lluviosa. Atribuye estas claras diferencias entre períodos climáticos al aporte continental de aguas salobres y dulces a lo largo de la estación de lluvias y a la surgencia local en la estación seca.

Estos estudios son equiparables con lo reportado para otras zonas. Es así como, Barlow (1984), evaluó los cambios de la composición bioquímica y la asimilación de C-bicarbonato en productos fotosintéticos durante un bloom fitoplanctónico en el sur de Benguela. Registró que en la fase de declive los niveles de nitrato fueron < 1 mg m⁻³ y las concentraciones de clorofila α disminuyeron de 18 mg m⁻³ a 1 y 2 mg m⁻³. A medida que las células se sumergieron fuera de la capa de mezcla la concentración de clorofila α incrementó en las capas inferiores estables con un valor > 18 mg m⁻³. Para el norte de Chile, Santander *et al.*

(2001), en presencia del evento NIÑO 1997-1998 analizaron la respuesta de la biomasa fitoplanctónica a los cambios en la estructura física y química producidos por un evento de surgencia. Revelaron la existencia de un acoplamiento entre las variables físicas y químicas, y una alta variabilidad espacial y temporal en la concentración de clorofila a . Esta última se caracterizó por presentar un desfase de dos a tres días en su respuesta a condiciones favorables, observándose un cambio en las fracciones fitoplanctónicas responsables de las mayores biomásas. Finalmente, González *et al.* (2006), analizaron las fluctuaciones temporales y espaciales de los parámetros físicos, químicos, clorofila a y productividad primaria durante periodos de surgencia y no surgencia en la Bahía de Mochima, Venezuela. Reportaron la productividad primaria en períodos de no surgencia que varió de 0 a 417 mg C m⁻³ h⁻¹ y en surgencia de 76 a 426 mg C m⁻³ h⁻¹. La concentración de clorofila a en no surgencia fue de 1,11 a 8,57 mg m⁻³ y en surgencia de 4,21 a 44,59 mg m⁻³. La productividad primaria y la biomasa en ambos periodos fueron elevadas, particularmente en surgencia. En ambas sesiones los organismos fitoplanctónicos presentaron fuertes cambios temporales intradiarios que se manifestaron de acuerdo a eventos Lasker.

2.3 Algunos factores que modulan las interacciones medio abiótico y biótico

El plancton es extremadamente variable en abundancia temporal y espacial. Esto es especialmente cierto para el fitoplancton, del que depende el zooplancton. Sin embargo, muchos factores contribuyen en la variación de la abundancia del fitoplancton, siendo el factor dominante el movimiento del

agua. Este regula dos factores que son vitales para el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas: el intercambio de nutrientes con aguas profundas y la mezcla de aguas bajas y por lo tanto lejos de la exposición de la luz solar (Levinton, 2001).

Corresponde al fitoplancton recibir y transformar la energía solar en energía química para mantener la vida en los mares, siendo sus factores limitantes la luz, los nutrientes inorgánicos y la temperatura. En este marco, es importante destacar, que cada una de las especies de algas que componen las asociaciones fitoplanctónicas posee un intervalo de tolerancia entre los valores extremos de los factores físicos y químicos, produciéndose un crecimiento máximo al presentarse la combinación óptima de los factores interaccionantes (Álvarez, 1981; Wetzel, 1981).

2.3.1 Surgencia

La surgencia es el movimiento de agua relativamente profunda en el océano hacia la zona fótica, a partir de movimientos paralelos al gradiente de profundidad y perpendicular a la superficie. Su importancia radica en que es uno de los mecanismos mediante el cual las reservas de nutrientes de las regiones afóticas pueden ser introducidas a las aguas superficiales (Barnes y Hughes, 1988). La divergencia horizontal de las capas superficiales desde la costa, induce el transporte vertical ascendente para reemplazar el agua que ha sido retirada, las fuerzas que inician el flujo superficial divergente y el flujo subsuperficial que converge con la costa, permiten entender como la surgencia

funciona como un acople directo entre la atmósfera y la biota (Longhurst, 1981).

Zonas frontales muy largas se presentan a lo largo de los continentes debido a la circulación oceánica conducida por los vientos. Las fronteras continentales con mayor diferencia están asociadas con la Corriente de Humboldt y la Corriente de California en el Pacífico y con la Corriente Canarias y la Corriente de Benguela en el Atlántico. Corrientes como estas que fluyen hacia el Ecuador a lo largo de las costas occidentales de los continentes son conducidas lejos de la costa debido a la rotación hacia el este de la Tierra, es decir a la fuerza relativa de Coriolis y esto consecuentemente lleva a la surgencia costera (Lalli y Parsons, 1993).

El Caribe colombiano se ve influenciado por dos tipos de macrocorrientes principales. La corriente del Caribe generada por los vientos Alisios, y la contracorriente de Panamá (Franco-Herrera, 2005). A lo largo de la costa caribeña del sur, la ocurrencia de una fuerte divergencia en el campo de los vientos contribuye al desarrollo de procesos de surgencia elevando aguas desde profundidades de 150 y 200 m. Dicha surgencia, posee una marcada estacionalidad (Cabrera y Donoso, 1993), de manera que, el transporte vertical máximo se registra durante la estación seca, mientras que en la estación de lluvias, el mismo disminuye llegando a ser en ocasiones nulo (Donoso, 1989 En: Cabrera y Donoso, 1993).

Cuando la masa de agua sumergida aflora a la superficie adyacente a la costa se producen anomalías físicas y químicas debidas a que la temperatura, la salinidad y la cantidad de elementos nutritivos (*e.g.* nitrógeno, fósforo) del agua

son diferentes (Bula-Meyer, 1990). Esta condición es conservada por períodos cada año, por esta razón la cantidad y patrón de productividad biológica son distintas a otras regiones del océano (Longhurst, 1981).

Ecosistemas de surgencia costera existen donde el afloramiento transporta nutrientes inorgánicos desde abajo de la picnoclina a la capa eufótica; las altas concentraciones de “nuevos” nutrientes, son algunas de las propiedades largamente reconocidas de estos ecosistemas (Dugdale y Goering, 1967 En: Longhurst, 1981). La condición rica en nutrientes va a sostener altas tasas de crecimiento si el suplemento de luz es óptimo, el cual a su vez es controlado por la transferencia de propiedades atmosféricas (*e.g.* calor, frío) y régimen de turbulencia, el ambiente óptimo químico prepara el escenario para que los procesos físicos controlen la productividad primaria (Longhurst, 1981).

La mezcla vertical junto con el enfriamiento por vientos de aguas superficiales es un fenómeno incluso más importante. Este resulta en un florecimiento fitoplanctónico y subsecuentemente en el incremento de zooplancton (Kinne, 1982). Sin embargo, cuando en aguas de escasa fertilidad, cuyo contenido en nutrientes limita el desarrollo del fitoplancton, se introducen nutrientes, se incrementa la tasa de producción algal. Posteriormente, la densidad de las poblaciones fitoplanctónicas reduce progresivamente la luz disponible y la profundidad de la zona fótica. Inmediatamente, se alcanza un punto en el cual la propia sombra inhibe cualquier incremento de la productividad, aunque haya un exceso de nutrientes disponible (Wetzel, 1981).

Dentro de esta dinámica física y química de la surgencia, varios han sido los estudios realizados en el Caribe colombiano, así por ejemplo, Ramírez (1990)

evaluó la surgencia costera para las zonas de las Bahías de Santa Marta, Concha y Neguangué entre septiembre 1988 y septiembre 1989. Encontró que la surgencia para la zona costera de Santa Marta parece tener un efecto mayormente físico, dado que favorece la mezcla vertical de las aguas y ocasiona descensos notables de la temperatura superficial; desde el punto de vista hidroquímico tendría menores consecuencias biológicas, a juzgar por los bajos niveles de nutrientes inorgánicos transportados verticalmente a la capa fótica. Esto último, se puede atribuir a la naturaleza oligotrófica de la masa de agua subtropical localizada entre los 100 y 200 m de profundidad, que es la fuente de agua subsuperficial para la surgencia del Caribe sur. Sin embargo, Arévalo-Martínez y Franco-Herrera (*en prensa*), realizaron mediciones de variables atmosféricas, oceanográficas y biológicas, en las aguas costeras de la Ensenada de Gaira durante el período climático seco menor de 2006 y encontraron que tanto la información atmosférica, como oceanográfica y la biomasa fitoplanctónica, sugieren un incremento moderado en la fertilización de las aguas costeras específicamente de la Ensenada de Gaira, a causa del afloramiento de aguas profundas pertenecientes a la Masa de Agua Subtropical Sumergida (MASS), lo que permite clasificar el evento de surgencia local como mesotrófico, en lugar de oligotrófico. Igualmente, Franco-Herrera *et al.* (2006) evaluaron los cambios estacionales de la comunidad planctónica en el Golfo de Salamanca y PNNT, costa central-sur del Caribe colombiano, entre septiembre 1999 y mayo 2000. Encontraron diferencias en la composición taxonómica fitoplanctónica, entre períodos climáticos (*i.e.* lluvia y seca), y concentraciones de clorofila α altas. La variabilidad fue derivada del ingreso de agua dulce (estación lluviosa) y potencialmente a la surgencia (estación seca).

2.3.2 Flujo de ríos

Otra vía de fertilización proviene del flujo de los ríos, lo que induce el enriquecimiento de nutrientes de las áreas costeras, derivado ya sea de recursos naturales o fertilizantes de agricultura. Estos nutrientes enriquecen las aguas costeras e incrementan la productividad fuera de la boca del río. En adición, las aguas estuarinas son con frecuencia altamente productivas, debido a que el flujo del río en la superficie del mar causa que los nutrientes retenidos en capas subsuperficiales emerjan a la superficie (Lalli y Parsons, 1993). Generalmente este flujo exhibe bastante regularidad de ocurrencia relacionada con la temporada de lluvias. Sin embargo, la incorporación de nutrientes a partir de ríos, disminuye junto con el decremento del flujo (Kinne, 1982).

Es importante mencionar tres puntos: (a) Los componentes de la comunidad planctónica se convierten en menos abundantes a medida que se alejan de la boca del río, donde se da una mezcla progresiva de aguas enriquecidas con aguas marinas pobres, (b) La poca profundidad y la turbulencia cerca de la boca del río soporta la recurrencia de estados de descanso de plancteres temporalmente depositados en sedimentos, incrementando así, la diversidad de especies y (c) Una capa superficial de agua dulce puede dar soporte a plancteres (especialmente diatomeas) generalmente en alta abundancia (Kinne, 1982).

De acuerdo a lo anterior, Vásquez (2006) valora la dinámica estructural del fitoplancton entre diciembre 2004 y junio 2005 en zonas con influencia marina (C1) y zonas con influencia de agua dulce (C2) en la Bahía de Cispatá. Evidencia una diferencia espacial y temporal de la comunidad fitoplanctónica

asociada al gradiente de salinidad, la transparencia del agua y las variaciones en la concentración de nutrientes. Para C1 encuentra una composición fitoplanctónica dominada por diatomeas marinas en los meses secos, y formas estuarinas, diatomeas bentónicas y organismos oligohalinos como *Anabaena* en los meses húmedos. Finalmente para C2 reporta una gran riqueza de euglenófitas y clorófitas, típicas de hábitats de bajas salinidades con alto contenido de materia orgánica.

2.4 Factores que afectan y regulan la abundancia y distribución algal

2.4.1 Luz

El nivel medio de irradiancia – y entonces la de energía radiante disponible para la fotosíntesis- depende de la latitud y la temporada. En relación con la profundidad del agua, la iluminación depende de la turbidez, la cual, fundamentalmente depende a su vez de la cantidad de partículas suspendidas incluyendo el fitoplancton. Es generalmente admitido que el límite inferior de la capa fótica corresponde al 1 % de la iluminación incidente. En este contexto: no todos los fitoplancteres requieren o toleran los mismos niveles de iluminación. Dado que la irradiación excesiva es detrimental para la mayoría de los fitoplancteres y resulta en fotoinhibición, la abundancia fitoplanctónica máxima usualmente se presenta a la profundidad correspondiente a cerca de la tercera parte de la energía radiante incidente. Las especies móviles como los dinoflagelados y flagelados desnudos, pueden ajustar la profundidad para sus requerimientos específicos de luz (Kinne, 1982).

El crecimiento de las algas y las tasas de fotosíntesis están directamente relacionados con la intensidad cuantitativa de la luz. En general, el punto de saturación de luz de fotosíntesis y la tasa de fijación de carbono fotosintético incrementan al aumentar la intensidad de luz. No obstante, la respuesta a la intensidad lumínica es variable según las especies y, en muchas de ellas, se da un grado considerable de adaptación a los cambios de energía radiante. En muchas especies de diatomeas, la adaptación a estos cambios se efectúa solamente mediante cambios del punto de saturación de luz fotosintética. En este caso, el contenido de clorofila es el mismo en las células sometidas a intensidades de luz altas y bajas (Wetzel, 1981).

La luz radiante disminuye exponencialmente con el aumento de la profundidad (figura 2) y se convierte en un factor limitante para la fotosíntesis. La profundidad de compensación es la profundidad a la cual la cantidad de oxígeno producido por las células fitoplanctónicas en fotosíntesis iguala el oxígeno consumido en respiración; convirtiéndose así, en un indicador del potencial espacial de una célula fotosintetizadora.

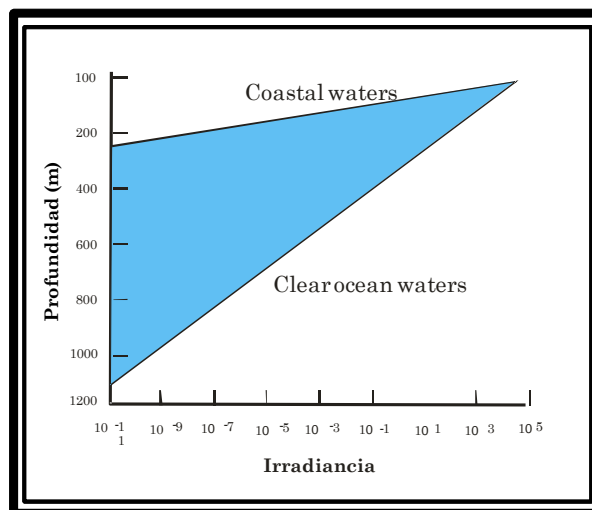


Figura 2. Disminución de la irradiancia lumínica con el aumento de la profundidad en aguas costeras y aguas claras oceánicas. Note que la luz está disminuyendo exponencialmente con la profundidad (tomado de Levinton, 2001).

2.4.2 Nutrientes

El océano es una solución de nutrientes en estado disuelto, con una capa superficial empobrecida debido al consumo de los organismos de la zona fótica, ya que, debido a la escasa penetración de la luz en el agua de mar, el fitoplancton se concentra principalmente en la capa eufótica, y son completamente dependientes del suministro de nutrientes. Por lo general, en su seno las concentraciones de fosfato y compuestos nitrogenados son muy bajas debido al consumo que de este nutriente hacen los organismos del plancton vegetal. Una parte de ellos, junto a los restos de los organismos animales que se alimentan de fitoplancton, sedimentan a una profundidad a la cual ya no existe la luz suficiente para los procesos fotosintéticos. En tales condiciones, en el breve transcurso de unas pocas estaciones, las capas superficiales se verían completamente desprovistas de P y N, y el primer eslabón de la cadena alimenticia quedaría anulado si no se activara un

mecanismo adecuado de reabastecimiento. Este es asegurado por fenómenos mecánicos que llevan a la superficie las aguas profundas ricas en elementos nutritivos, restableciendo la fertilidad de la zona eufótica del mar. La eficiencia de dichos mecanismos esta ligada esencialmente a las condiciones meteorológicas y a los movimientos del mar (Cognetti *et al.*, 2001; Levinton, 2001).

Macronutrientes. El nitrógeno y fósforo deben ser considerados como el factor más limitante desde el momento en el que su disponibilidad puede condicionar la producción biológica en las aguas superficiales. En concentración elevada, por el contrario, pueden dar lugar a fenómenos específicos, como la eutrofización de las zonas costeras (Cognetti *et al.*, 2001; Longhurst, 1981). Su concentración es extremadamente variable, ya sea regionalmente (por aportes costeros por parte de ríos, efluentes urbanos e industriales, y afloramientos), estacionalmente (en relación a la asimilación fitoplanctónica) o con la profundidad (figura 3).

Las distribuciones de dichos nutrientes en los tres océanos resultan parecidas: bajas concentraciones en los primeros 100-200 m y a continuación un rápido incremento a medida que aumenta la profundidad, hasta alcanzar valores estables en toda la columna de agua subyacente. Las bajas concentraciones observadas en todos los mares y océanos en la capa superficial están relacionadas con la extracción de nutrientes que efectúan los organismos fitoplanctónicos (Cognetti *et al.*, 2001).

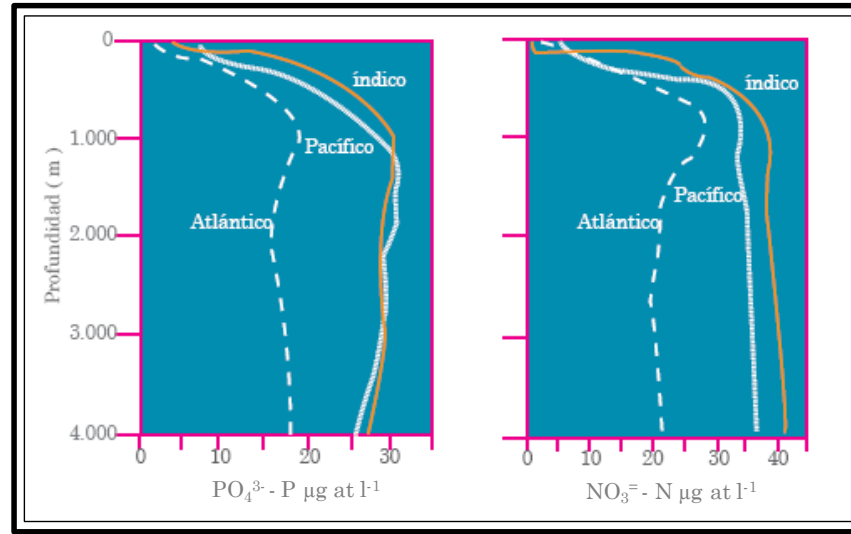


Figura 3. Distribución vertical media anual del fosfato y nitrato en los tres océanos principales (tomado de Cognetti *et al.*, 2001).

Nitrógeno: el nitrógeno es requerido para la síntesis de proteínas y se presenta en tres formas inorgánicas disueltas principales: amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), y nitrito (NO_2^-). El nitrógeno también se presenta en forma orgánica disuelta como urea, aminoácidos y péptidos. El amonio es la forma preferida de nitrógeno ya que no requiere una reducción química para ser usado en la síntesis de proteínas y demanda menor consumo de energía celular. Por el contrario, el nitrato debe ser reducido a nitrito por la enzima nitrato reductasa y requiere la presencia de molibdeno como un oligoelemento para su asimilación. Posteriormente, el nitrito debe ser reducido por la enzima nitrito reductasa a amonio y su asimilación requiere de luz; de esta forma la asimilación de nitrato y nitrito demanda un mayor gasto energético por parte de la célula (Álvarez, 1981; Balech, 1977). El suministro de nitrógeno para el fitoplancton puede ser dividido entre el provisto a partir de nueva producción y el provisto a partir de producción regenerada (Levinton, 2001).

El ciclo comienza cuando los nutrientes disueltos son incorporados a materia orgánica viva mediante el fitoplancton. Luego, cuando la materia viva muere, los nutrientes son regenerados, o liberados, a medida que las bacterias descomponen el material. La dependencia del reciclaje de estos compuestos afecta profundamente la producción epipelágica (Castro y Huber, 2000).

Como se mencionó anteriormente el suministro de nitrógeno depende de procesos de intercambio con aguas profundas, como la surgencia y la mezcla por vientos. La inyección de nuevo nitrógeno en la zona eufótica resulta no solo en el incremento de la producción fitoplanctónica, sino que también, en la aceleración de actividad de los organismos heterotróficos responsables de la remineralización. La naturaleza de la red trófica pelágica local es tal que el ingreso de nuevo nitrógeno eleva la producción primaria y al mismo tiempo el flujo de este nutriente regenerado, vía animales y bacterias, retorna hacia el fitoplancton, así que, se puede esperar que el ingreso de nitrato incremente el nitrógeno, el carbono y el flujo de energía a través de la red trófica, al menos al grado al que los elementos de la red trófica están presentes y responsables (Eppley *et al.*, 1979 En: Longhurst, 1981).

Fósforo: el fósforo se presenta en el agua de mar principalmente como fosfato inorgánico, es requerido para la síntesis de ATP y es una fuente de energía crucial en las reacciones enzimáticas. También se presenta como fósforo orgánico particulado. El fosfato es la forma preferida por el fitoplancton y se intercambia rápidamente entre el fitoplancton y el agua de mar. Es tomado rápidamente por los organismos fitoplanctónicos tanto en la luz como en la oscuridad y la concentración en la superficie es usualmente algo baja (Levinton, 2001; Álvarez, 1981). Su tendencia a formar compuestos difíciles de disolver

constituye uno de los problemas ecológicos más graves por cuanto el fósforo se va “retirando” del ciclo biológico y solo parte de él vuelve a incorporarse por acción del viento sobre las rocas, las salpicaduras del mar y los afloramientos oceánicos. Los océanos Pacífico e Índico tienen una cantidad de fosfatos mayor que el Atlántico (Álvarez, 1981).

Proporción nitrógeno/ fósforo (N/P) en el mar: la proporción N/P es cerca de 15 a 16 en fitoplanctones vivos; la proporción N/P entre 10 y 20 parece ser requerida para el desarrollo adecuado de comunidades fitoplanctónicas donde las diatomeas generalmente predominan (Levinton, 2001; Kinne, 1982).

Lamentablemente, un mecanismo claro que explique la magnitud observada de la proporción Redfield N:P 16:1 para el fitoplancton o para el océano profundo ha sido ambiguo. Mucho tiempo ha sido reconocido que existen condiciones bajo las cuales la estequiometría del fitoplancton diverge de la proporción canónica de Redfield; además, un número de procesos alejan la existencia de nutrientes oceánicos de la proporción Redfield, incluyendo cambios en la entrega exógena de nutrientes y el metabolismo microbiano (e.g, la fijación de nitrógeno, desnitrificación y oxidación anaeróbica del nitrógeno; Arrigo, 2005).

Al nivel más básico el balance N:P del fitoplancton existente refleja la composición elemental retenida desde su historia evolutiva. En el caso del fitoplancton eucariota, las dos superfamilias principales (Chlorophytas y Rhodophytas) difieren marcadamente en su proporción celular N:P, con la superfamilia verde exhibiendo proporciones significativamente altas con respecto a la roja (i.e. verde N:P \approx 27; roja N:P \approx 10). Sin embargo, todas las relaciones N:P no pueden ser explicadas por el linaje evolutivo de un

organismo. La estequiometría altamente dinámica exhibida por las algas unicelulares refleja su habilidad para almacenar nutrientes en fondos internos, cambios entre enzimas con requerimientos nutritivos diferentes y modificaciones en la composición osmolar. Las variaciones de baja frecuencia están relacionadas con cambios en los elementos estructurales de la célula fitoplanctónica. De igual manera, diferentes componentes celulares tienen propiedades estequiométricas propias únicas. Más notablemente, la maquinaria de adquisición del recurso (luz o sustancias nutritivas), como proteínas y clorofila, es alta en N, pero baja en P, mientras que la maquinaria de crecimiento, como el ARN ribosomal, es alto tanto en N como en P. Como estos componentes constituyen una proporción grande de material celular, los cambios de sus dimensiones relativas tienen un efecto marcado sobre el balance final de la proporción celular N:P (Arrigo, 2005).

De cualquier manera, las partículas fitoplanctónicas son más ricas en nitrógeno, lo que sugiere que aunque el fósforo y nitrógeno son consumidos en la fotosíntesis, este último es un factor limitante en la producción primaria (Levinton, 2001; Kinne, 1982).

2.4.3 Temperatura

La temperatura del agua es una de las propiedades físicas más importantes del medio marino, ya que esta ejerce una influencia en muchos eventos físicos, químicos, geoquímicos y biológicos. La temperatura controla la tasa a la cual reacciones y procesos biológicos (como el metabolismo y crecimiento) tienen lugar. Variaciones en la temperatura y salinidad se combinan para determinar

la densidad del agua, lo que influencia fuertemente sus movimientos verticales, que en consecuencia cambia eventos biológicos y químicos en la columna de agua. La temperatura del agua, en parte, determina la concentración de gases disueltos en el agua de mar, esto incluye oxígeno y dióxido de carbono, los cuales están profundamente relacionados con los procesos biológicos. Es también uno de los factores abióticos más importantes influenciando la distribución de especies marinas (Lalli y Parsons, 1993).

La temperatura en superficie, además de variar en el transcurso del mismo día (en algunos °C), depende obviamente de la alternancia de las estaciones, de la cercanía de los bloques continentales, de la acción del viento, corrientes, nubosidad y, en general, de todos los factores climáticos que interfieren en la radiación solar. Como norma, por debajo de la capa superficial la temperatura del agua tiende a disminuir con la profundidad hasta alcanzar una condición de homeotermia en todas las cuencas oceánicas. Como consecuencia del calentamiento de la superficie oceánica se origina una estructura térmica en tres capas (figura 4): una capa superficial mezclada, en la que el calor debido a la irradiación solar se transmite en profundidad a causa de la mezcla producida por los vientos; una zona de transición en la que la temperatura disminuye de modo repentino (termoclina permanente) y, una zona profunda en la que la temperatura se mantienen relativamente constante, alrededor de los 2-3 °C, al aumentar la profundidad (Cognetti *et al.*, 2001).

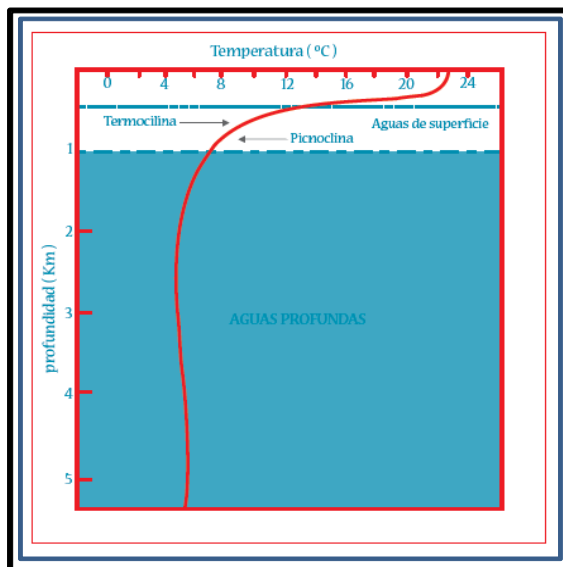


Figura 4. Estructura térmica de tres capas en las aguas oceánicas en las latitudes bajas y medias (modificado de Cognetti *et al.*, 2001).

La temperatura alta intensifica más la respiración que la fotosíntesis; entonces, el aumento de la temperatura puede ser desfavorable para la producción primaria, excepto en el caso de tratarse de intensidades luminosas muy altas, acompañadas de concentraciones de clorofila, asimismo, relativamente muy elevadas (Margalef, 1991).

Aunque se considera que la fotosíntesis es una reacción atérmica, en particular las reacciones de la fase clara, la producción primaria está influida en grado diverso, tanto directa como indirectamente, por la temperatura. Los procesos catabólicos íntimamente conectados con los productivos, dependen de la temperatura. Además, en la naturaleza, el desarrollo y los procesos productivos de las especies algales están en relación con su óptimo térmico (Cognetti *et al.*, 2001).

Dado que, las especies marinas tienen límites termales, se imponen fronteras geográficas latitudinalmente y los rangos de muchas especies marinas coinciden con las regiones que tienen los mayores altos latitudinales en temperatura. Para los organismos poiquiloterms (*i.e.* organismos que regulan su temperatura interna), un aumento en la temperatura causa un incremento en las tasas metabólicas. En general, los procesos metabólicos son incrementados por el factor 2 por cada 10 °C (Nybakken y Bertness, 2004). Este costo reduce las reservas energéticas de los animales y, entonces, reduce la tasa de crecimiento. Igualmente, altas temperaturas pueden causar el desdoblamiento de las proteínas produciendo daños irreversibles (Levinton, 2001). Sin embargo, este parámetro que puede variar bastante en la biosfera terrestre para influenciar la productividad, también tiene un considerable rango de variación en el ambiente marino. Este rango casi nunca alcanza límites letales y ya que los cambios son siempre graduales de acuerdo a las propiedades físicas del agua, la temperatura es de menor importancia para la productividad del océano, en comparación con la luz y el suplemento de nutrientes (Nybakken y Bertness, 2004). La temperatura puede ser más importante como una covariable con otros factores que como una variable independiente. Por ejemplo, a bajas temperaturas las células mantienen altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos, enzimas y carbón (Steeman-Nielsen y Jorgensen, 1968 En: Millero, 2005). Esto puede resultar en un mejor uso de la luz a bajas temperaturas y en una tasa fotosintéticas más alta. Finalmente, además de su efecto directo en la velocidad de fotosíntesis, la temperatura también influye directamente sobre la producción primaria a través de sus acciones sobre el movimiento y mezclas de las aguas y, consecuentemente, sobre la disponibilidad de nutrientes en los niveles eutróficos (Tait, 1987).

2.4.4 Salinidad

La salinidad puede ser definida como el peso total (en gramos) de sales inorgánicas disueltas en 1 kg de agua de mar. Análogamente a la temperatura, presenta una distribución casi simétrica en los dos hemisferios. Las salinidades más altas (36-37) se observan alrededor de los 20°-30° de latitud norte y sur, que corresponden a las zonas de máxima evaporación y en los continentes a las áreas desérticas. En las áreas ecuatoriales la salinidad es menor (35) y hacia latitudes más altas decrece más todavía. Así mismo, en las zonas costeras la salinidad es generalmente más baja debido a los aportes fluviales, pero puede aumentar por la acción de los vientos que favorecen la evaporación o por el afloramiento de aguas profundas más saladas (eventos de divergencia o surgencia; Lalli y Parsons, 1993).

La variación de la salinidad en aguas superficiales es mucho más amplia que en aguas profundas, debido a las interacciones mar superficial – atmósfera, en términos de evaporación, y precipitaciones, entre otras. A diferencia, las aguas profundas no se ven fuertemente influenciadas por dichos eventos y en consecuencia tienden a ser más homogéneas (Lalli y Parsons, 1993).

La salinidad es un factor que puede limitar la distribución de los organismos pelágicos, dependiendo de sus rangos de tolerancia (eurihalinos o estenohalinos). Sin embargo, en aguas oceánicas, parece no ser un factor importante en la distribución y abundancia fitoplanctónica (Kinne, 1982). En hábitat poco profundos, la salinidad puede cambiar rápidamente en escalas espaciales muy cortas. Esto significa un reto para los organismos marinos, los cuales están generalmente adaptados a rangos estrechos de salinidad. Para

operar eficientemente, usando un grupo de reacciones bioquímicas específicas, los organismos marinos deben mantener condiciones químicas medianamente constantes dentro de sus células. Cualquier proceso que cause cambios significativos en la química celular va a afectar a los organismos marinos. Cambios significativos en constituyentes celulares inorgánicos disueltos como potasio y sodio van a afectar fuertemente la función de proteínas importantes. La cantidad de sales también afecta la tasa catalítica y la interacción sustrato-enzimas (Levinton, 2001).

Una de las consecuencias inmediatas de las variaciones de salinidad son los cambios de presión osmótica que se dejan sentir sobre los tejidos de los seres vivos. Las especies que tienen la misma presión osmótica que el agua en que viven, teniendo sus líquidos internos una composición análoga a la del agua del mar, disminuyen la presión osmótica a medida que disminuye la salinidad hasta igualarse de nuevo, lo que se verifica mediante absorción de agua, o bien, por pérdida de sales a través de las membranas. Algunas de estas especies, que no están en capacidad de regular no pueden soportar cambios osmóticos, por lo que su área de dispersión está limitada a las aguas oceánicas (Fraga, 1972).

2.4.5 Movimiento del agua y hundimiento

Los movimientos del agua no solo son importantes en cuanto al desplazamiento físico de algas entre el interior y el exterior de la zona fótica, sino que son decisivos en el transporte vertical de materia mineralizada a partir de zonas profundas y de zonas litorales hacia las zonas libres. La turbulencia y el

movimiento del agua son obviamente decisivos en la regulación básica de la periodicidad de las algas y en la producción (Wetzel, 1981).

Es evidente que en las aguas donde la luz se atenúa de forma casi exponencial al aumentar la profundidad (figura 2), la caída fuera de la zona fótica representa un claro inconveniente para las algas fotosintéticas. El movimiento de la célula a través del agua, ya sea debido a su propia motilidad, ya sea por hundimiento rompe los gradientes de nutrientes alrededor de la célula, aumentando las probabilidades de contacto con las moléculas de nutrientes ya que la difusión es muy lenta. Así, el inconveniente de caer fuera de la zona fótica, lo cual normalmente es fatal, se ve compensado por el movimiento y transporte debido a la turbulencia del agua (Wetzel, 1981).

2.4.6 *Eventos NIÑO y NIÑA*

El Niño y la Niña son condiciones anómalas en la temperatura del océano en el Pacífico Tropical Este. Bajo la definición más aceptada, El Niño y La Niña corresponden al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0,5 °C o más, por encima y por debajo, respectivamente, de la media del periodo 1961-1990 (Alfaro, 2000). Es decir, el evento de La Niña es caracterizado por temperaturas inusualmente frías en el Océano Pacífico Ecuatorial, comparado a El Niño, que es caracterizado por temperaturas inusualmente calientes en el Océano Pacífico Ecuatorial (INSIVUMEH, 2006).

Este evento tiene su génesis en la zona del Pacífico Ecuatorial, la cual se caracteriza normalmente por la persistencia de un flujo de vientos del noreste

(Alisios), los cuales provocan un forzamiento sobre el océano y establecen un desequilibrio energético en el sentido este-oeste, ya que acumulan el agua tropical más caliente en el lado oeste del océano Pacífico, cerca de Indonesia. En esta región oceánica la presión superficial es mayor al este que al oeste del océano y los Alisios fluyen de este a oeste acumulando calor y humedad de la capa tropical oceánica. La convección profunda, formación de nubes y lluvias intensas, se experimenta al oeste del océano, ya que el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la zona de convergencia de los Alisios. Vientos del oeste en la alta atmósfera proveen un flujo de retorno. Cielos claros y aire subsidente se encuentran al este del Océano (Alfaro, 2000).

Como un resultado de un debilitamiento en los vientos Alisios, durante El Niño, las aguas cálidas del Pacífico Tropical (usualmente ubicadas al oeste) se expanden al este hacia las aguas frías de América del Sur. La variabilidad oceánica y atmosférica está acoplada entre sí, de tal manera que los cambios observados en las aguas oceánicas se reflejan en la atmósfera y viceversa, haciendo que la atmósfera modifique paulatinamente, su comportamiento en varias partes del mundo (INSIVUMEH, 2006).

Los estudios relativos a las consecuencias climáticas del evento El Niño demuestran que su influencia probablemente depende de la región y otras condiciones ambientales, pudiendo afectar el patrón de caudales de los ríos y favorecer la ocurrencia de sequías. Igualmente se considera que este evento afecta principalmente el Caribe en la temporada seca (diciembre – abril), haciéndola más cálida y seca que en condiciones normales y con posibles retrasos en el inicio de la temporada de lluvia (mayo – junio) (Lozada *et al.*, 2002).

La Oscilación Sur del Niño (ENSO) ha sido identificada como uno de los factores administrativos en la variabilidad climática interanual en la cuenca caribeña (Giannini *et al.*, 2000 En: Blanco *et al.*, 2005). Un evento ENSO causa extensas anomalías tropicales en la circulación atmosférica con un efecto directo en la variabilidad de lluvias y un efecto indirecto en las temperaturas medias del mar superficial (Alexander *et al.*, 2002 En: Blanco *et al.*, 2005).

55281 26 de enero

Ha sido reconocido que ENSO causa cambios en el caudal de ríos del Caribe colombiano. Sin embargo, los caudales de los ríos Fundación, Sevilla y Magdalena se ven mayormente afectados por las anomalías causadas por el evento Niña que por el Niño. Así, los flujos tributarios parecen ser afectados en una escala mayor por eventos extremos La Niña, que se evidencian en valores altos de flujos y corrientes, mientras que eventos El Niño van a causar menor flujo de los tributarios, traducido en sequías (Blanco *et al.*, 2005).

Para la zona de estudio no se han reportado estudios del comportamiento de la comunidad fitoplanctónica frente a eventos Niño/Niña.

3. Problema de investigación

El objetivo fundamental del proyecto fue evaluar algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica presente en eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano, en el periodo comprendido entre febrero-junio de 2008, a partir de la variación espacio-temporal, composición, abundancia y concentración de pigmentos fotosintéticos en la columna de agua entre 0 y 60 m de profundidad. Así mismo, se proyectó identificar la respuesta de esta comunidad frente a cambios en la dinámica oceanográfica y su oferta alimenticia a pequeña escala para los diferentes eslabones de la red trófica pelágica.

4. Objetivos específicos

- Caracterizar algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica (*i.e.* composición, abundancia, biomasa fitoplanctónica) y determinar la biodiversidad a nivel de géneros presente; en eventos de surgencia y no surgencia.
- Valorar la oferta alimenticia por parte de la comunidad fitoplanctónica en términos de biomasa a partir de las concentraciones de sus pigmentos fotosintéticos.
- Establecer si hay diferencias en la abundancia y composición de la comunidad fitoplanctónica a través de los diferentes periodos climáticos (*i.e.* seca mayor y lluviosa menor), y entre las estaciones incluidas en el muestreo.
- Evaluar los efectos de la dinámica de los campos de viento y las propiedades fisicoquímicas de la columna de agua, obtenidos a partir de información secundaria, sobre la oferta de fitoplancton como fuente alimenticia.
- Documentar el efecto del evento atmosférico La Niña 2007/2008 sobre la dinámica de la comunidad fitoplanctónica presentes en las Ensenadas de Gaira y Granate y Bahía de Taganga.

5. Hipótesis

- El fitoplancton en esta región presenta al menos dos grupos principales de taxa. Uno asociado a aguas frías con predominancia de diatomeas y otro a aguas relativamente más cálidas con presencia tanto de diatomeas como dinoflagelados.
- La abundancia y biomasa de fitoplancton sigue una tendencia con mayores concentraciones en sectores influenciados por surgencia, en contraste a zonas con aguas más cálidas.
- Existe una alta variabilidad tanto espacial como temporal en la biomasa fitoplanctónica y un fuerte acople con el ambiente físico y químico de la columna de agua.
- El estrés que el viento ejerce sobre la superficie del océano introduce energía en la dimensión vertical y horizontal que afecta positivamente la biomasa fitoplanctónica, ya sea por la turbulencia que genera fluctuaciones en la capa de mezcla (*i.e.* eventos Lasker), como por la transformación de la capa superficial a consecuencia del movimiento costa afuera de esta masa.
- La oferta de nutrientes provenientes de los eventos de surgencia en comparación con eventos de no surgencia, se traduce en mejores condiciones fisiológicas del fitoplancton (*e.g.* clorofila *a*:feopigmento $a>1$).
- La acción del evento atmosférico Niña 2007/2008 tiene como consecuencia un debilitamiento en los campos de vientos locales y en consecuencia en los eventos de surgencia y paralelamente un efecto negativo en la biomasa fitoplanctónica

6. Metodología

6.1 Área de estudio y estaciones de muestreo

El área de estudio se encuentra al noreste de Colombia, en el Departamento del Magdalena, sobre la costa Caribe y comprende la región de Santa Marta y el área de contingencia del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), ubicados entre las coordenadas 11°15'- 11°22' N y 73°57'- 74°12' W (figura 5; INVEMAR, 2000).

El contorno de la costa del sector de Santa Marta incluye las Ensenadas de Gaira, Granate y Bahía Taganga cuyos costados occidentales están más expuestos al viento, al oleaje y algunos islotes rocosos (*e.g.* Isla Aguja), producto de prolongaciones interrumpidas por el mar de las estribaciones montañosas de la Sierra Nevada de Santa Marta (Franco-Herrera, 2005; INVEMAR, 2000).

Las masas de agua del área son afectadas por dos tipos de corrientes estacionales: las superficiales y la ascensional. Entre las primeras se destacan la corriente Caribe con dirección este-oeste, cuando los vientos Alisios y la surgencia están presentes, y la contracorriente Panamá - Colombia, con dirección oeste-este, presente durante las épocas húmedas, cuando los vientos Alisios y la surgencia están débiles o ausentes. La segunda es la surgencia de aguas profundas de temperatura menor (21–24° C) y alta salinidad (36,5-37,2), cuya intensidad aumenta durante la época seca y tiende a desaparecer durante la época húmeda (Bula-Meyer, 1990).

El régimen climático del Caribe colombiano se encuentra principalmente bajo la influencia de los desplazamientos norte sur de la Zona de Convergencia

Intertropical (ZCIT) (Andrade, 2000 En: INVEMAR, 2004). Dicha zona, al colocarse sobre la masa de tierra de centro y suramérica, da como resultado una ubicación favorable a las perturbaciones meteorológicas sinópticas y de mesoescala, produciendo normalmente una fuerte precipitación (Andrade, 1993). En el periodo diciembre – abril a lo largo del Caribe la ZCIT permanece en el hemisferio sur y produce la confluencia en el campo de las corrientes de aire que conduce a fuertes y uniformes vientos Alisios del noreste sobre toda la cuenca. Cuando la ZCIT sale de la cuenca hacia el norte, la aparición de los vientos del este cambia consecutivamente produciéndose la estación de lluvias, con vientos suaves y un desarrollo extenso de convección con presencia de severas tormentas a lo largo del Caribe occidental (Andrade, 1993).

El clima del Caribe colombiano se caracteriza en general como tropical semiárido, con dos periodos climáticos principales, la época seca (verano) y la época lluviosa (invierno) y una época de transición compuesta por un periodo lluvioso menor (*i.e.* mayo-junio) y seco menor (*i.e.* julio-agosto), este ultimo conocido también como “el veranillo de San Juan” (Franco-Herrera, 2005; INVEMAR, 2004; Camacho, 1998).

La época seca comprendida entre los meses de diciembre a abril, se caracteriza por vientos fuertes con predominio de las direcciones del norte y el noreste, con velocidades promedio de 13,5 nudos. Las lluvias son débiles y escasas, no sobrepasan los 50 mm mes⁻¹, siendo enero y febrero los meses de más bajos índices de precipitación y caudales hídricos mínimos del orden de 100 m³ s⁻¹ (Molina *et al.*, 1994 En: INVEMAR, 2004). Es normal para esta época del año, tras la ocurrencia de una fuerte divergencia en el campo de los vientos, el desarrollo del proceso de surgencia caracterizado por la presencia de aguas con

temperaturas relativamente bajas y altas salinidades (Camacho, 1998; Bula-Meyer, 1990).

La época de invierno, comprendida entre los meses de agosto a noviembre, se caracteriza por lluvias abundantes, presentando los mayores valores para el mes de octubre con una máxima de 270 mm mes⁻¹. En esta época se presentan los caudales máximos de agua dulce; el intercambio de calor en la interfase del mar y el aire se disminuye ya que la velocidad del viento se reduce también. Los Alisios tienen poca influencia en la distribución de la temperatura, la salinidad, y el oleaje, aumentándose la influencia de la contracorriente de Panamá-Colombia (Andrade, 2000 En: INVEMAR, 2004). Para la época de transición los vientos no superan los 10 nudos, siendo más frecuentes los valores bajos, mientras que las direcciones presentan un predominio de los componentes norte y este (INVEMAR, 2004).

En síntesis, las condiciones generales para el periodo anual de temperatura ambiente (T°Am), temperatura del agua (T°Ag) y salinidades (Sal), se encuentran comprendidas entre los siguientes rangos: 20 - 37°C T°Am, 21 - 29 °C T°Ag y 24,8 - 37 Sal (Acosta, 1989 y De Jongh, 1990 En: Martínez y Acosta, 2005).

Ensenada de Gaira: se localiza entre los 11°10'44" y 11°13'24" N y entre los 74°14'42" y 74°14'43" W (figura 5), entre el cerro de Gloria al sur y el cerro San Fernando al norte. Hacia el este limita con el balneario de El Rodadero y la carretera Santa Marta-Cienaga y hacia el oeste con el mar Caribe. En términos generales, las formaciones rocosas y arenosas presentan una vegetación asociada que corresponde a monte espinoso tropical y a cactales. La influencia de las aguas dulces en la Ensenada de Gaira está dada principalmente por la

desembocadura de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el río Magdalena, además de una serie de ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta (e.g. Córdoba), la única descarga directa de aguas continentales se presenta hacia el sur de la Ensenada y corresponde al río Gaira. Por otra parte, hacia la zona norte de la Ensenada penetra una corriente principal costera en dirección sur, la cual se ve afectada por el efecto de borde de Punta Gaira, que genera un giro antihorario que puede desplazar el agua hacia el oeste, mar adentro. Durante la época seca se registran valores de temperatura entre 23 y 26 °C, mientras que durante las lluvias alcanza valores entre 27 y 28 °C con una ligera estratificación térmica en la capa de mezcla. La salinidad puede tener valores en el rango de 35 a 38 UPS, mientras que en la época lluviosa puede variar desde 30 hasta 35 UPS (Franco-Herrera, 2005).

Bahía Taganga: se encuentra ubicada entre 11°14'76" y 11°10'61" N y 74°18'24" y 74°17'08" W (figura 5), está constituida por una plataforma continental angosta, es muy estrecha, encontrando fuertes pendientes a solo 2 km de la costa (Díaz, 1990 En: Bermúdez, 1999), las corrientes son poco perceptibles y en la primera mitad del año se evidencian temperaturas de 26 °C, salinidades de 37 UPS y transparencia de hasta 9 m. En el segundo semestre del año, cuando predomina la época lluviosa, la temperatura superficial puede aumentar hasta 28 °C y la salinidad y transparencia se comportan similares a la primera mitad del año (SILAKANGAMA, 2005 En: Montaña, 2006).



Figura 5. Zona costera del Departamento del Magdalena, indicando la localización de las tres estaciones muestreadas (señaladas con puntos blancos): Ensenada Gaira, Bahía Taganga y Ensenada Granate. Escala 10,25 km (modificado de Google Earth, 2008).

Ensenada de Granate: se encuentra ubicada entre $11^{\circ}09'02''$ y $11^{\circ}11'01''$ N y $74^{\circ}17'08''$ y $74^{\circ}18'04''$ W (figura 5). Es una pequeña bahía ubicada entre Cabo de la Aguja (que actúa como un rompeolas, protegiéndola del efecto directo del oleaje y los vientos Alisios del noreste) y Punta Granate, a 6,5 km al noreste de Santa Marta. La zona central de la bahía es arenosa y somera y los bordes rocosos pueden presentar comunidades coralinas desde los 5 hasta los 24 m de profundidad (Martínez y Acosta, 2005).

6.1 Diseño muestral

Se realizaron seis salidas de campo, correspondientes al 22 de febrero, 7 de marzo, 4 de abril, 25 de abril, 6 de junio y 23 de junio de 2008, cuando se presentan las mayores (*i.e.* 3,5 m s⁻¹) y menores (*i.e.* 2,6 m s⁻¹) velocidades del viento, para el primer semestre del año (figura 6). Se establecieron tres locaciones en las coordenadas 11° 16' 57" N – 74° 12' 40" W (Ensenada de Granate) , 11° 15' 54" N - 74° 12' 40" W (Bahía de Taganga) y 11° 12' 44" N – 74° 14' 44" W (Ensenada de Gaira).

Para la valoración de la columna de agua, se siguió el método Eurliano, es decir, se evaluó en un punto fijo el comportamiento de las variables biológicas. Se efectuó un muestreo para cada estación y dado que la distribución de las condiciones físicas y químicas en la columna de agua no es uniforme (Margalef, 1991) se eligieron cuatro estratos comprendidos entre 0 - 60 m de profundidad, para finalmente determinar si existen diferencias espacio-temporales en la composición y abundancia fitoplanctónica.

6.2 Componente biótico

6.3.1 Fase de campo

6.3.1.1 Muestreo variables biológicas

Haciendo uso de la botella Van Dorn de cierre automático por mensajero, se tomaron muestras a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad, posteriormente éstas se

dividieron en dos, para pigmentos fotosintéticos y para composición y abundancia. Las primeras fueron depositadas en frascos oscuros de 2 l de capacidad nominal y se refrigeraron en neveras de icopor, mientras que las últimas se almacenaron en recipientes plásticos de 2 l de capacidad nominal, fijados con formalina al 4 %, neutralizada con borax y glicerina y se refrigeraron en neveras de icopor. Análogamente, se efectuó un arrastre vertical desde los 60 m de profundidad hasta la superficie, haciendo uso de una red cónica simple de 30 cm de diámetro de boca y poro de malla de 63 μm , estas se fijaron mediante el proceso anteriormente indicado, para de esta manera complementar el muestreo preliminar y estimar la composición fitoplanctónica local.

6.3.1.2 Muestreo variables físicas y químicas

Simultáneamente junto con las variables biológicas, en las mismas estaciones y profundidades, se obtuvieron variables oceanográficas (*i.e.* temperatura del agua, salinidad, profundidad de la capa fótica, turbulencia, pH, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos); las variables atmosféricas velocidad y dirección del viento fueron obtenidas una semana previa a los muestreos, a partir de la estación meteorológica Davis-Wizard III, ubicada a 10 msnm en la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá, sede Santa Marta, en el proyecto *Dinámica en el acoplamiento océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica durante un evento de surgencia y no surgencia en la zona costera del Departamento del Magdalena* del Macroproyecto **Variabilidad oceanográfica en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano: un sistema de alto valor trófico**, las cuales fueron

analizadas como factores que pueden influenciar a la comunidad fitoplanctónica.

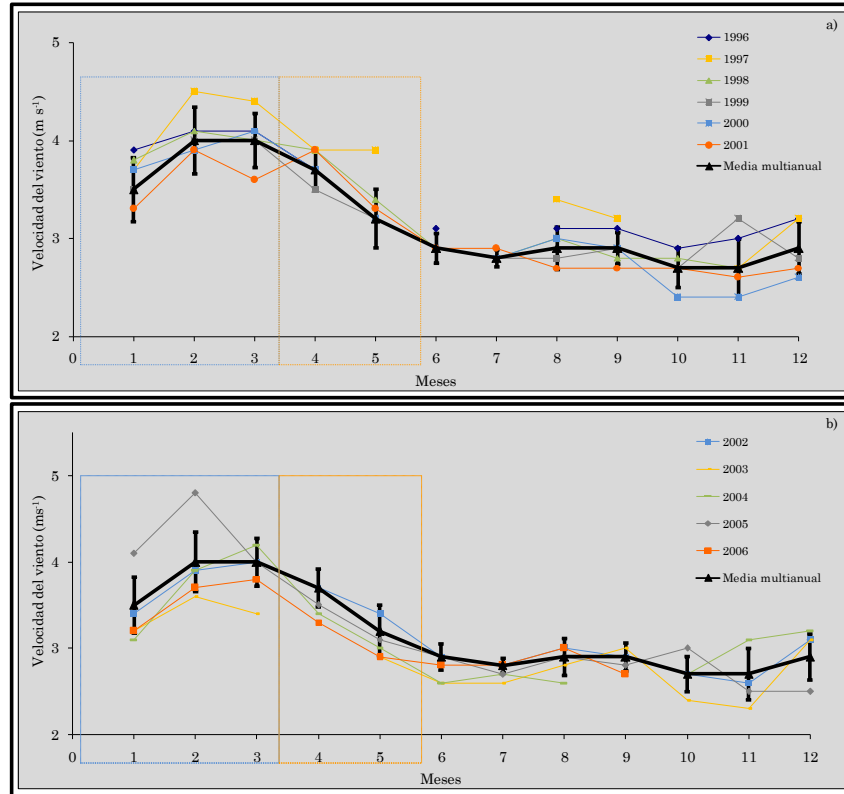


Figura 6. Serie de tiempo de velocidad del viento (m s^{-1}), Departamento del Magdalena. (a) Desde el año 1996 al 2001. (b) Desde el año 2002 al 2006. Se muestra la media multianual como referencia general. Escala secuencial de enero (1) a diciembre (12). Los recuadros azul y naranja punteados indican los valores más altos y más bajos del primer semestre del año (estación Meteorológica Aeropuerto Simón Bolívar, IDEAM, 2007).

6.3.2 Fase de laboratorio

Pigmentos fotosintéticos: para determinar la concentración de los pigmentos fotosintéticos, se efectuó la técnica sugerida por Strickland y Parsons (1972), descrita y modificada en INVEMAR (2003). Un volumen de agua de mar se

filtró en un filtro sintético Whatman GF/C. Posteriormente los pigmentos fueron extraídos mediante solución de acetona al 90 %, el filtro se destruyó mecánicamente y su concentración se determinó a través del método espectrofotométrico, midiendo la absorbancia de la muestra en 750, 665, 645, 630, y 480 para determinar la corrección de turbidez y la concentración de clorofila a, b, c y carotenoides. Finalmente, para obtener la concentración de feopigmentos, la muestra fue acidificada con ácido clorhídrico (HCl) al 1%, y se midió nuevamente la absorbancia a 750 y 665 nm.

Abundancia y composición: a partir de las muestras colectadas en campo se llevó a cabo la identificación hasta el nivel taxa-género de la comunidad fitoplanctónica, mediante el uso de un microscopio óptico de luz Nikon E200 con objetivos de 10x y 40x, según fuese necesario. Las muestras tomadas con botella Van Dorn, se tamizaron a través de un cedazo de 25 μm de poro y se fijaron con el reactivo lugol. El número mínimo de alícuotas a observar se estimó mediante curvas de diversidad acumulada (Ramírez, 1999; Anexo A). La muestra concentrada se analizó usando portaobjetos-cubreobjetos. Igualmente, las muestras obtenidas en red fueron analizadas con placas SR Cell Counter S 50.

Para la identificación de los organismos, se utilizaron las guías de Botes (2003), Tigreros (2001), Vidal (1995), Balech (1988), Vidal y Carbonell (1977) y Cupp (1943).

6.3.3 Fase de gabinete

6.3.3.1 Variables biológicas

Pigmentos fotosintéticos. Para determinar las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos Clorofila *a* (chl *a*) y feopigmento *a* (feo *a*) se siguieron los cálculos propuestos por INVEMAR (2003):

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{27,63 (665_0 - 665_a) (V_A)}{V_M * L}$$

$$\text{Feopigmento } a \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{26,7 [1,7 (665_a) - 665_0] (V_A)}{V_M * L}$$

donde,

- 665_0 : absorbancia a 665 nm antes de acidificar.
- 665_a : absorbancia a 665 nm después de acidificar.
- V_A : volumen de acetona utilizado para la extracción (ml).
- V_M : volumen de agua filtrada (l).
- L : longitud de la celda.

En el caso de la clorofila *b* (chl *b*) y *c* (chl *c*), se siguieron los cálculos propuestos por Parsons *et al.* (1984).

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{(21,03 * E_{645} - 5,43 * E_{665} - 2,66 * E_{630}) * V_A}{V_M * L}$$

$$\text{Clorofila } c \text{ (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{(24,52 * E_{630} - 1,67 * E_{665} - 7,60 * E_{645}) * V_A}{V_M * L}$$

Para estimar la concentración de carotenoides se utilizó la ecuación propuesta por Strickland y Parsons (1972) cuando el grupo dominante fuese Chrysophyta o Pyrrophyta.

$$\text{Carotenoides (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{10 * [\text{Abs 480}] * V_A}{V_M * L}$$

A partir de la concentración de los pigmentos fotosintéticos en la columna de agua se obtuvieron índices del estado fisiológico del fitoplancton para valorar su condición fotosintéticamente activa o senescente. Mediante los índices propuestos por Margalef (1991) ó Índices de Actividad Fotosintética (IAF):

$$\text{IAF}_1 = \text{chl-a} / \text{feop-a}$$

$$\text{IAF}_2 = \text{chl-a} / \text{carotenoides}$$

donde, *chl-a* : concentración de clorofila-*a*.
feop-a : concentración de feopigmento-*a*.
Carotenoides : concentración de carotenoides.

Composición y abundancia: Inicialmente la información de composición fue recopilada en una matriz primaria de acuerdo a la taxonomía propuesta por Chretien-Dinet *et al.* (1993) que permitió valorar la composición por taxa-géneros y grupos mayores (*e.g.* diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias), en las diferentes profundidades en cada estación. Consecutivamente, se estimó la densidad celular por taxa-géneros y total por profundidad usando la ecuación:

$$\text{Densidad (células l}^{-1}\text{)} = \{\Sigma \text{ células en } n \text{ alícuotas} * v_m / n * v\} / V$$

donde ,

n	: número de alícuotas contadas.
v_m	: volumen de la muestra concentrada en ml.
v	: volumen de la alícuota en ml.
V	: volumen filtrado expresado en l.

Posteriormente, fue determinada la densidad integrada en la columna de agua (0-60 m), por medio de la ecuación propuesta por Ramírez-González (2006):

$$\rho \text{ (cel m}^{-2}\text{)} = \Sigma \{[\rho (z_i) + \rho (z_{i+1})] / 2\} * \{z_{i+1} - z_i\}$$

donde, ρ : densidad de células en la profundidad z_i y z_{i+1} .

Se estimaron promedios, desviación estándar, máximos y mínimos de abundancia absoluta de células (A_b) (sin diferenciar géneros) y relativa (A_R), esta última, por género a través de las ecuaciones:

$$A_b = \Sigma \text{ células} / \text{volumen muestreado}$$

$$A_R = (\text{No de células por género} / \text{No de células total}) * 100$$

Se calcularon los índices ecológicos, riqueza de Margalef, uniformidad de Pielou, diversidad de Shannon-Wiener, predominio de Simpson y números de Hill N0, N1 y N2 de la comunidad, a través del programa *PRIMER 5v 2.2* (Clarke y Ainsworth, 1993), para establecer la estructura de la comunidad fitoplanctónica durante los eventos de surgencia costera y no surgencia del Departamento del Magdalena. Para el análisis de estos datos se utilizó estadística descriptiva (*i.e.* promedio, desviación estándar, máximos y

mínimos). Para determinar si existen diferencias en los índices de diversidad entre épocas de surgencia y no surgencia, estaciones y/o profundidades, se empleó inicialmente el test de Wilcoxon, seguido por el test de Friedman, sin embargo, debido a su baja potencia, se hizo un análisis exploratorio mediante el uso de la prueba *t* pareada que corrobora la veracidad de las pruebas en mención (Zar, 1996), a través del programa *STATISTICA Versión 8,0*.

Para evaluar la similitud entre muestras se realizó inicialmente un análisis de clasificación cualitativo entre muestras a partir de una matriz presencia-ausencia. Posteriormente, se adelantó un análisis de similitud cuantitativo de Bray-Curtis a través del programa *PRIMER 5v 2.2* (Clarke y Warwick, 2001). Los valores de similitud obtenidos fueron sometidos a un análisis de ordenación no-métrica multidimensional (NMDS) y a un análisis de clasificación jerárquica en modo Q (entre estaciones) y su dendrograma fue construido utilizando el método UPGMA (Sneth y Sokal, 1973 En: Ochoa y Tarazona, 2003). Conjuntamente, se realizó un análisis de similaridad (ANOSIM), para definir si existen diferencias significativas en términos de abundancia de géneros, entre los muestreos considerados de surgencia y no surgencia y los distintos estratos de profundidad considerados en el diseño muestral (Clarke y Warwick, 1994).

6.3.3.2 Variables físicas y químicas

Para evidenciar el efecto de los campos de viento por turbulencia que genera fluctuaciones en la capa de mezcla (*i.e.* eventos Lasker), sobre cambios temporales a pequeña escala en la comunidad fitoplanctónica, se analizó su

variabilidad durante el día de muestreo. Inicialmente se determinó la turbulencia mediante el índice de Pingree (Lalli y Parsons, 1993):

$$S = \text{Log}_{10} [h / (C * U^3)]$$

donde,

h	: profundidad.
C	: coeficiente de resistencia.
U	: velocidad de corriente.

Posteriormente, fue determinada la concentración de clorofila α integrada en la columna de agua (0-60 m), por medio de la ecuación propuesta por Ramírez-González (2006):

$$\rho \text{ (mg m}^{-2}\text{)} = \Sigma \{[\rho (z_i) + \rho (z_{i+1})] / 2\} * \{z_{i+1} - z_i\}$$

donde,

ρ	: Concentración de clorofila α en la profundidad z_i y z_{i+1} .
--------	---

Finalmente se establecieron correlaciones de Spearman (Clarke y Warwick, 2001; Clarke y Ainsworth, 1993) entre las variables turbulencia - pigmentos fotosintéticos para los momentos de muestreo, dado que dichos pigmentos varían de manera considerable con los parámetros ambientales y arrojan resultados más precisos de valores de biomasa fitoplanctónica, lo que se traduce en una mayor representatividad de las muestras.

Con el propósito de establecer las relaciones existentes entre algunas variables océano-atmosféricas y la comunidad fitoplanctónica, inicialmente, se realizó la estandarización de los datos mediante la fórmula propuesta por Guisande (2006):

$$\mathbf{VE} = (\mathbf{x} - \mathbf{Max}) / (\mathbf{Max} - \mathbf{Min})$$

donde, VE : valor estandarizado.
 x : valor inicial.
 Max : valor máximo.
 Min : valor mínimo.

Posteriormente, se llevaron a cabo las correlaciones Pearson a través del programa *STATGRAPHICS versión 5.1*, para las variables abióticas: temperatura del agua, salinidad, pH, densidad del agua, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno concentración de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y ortofosfatos (HPO_4^-) y las variables biológicas: densidad celular, diversidad de Shannon-Wiener, riqueza de Margalef, uniformidad de Pielou, números de Hill N0 y concentración de los pigmentos fotosintéticos (*i.e.* chl *a*, feo *a*, chl *b*, chl *c*, carotenoides).

Para determinar el efecto del evento La Niña 2007/2008 sobre la dinámica fitoplanctónica, inicialmente se valoró el índice ONI, obtenido a partir de la base de datos *Climate Prediction Center - Monitoring & Data* de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008), para establecer la intensidad del evento. Igualmente, se realizó un seguimiento en estudios de fitoplancton anteriores que coincidieron con eventos Niña/Niño o ausencia de estos en el área, y se cotejaron los resultados de composición de géneros (presencia – ausencia) y biomasa fitoplanctónica. El seguimiento se hizo a los trabajos realizados por los siguientes autores: Torres-Sierra (2007), Campos *et al.* (2004), Vásquez (2006), Barragán *et al.* (2003), Tigreros (2001), De La Hoz (1995), Torres *et al.* (1993), y Caicedo (1975). Los datos de composición obtenidos a partir de información secundaria junto con los actuales, fueron comparados a través de un análisis de clasificación cualitativa presencia-

ausencia, que permitieron determinar diferencias y/o similitudes en la variable considerada. Por su parte, las concentraciones de clorofila *a* y feopigmento *a* se graficaron, mediante Microsoft Excel® para determinar tendencias, y finalmente, de esta manera, inferir las consecuencias del evento sobre los resultados presentes.

7. Resultados

7.1 Parámetros océano-atmosféricos

7.1.1 *Velocidad y dirección del viento*

La velocidad promedio del viento fue $3,7 \pm 3,4$ m s⁻¹ para el periodo diciembre 2007 - abril 2008, correspondiente a la época climática seca mayor y $2,1 \pm 2,5$ m s⁻¹ durante el periodo mayo-junio de 2008 propio de la época lluviosa menor. Los campos de vientos presentaron una dirección de entrada promedio de $70 \pm 64^\circ$, lo que implica una dirección predominante NE-SO. Durante los muestreos realizados, tanto la velocidad promedio ($> 4,0$ m s⁻¹) y la dirección del viento (paralela y perpendicular a la costa) indicaron condiciones favorables para la ocurrencia de eventos de surgencia por transporte de Ekman y acción de vientos continentales para los muestreos uno, dos, tres y cuatro, a diferencia de los muestreos cinco y seis, que estuvieron regidos por velocidades promedio más bajas. En respuesta a la intensidad del viento, durante todos los muestreos a excepción de los muestreos cinco y seis, la fuerza del viento generó profundidades de Ekman, que superaron la termoclina permanente (45 m) evidenciando el ascenso de aguas de afloramiento (Anexo B; García-Hoyos, *en prep.*).

7.1.2 *Parámetros fisicoquímicos*

Las aguas superficiales de las Ensenadas de Gaira y Granate y la Bahía de Taganga, presentaron alteraciones en las condiciones fisicoquímicas, típicas de

aguas de afloramiento, las cuales presentan bajas temperaturas, altas salinidades y valores de subsaturación de oxígeno (Bula-Meyer, 1990; tabla 1; figura 7). El pH fue relativamente alto durante la totalidad del periodo en estudio. De la misma manera, los nitratos se mantuvieron en rangos considerablemente altos ($1,92$ a $31,54 \mu\text{g-at-N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$) lo que pone en evidencia una oferta inorgánica importante para el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas. Es importante destacar que a pesar de que la variabilidad fisicoquímica de la columna de agua no presentó diferencias significativas entre periodos de surgencia y no surgencia (Wilcoxon, $p > 0,05$), se hizo evidente una segregación de los muestreos en respuesta a las variables evaluadas, separándose aquellos influenciados por eventos de surgencia de muestreos sin acción de aguas de afloramiento (García-Hoyos, *en prep.*).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos promedio de la columna de agua (0-60m) propios del periodo febrero-junio de 2008 para la Ensenada de Granate, Bahía de Taganga y Ensenada de Gaira. S: surgencia. NS: no surgencia. ND: no determinado

Estación Muestreo	Granate		Taganga		Gaira	
	S	NS	S	NS	S	NS
Temperatura (°C)	25 ± 0,59	26,13 ± 0,88	25,16 ± 0,81	27,50 ± 1,55	25,83 ± 0,83	27,08 ± 1,43
Salinidad (UPS)	35,42 ± 0,09	36,15 ± 0,26	35,63 ± 0,33	36,20 ± 0,17	35,59 ± 0,37	35,95 ± 0,75
pH	8,21 ± 0,05	8,23 ± 0,05	8,32 ± 0,23	8,22 ± 0,03	8,29 ± 0,75	8,28 ± 0,10
O.D (mg/l)	5,78 ± 1,60	5,64 ± 0,74	5,96 ± 1,73	5,87 ± 0,80	5,60 ± 1,77	6,10 ± 0,78
% Sat. Oxígeno	81,65 ± 22,84	82,63 ± 11,62	85,47 ± 26,30	88,72 ± 14,00	81,50 ± 27,20	91,18 ± 13,39
NO ₂ ⁻ (μg at NO ₂ ⁻ /l)	3,32 ± 0,06	3,31 ± 0,04	ND	ND	3,32 ± 0,10	3,33 ± 0,03
NO ₃ ⁼ (μg at NO ₃ ⁼ /l)	11,73 ± 9,07	11,35 ± 6,77	8,33 ± 5,70	12,50 ± 7,84	9,52 ± 6,26	9,87 ± 3,45
NH ₄ ⁺ (μg at NH ₄ ⁺ /l)	1,82 ± 0,63	0,53 ± 0,55	ND	ND	1,43 ± 0,63	1,99 ± 2,32
HPO ₄ ⁻ (μg at HPO ₄ ⁻ /l)	3,08 ± 0,47	2,94 ± 0,36	2,95 ± 0,26	3,02 ± 0,38	2,98 ± 0,33	2,82 ± 0,22

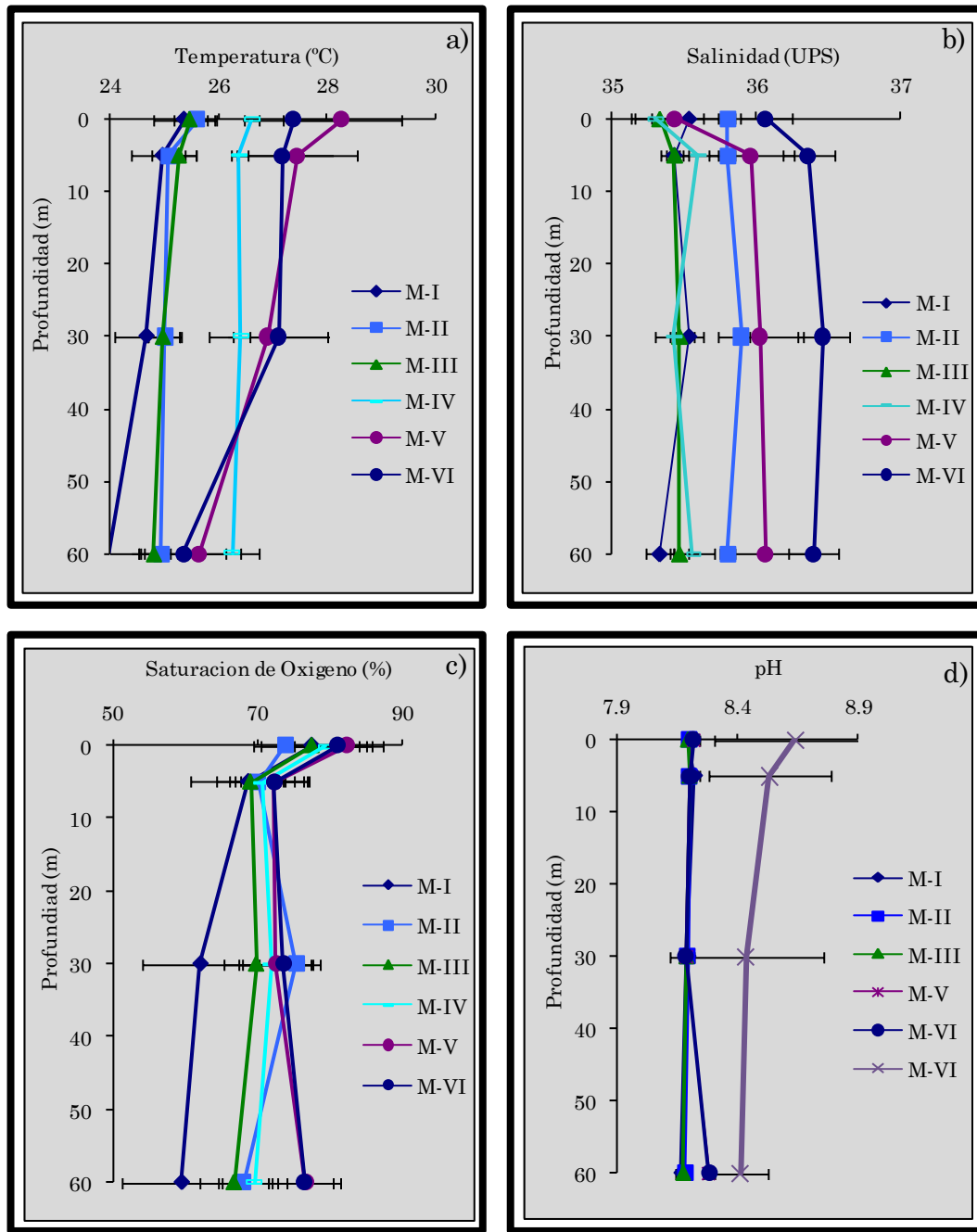


Figura 7. Perfiles de los parámetros fisicoquímicos del agua, para la totalidad de los muestreos a los 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Temperatura. (b) salinidad. (c) saturación de oxígeno. (d) pH. M: Muestreo (modificado de García-Hoyos, en prep.).

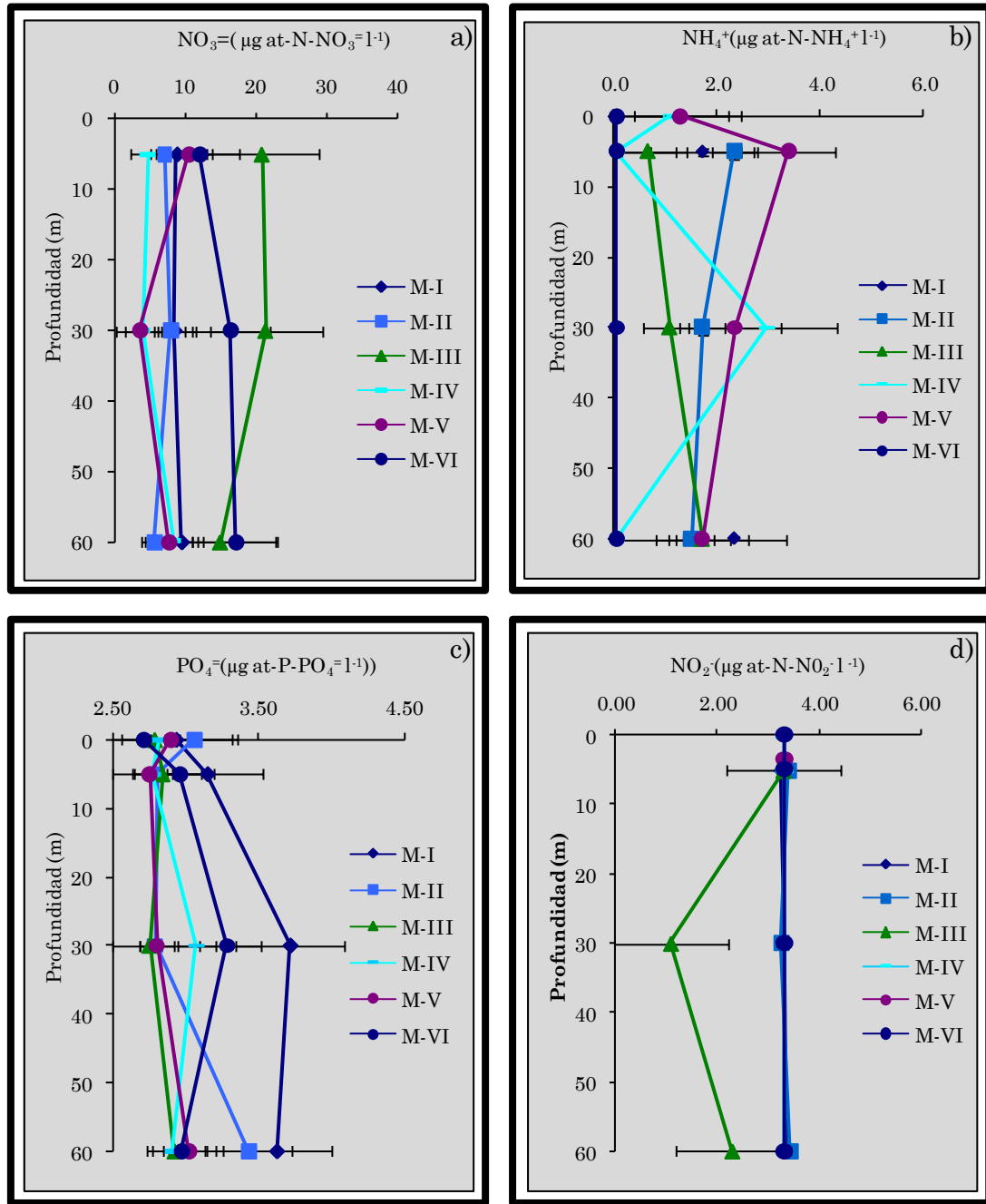


Figura 8. Perfiles de los parámetros fisicoquímicos del agua, para la totalidad de los muestreos a los 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Concentración de NO_3^- . (b) Concentración de NH_4^+ . (c) Concentración de HPO_4^- . (d) Concentración de NO_2^- . M: Muestreo (modificado de García-Hoyos, en prep.).

7.1.3 Documentación de las condiciones atípicas del muestreo numero cuatro

El día 23 de abril de 2008, se produjo sobre la Bahía de Santa Marta, el vertimiento de más de 10 tm de aceite de palma. La empresa responsable fue la Terminal de Graneles Líquidos del Caribe (Terlica S. A). A saber, el derrame impactó el paisaje, los arrecifes coralinos y los ecosistemas marinos en general (El Tiempo, 2008).

En respuesta a las alteraciones causadas por el evento en mención y a tendencias atípicas de la comunidad fitoplanctónica respectivas al cuarto muestreo (abril 25 de 2008), que imprimen ruido al procesamiento integral de los datos (*i.e.* integran patrones exclusivos del muestro cuatro y elevan la desviación de los datos), a lo largo de los resultados se considera su análisis de forma independiente para las variables abundancia total promedio, índices de diversidad y pigmentos fotosintéticos.

7.2 Composición y abundancia

En términos de composición, para la época de surgencia (S) se identificaron en total 51 taxa-géneros distribuidos en 29 familias, correspondiendo el 78,23 % a diatomeas céntricas (DC), 16,68 % a diatomeas pennadas (DP), 4,57 % a cianobacterias (CY) y cerca del 0,52 % a dinoflagelados (DF), silicoflagelados (FG) y clorófitas (CLF) (tabla 2; figura 8a). De igual forma, para el periodo de no surgencia (NS) se identificaron 47 taxa-géneros distribuidos en 28 familias, perteneciendo el 86,19 % a diatomeas céntricas, 9,50 % a diatomeas pennadas, 3,78 % a cianobacterias y alrededor del 0,54 % a dinoflagelados, flagelados y clorófitas (tabla 2; figura 8b).

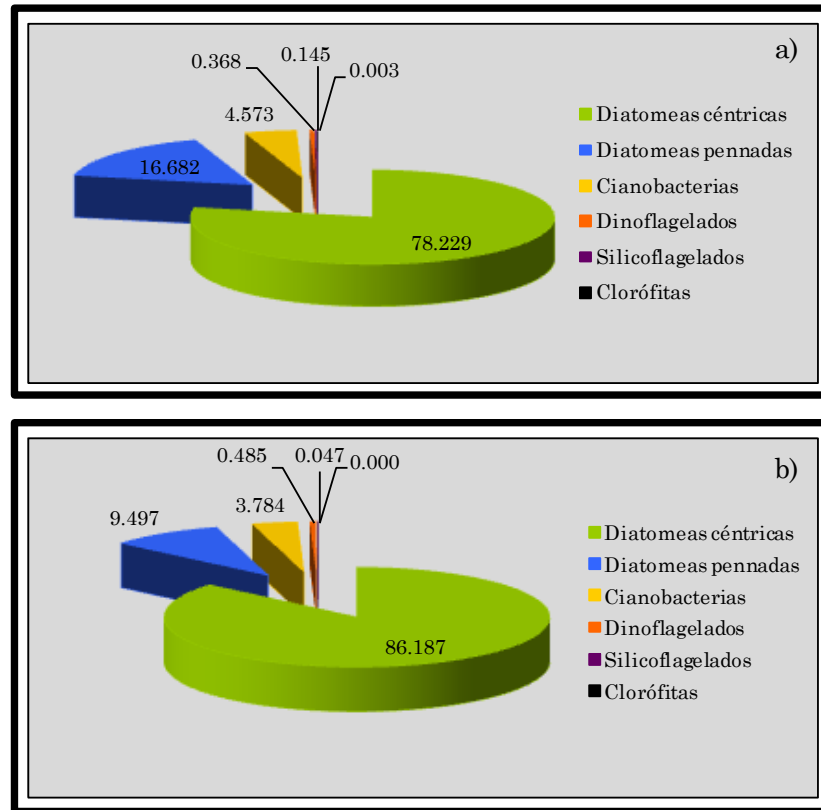


Figura 9. Abundancia relativa por grupos mayores, conforme seis muestreos durante época de surgencia (a) y no surgencia (b).

No se presentó una diferencia marcada entre los métodos de muestreo, sin embargo, se destacan los géneros *Cosmarium*, *Planktoniella*, *Diploneis*, *Dytilum* del grupo DC, *Pinnularia* del grupo DP y *Pyrocystis*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Noctiluca* y *Podololampas* del grupo DF, exclusivos de la colección con red fitoplanctónica (tabla 2).

Tabla 2. Abundancia relativa de diatomeas céntricas, diatomeas pennadas, dinoflagelados, cianobacterias, flagelados y clorófitas encontrados durante seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia, mediante los métodos de botella de Van Dorn y red fitoplanctónica. *: Indica los géneros reportados únicamente bajo el método de arrastre con red fitoplanctónica. - : Indica la presencia en el periodo.

Grupo	Familia	Género	Surgencia (%)	No Surgencia (%)
Diatomeas céntricas	Skeletonemataceae	<i>Skeletonema</i>	-	-
	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira</i>	-	-
	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	-	-
		<i>Stephanopyxis</i>	-	-
	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i>	-	-
	Hemidiscaceae	<i>Actinocyclus</i>	-	-
	Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia</i>	-	-
		<i>Guinardia</i>	-	-
		<i>Helicotheca</i>	-	-
		<i>Dactyliosolen</i>	-	-
	Leptocylindraceae	<i>Leptocylindrus</i>	-	-
		<i>Corethron</i>	-	-
	Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros</i>	-	-
		<i>Bacteriastrum</i>	-	-
	Biddulphiaceae	<i>Hemiaulus</i>	-	-
<i>Cerataulina</i>		-	-	
<i>Biddulphia</i>		-	-	
Eunodiscaceae	<i>Eucampia</i>	-	-	
	<i>Odontella</i>	-	-	
Diatomeas pennadas	Fragilariaceae	<i>Asterionellopsis</i>	-	-
		<i>Bleakeleva</i>	-	-
		<i>Licmophora</i>	-	-
		<i>Striatella</i>	-	-
		<i>Thalassionema</i>	-	-
		<i>Thalassiothrix</i>	-	-
		<i>Synedra</i>	-	-
		<i>Neodelphineis</i>	-	-
	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	-	-
				-
		<i>Pleurosigma</i>	-	-
	Nitzschiaceae	<i>Nitzschia</i>	-	-
		<i>Cylindrotheca</i>	-	-
		<i>Pseudo-nitzschia</i>	-	-
	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	-	-
Desconocido		Morfotipo 1	-	-
Dinoflagelados	Protoperidiniaceae	<i>Protoperidinium</i>	-	-
	Prorocentraceae	<i>Prorocentrum</i>	-	-
	Dinophysiaceae	<i>Ornithocercus</i>	-	-
	Ceratocoryaceae	<i>Ceratocorys</i>	-	-
<i>Ceratium</i>		-	-	
Cianobacterias	Chroococcaceae	<i>Merismopedia</i>	-	-
	Nostocaceae	<i>Nostoc</i>	-	-
		<i>Anabaena</i>	-	-
	Oscillatoriaceae	<i>Spirulina</i>	-	-
		<i>Lyngbya</i>	-	-
	<i>Oscillatoria</i>	-	-	
Silicoflagelados	Dictyochaceae	<i>Dictyocha</i>	0.145	-
Clorófitas	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum</i>	0.003	0.000
Clorófitas	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>	-	-
*Diatomeas céntricas	Skeletonemataceae	<i>Planktoniella</i>	-	-
	Bacillariophyceae	<i>Diploneis</i>	-	-
	Lithodesmisceae	<i>Dytilum</i>	-	-
	Desconocido	Morfotipo 2	-	-
*Diatomeas Pennadas	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	-	-
*Dinoflagelados	Pvrocystaceae	<i>Pvrocystis</i>	-	-
	Dinophysiaceae	<i>Dinophysis</i>	-	-
	Gonyaulacaceae	<i>Gonyaulax</i>	-	-
	Noctilucaeae	<i>Noctiluca</i>	-	-
	Protoperidiniaceae	<i>Podolampas</i>	-	-

Los géneros de mayor importancia fueron *Chaetoceros* y *Skeletonema*, alcanzando una abundancia relativa de 47,02 % y 8,13 % en S y, 19,57 % y 60,93% en NS, respectivamente y densidades promedio superiores a 2000 cel l⁻¹ (i.e. respecto al período de mayor abundancia de cada género; tabla 3; figura 9). Cabe resaltar los géneros *Rhizosolenia*, *Guinardia*, *Bacteriastrium*, *Leptocylindrus*, *Helicotheca*, *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia* y *Anabaena* que a pesar de presentar densidades considerablemente bajas con respecto a *Chaetoceros* y *Skeletonema*, son característicos y frecuentes en los dos eventos en estudio con densidades promedio superiores a 55 cel l⁻¹ (tabla 3; figura 9).

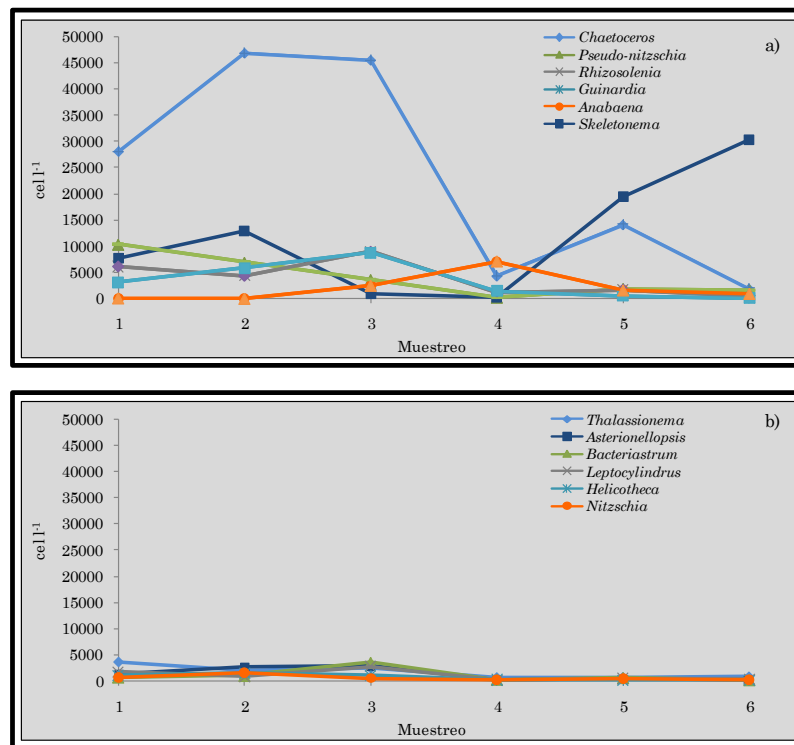


Figura 10. Abundancia total por muestreos para la columna de agua de 12 géneros más representativos a lo largo de los periodos de surgencia y no surgencia. (a) *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Guinardia* y *Anabaena*. (b) *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Bacteriastrium*, *Leptocylindrus*, *Helicotheca* y *Nitzschia*.

Tabla 3. Abundancia relativa (%) y densidad total promedio fitoplanctónica (cel l^{-1}) por géneros, para la columna de agua (0-60 m) en las épocas de surgencia y no surgencia. DC: Diatomeas céntricas. DP: Diatomeas pennadas, DF: Dinoflagelados. FG: Flagelados. CY: Cianobacterias. CLF: Clorófitas. Desc: desconocido.

Grupo	Generos	Surgencia			No surgencia		
		%	Densidad (cel l^{-1})		%	Densidad (cel l^{-1})	
CLF	<i>Pediastrum</i>	0.003	0.175	± 1.212	0.000	0.000	± 0.000
CY	<i>Anabaena</i>	3.642	201.581	± 474.185	3.121	106.028	± 164.412
CY	<i>Lyngbia</i>	0.046	2.529	± 5.871	0.067	2.283	± 4.153
CY	<i>Merismopedia</i>	0.550	30.461	± 79.603	0.185	6.281	± 13.474
CY	<i>Nostoc</i>	0.219	12.143	± 34.526	0.390	13.250	± 35.863
CY	<i>Oscillatoria</i>	0.084	4.668	± 23.225	0.021	0.700	± 3.429
CY	<i>Spirullina</i>	0.031	1.726	± 6.116	0.000	0.000	± 0.000
DC	<i>Bacteriastrum</i>	1.963	108.639	± 178.470	0.766	26.017	± 89.903
DC	<i>Biddulphia</i>	0.016	0.900	± 3.682	0.021	0.700	± 2.383
DC	<i>Cerataulina</i>	0.000	0.000	± 0.000	0.010	0.350	± 1.715
DC	<i>Chaetoceros</i>	47.025	2603.078	± 2967.395	19.570	664.833	± 2040.617
DC	<i>Corethron</i>	0.310	17.185	± 30.120	0.000	0.000	± 0.000
DC	<i>Coscinodiscus</i>	0.657	36.349	± 41.512	0.068	2.300	± 5.515
DC	<i>Dactyliosolen</i>	0.183	10.133	± 28.622	0.000	0.000	± 0.000
DC	<i>Eucampia</i>	0.846	46.825	± 68.613	0.112	3.800	± 9.249
DC	<i>Guinardia</i>	7.203	398.731	± 524.034	0.825	28.031	± 67.761
DC	<i>Helicotheca</i>	1.283	71.027	± 69.321	0.182	6.192	± 9.141
DC	<i>Hemiaulus</i>	0.621	34.370	± 40.920	0.121	4.117	± 10.153
DC	<i>Leptocylindricus</i>	1.915	105.996	± 174.562	0.738	25.064	± 28.849
DC	<i>Melosira</i>	0.078	4.319	± 13.572	0.096	3.267	± 7.564
DC	<i>Odontella</i>	0.067	3.698	± 7.461	0.000	0.000	± 0.000
DC	<i>Rhizosolenia</i>	7.830	433.448	± 499.125	2.679	91.000	± 140.070
DC	<i>Skeletonema</i>	8.132	450.159	± 787.986	60.930	2069.883	± 3407.451
DC	<i>Stephanopyxis</i>	0.042	2.351	± 6.363	0.027	0.933	± 3.268
DC	<i>Thalassiosira</i>	0.058	3.206	± 9.049	0.041	1.400	± 6.859
Desc	Morofotipo 1	0.000	0.000	± 0.000	0.024	0.800	± 3.919
DF	<i>Ceratium</i>	0.189	10.435	± 17.049	0.172	5.850	± 11.800
DF	<i>Ornithocercus</i>	0.007	0.410	± 1.988	0.015	0.517	± 2.531
DF	<i>Prorocentrum</i>	0.000	0.000	± 0.000	0.049	1.650	± 8.083
FG	<i>Ceratocorys</i>	0.058	3.202	± 20.802	0.000	0.000	± 0.000
DF	<i>Protoperdinium</i>	0.115	6.348	± 10.502	0.249	8.469	± 14.213
DP	<i>Actinocyclus</i>	0.208	11.526	± 20.350	0.122	4.131	± 6.650
DP	<i>Asterionellopsis</i>	2.622	145.120	± 143.895	0.385	13.075	± 20.050
DP	<i>Bleakellela</i>	0.011	0.585	± 2.297	0.011	0.383	± 1.878
DP	<i>Cylindrotheca</i>	0.540	29.875	± 43.296	1.548	52.600	± 50.227
DP	<i>Licmophora</i>	0.025	1.375	± 3.949	0.000	0.000	± 0.000
DP	<i>Navicula</i>	0.100	5.553	± 11.614	0.174	5.911	± 7.421
DP	<i>Thalassiotrix</i>	0.642	35.563	± 57.213	0.159	5.392	± 9.647
DP	<i>Neodelphineis</i>	0.117	6.468	± 14.031	0.000	0.000	± 0.000
DP	<i>Nitzschia</i>	0.995	55.085	± 62.356	0.719	24.428	± 39.275
DP	<i>Pleurosigma</i>	0.335	18.550	± 26.217	0.218	7.417	± 9.049
DP	<i>Pseudo-nitzschia</i>	7.892	436.868	± 785.332	4.250	144.386	± 256.474
DP	<i>Striatella</i>	0.048	2.640	± 7.748	0.011	0.383	± 1.878
DP	<i>Surirella</i>	0.022	1.213	± 7.119	0.000	0.000	± 0.000
DP	<i>Synedra</i>	0.052	2.894	± 7.654	0.474	16.119	± 24.697
DP	<i>Thalassionema</i>	3.073	170.104	± 154.147	1.401	47.589	± 51.943
SFG	<i>Dictyocha</i>	0.145	8.048	± 12.953	0.048	1.617	± 4.994

Consecuentemente, cerca del 71 % de los géneros identificados se presenta en los dos periodos, lo que se refleja en el análisis de clasificación cualitativo (presencia-ausencia) que no exhibe una clara separación de los periodos; sin embargo, es notable una segregación a nivel de similaridad del 77 % de dos grupos (A y B) en su mayoría distintivos de cada época y en respuesta a la presencia del 16 % de géneros exclusivos de S (*i.e. Dactyliosolen, Bleakeleya, Licmophora, Neodelphineis, Surirella, Spirulina, Pediastrum, Cosmarium, Diploneis, Dytillum y Noctiluca*) y 12 % de NS (*i.e. Cerataulina, Proocentrum, Planktoniella, Pinnularia, Pyrocystis y Podolampas*; figura 10).

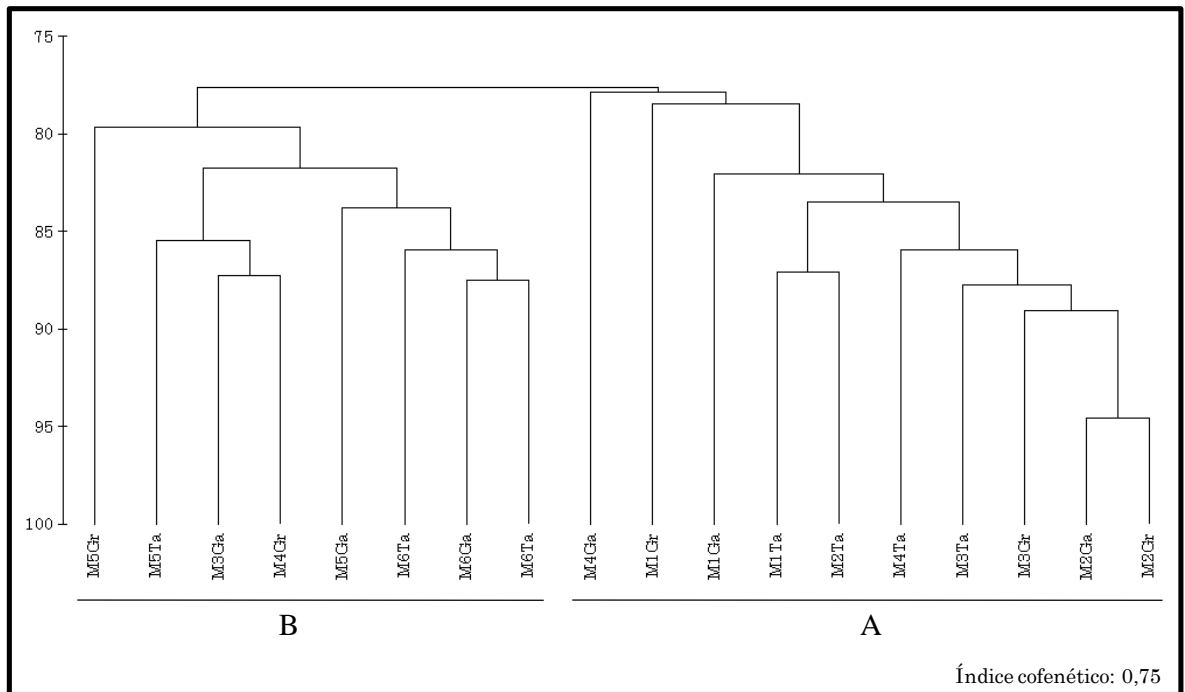


Figura 11. Análisis de clasificación cualitativo para la comunidad fitoplanctónica obtenido durante seis muestreos, bajo condiciones de surgencia y no surgencia. M1, 2,..., 6: muestreo uno, dos,..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. A y B: indican agrupaciones formadas.

La densidad fitoplanctónica por estación en S varió en promedio entre $21675,70 \pm 14088,11$ y $32703,29 \pm 11994,72$ cel l^{-1} , y en NS con valores más bajos entre $5603,07 \pm 1806,70$ y $27470,8 \pm 12256,14$ cel l^{-1} (figura 11a). La misma tendencia se encontró con la densidad integrada para la columna de agua promedio que registra un valor máximo para la Ensenada de Granate de $53,7 \times 10^7 \pm 18,6 \times 10^7$ cel m^{-2} , durante los muestreos de afloramiento, mientras que en ausencia de ellos, la densidad alcanzó solamente hasta las $49,8 \times 10^6 \pm 15,6 \times 10^6$ cel m^{-2} (tabla 4).

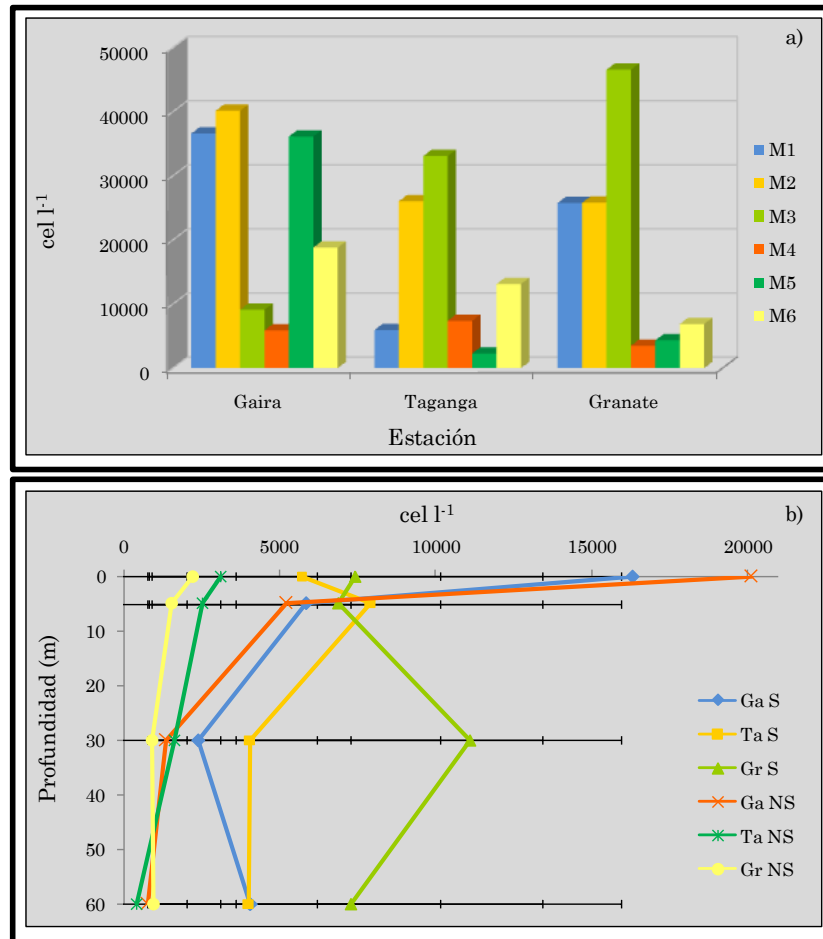


Figura 12. Densidad celular fitoplanctónica (cel l^{-1}) reportada para las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) conforme a seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia. (a) Representa las densidades totales para la columna de agua de 0 a 60 m de profundidad. (b) Representa las densidades totales promedio propias de las profundidades 0, 5, 30 y 60 m del agua.

Tabla 4. Densidad celular fitoplanctónica integrada para la columna de agua (cel m^{-2}) en época de surgencia y no surgencia reportada para las tres estaciones en estudio. M4: muestreo 4.

Estación	Densidad integrada (cel m^{-2})		
	Surgencia	M4	No surgencia
Ensenada de Gaira	$26,0 \times 10^7 \pm 13,6 \times 10^7$	$83,3 \times 10^6$	$17,7 \times 10^7 \pm 72,8 \times 10^6$
Bahía de Taganga	$30,5 \times 10^7 \pm 17,7 \times 10^7$	$84,1 \times 10^6$	$97,0 \times 10^6 \pm 83,3 \times 10^6$
Ensenada de Granate	$53,7 \times 10^7 \pm 18,6 \times 10^7$	$56,3 \times 10^6$	$49,8 \times 10^6 \pm 15,6 \times 10^6$

Respecto a la distribución vertical de la densidad, la tendencia general fue a encontrar las mayores densidades en las primeras capas de la columna de agua. De esta forma, durante eventos de surgencia la Bahía de Taganga exhibe una máxima densidad celular promedio a los 5 m y mínima a los 60 m de profundidad, con valores de $7913,10 \pm 9490,76 \text{ cel l}^{-1}$ y $4020,93 \pm 3973,36 \text{ cel l}^{-1}$, respectivamente. Igualmente, la Ensenada de Gaira presenta su máxima densidad celular a los 0 m ($16314,13 \pm 10220,28 \text{ cel l}^{-1}$) y mínima a los 30 m ($2383,80 \pm 1356,05 \text{ cel l}^{-1}$; figura 11b). Solamente la Ensenada de Granate presentó un comportamiento opuesto, de tal forma que la máxima densidad celular fue a los 30 m y la mínima a los 5 m de profundidad con valores de $11127,16 \pm 5787,08 \text{ cel l}^{-1}$ y $6892,89 \pm 5672,28 \text{ cel l}^{-1}$, respectivamente. Análogamente, para el periodo de no surgencia la Bahía de Taganga y Ensenada de Gaira mostraron densidades celulares considerablemente más bajas, pero con la misma tendencia a lo largo de la columna de agua, es decir, máximos a 0 m de profundidad con $3100,67 \pm 3455,40 \text{ cel l}^{-1}$ y $20133,00 \pm 8852,690 \text{ cel l}^{-1}$, respectivamente, y mínimos a 60 m de profundidad con $423,80 \pm 64,21 \text{ cel l}^{-1}$ y $757,40 \pm 437,56 \text{ cel l}^{-1}$. Por su parte, la Ensenada de Granate exhibió su valores máximos y mínimos a 0 y 30 m de profundidad con $2209,37 \pm 2416,94 \text{ cel l}^{-1}$ y $922,20 \pm 552,96 \text{ cel l}^{-1}$, respectivamente (figura 11b). Esto llevó a que se encontrarán diferencias significativas en el patrón de distribución de la densidad celular con respecto a la profundidad (Friedman, $p < 0,05$).

Para el muestreo cuatro bajo condiciones de surgencia se registró una notoria disminución de la densidad celular que fluctuó entre $3486,00$ y $7376,80 \text{ cel l}^{-1}$

(figura 11a). Consecuentemente, se observaron densidades integradas bajas con un valor máximo de $84,1 \times 10^6$ cel m^{-2} (tabla 4). Respecto a la distribución vertical de la densidad celular, la Bahía de Taganga y Ensenada de Granate conservaron la tendencia inicial mostrando su valor máximo a 0 m y 60 m de profundidad, respectivamente. En contraste, la Ensenada de Gaira siguió un comportamiento contrario mostrando su valor máximo a 60 m de profundidad (tabla 5).

Tabla 5. Distribución vertical de la densidad celular fitoplanctónica (cel l^{-1}) de las estaciones de Gaira, Taganga y Granate a 0, 5, 30 y 60 m, durante eventos de surgencia y no surgencia. M4: Muestreo 4.

Periodo	Estaciones			
	Gaira			
	0 m	5 m	30 m	60 m
Surgencia	16314,13 ± 10220,28	5852,44 ± 2358,37	2383,80 ± 1356,05	4061,83 ± 3558,51
No Surgencia	20133,00 ± 8852,69	5211,80 ± 2998,98	1368,60 ± 33,09	757,40 ± 437,56
M4	1530,00	810,00	1140,80	2389,60
	Taganga			
	0 m	5 m	30 m	60 m
Surgencia	5693,73 ± 3944,70	7913,10 ± 9490,76	4047,93 ± 2217,81	4020,93 ± 3973,36
No Surgencia	3100,67 ± 3455,40	2539,20 ± 3242,51	1628,20 ± 911,04	423,80 ± 64,21
M4	3392,00	984,00	1264,80	1736,00
	Granate			
	0 m	5 m	30 m	60 m
Surgencia	7416,27 ± 4737,84	6892,89 ± 5672,28	11127,16 ± 5787,08	7266,98 ± 6621,74
No Surgencia	2209,37 ± 2416,94	1518,00 ± 653,37	922,20 ± 552,96	953,50 ± 710,64
M4	463,60	488,40	784,00	1750,00

Si bien, en términos de composición no se encontró una fuerte diferencia como se mencionó anteriormente, se hace evidente un patrón de segregación definido por la densidad celular específica; esto se puede apreciar en el análisis de clasificación cuantitativo (Bray-Curtis; figura 12), el cual muestra una formación de grupos que responde principalmente a la variación temporal modulada por eventos de surgencia y no surgencia. El grupo A junto con el grupo E reunieron en su mayoría las muestras propias de los muestreos 5 y 6 en NS con densidades celulares promedio bajas y medias, en las capas

inferiores y superiores, respectivamente. En contraste, los grupos B y C se conforman en su totalidad por las muestras correspondientes a los muestreos 1,2 y 3 en S, que se segregan en respuesta a densidades altas y medias/bajas, sin una discriminación clara de profundidades y/o estaciones. Finalmente el grupo D asocia las muestras correspondientes al muestreo 4 en S con densidades preponderantemente bajas que se infieren como consecuencia de las condiciones atípicas que se presentaron en dicho muestreo. El ordenamiento NMDS (figura 13), confirma las diferencias en términos de densidad entre los periodos en estudio. Se denotan dos agrupaciones: la primera (A) conformada por los muestreos 1-4 S y la última (B) por los muestreos 5-6 NS. El análisis de similitud ANOSIM ($R = 0,43$ $p < 0,001$ o $0,1$ %) reafirman el patrón de distribución y el factor determinante (época).

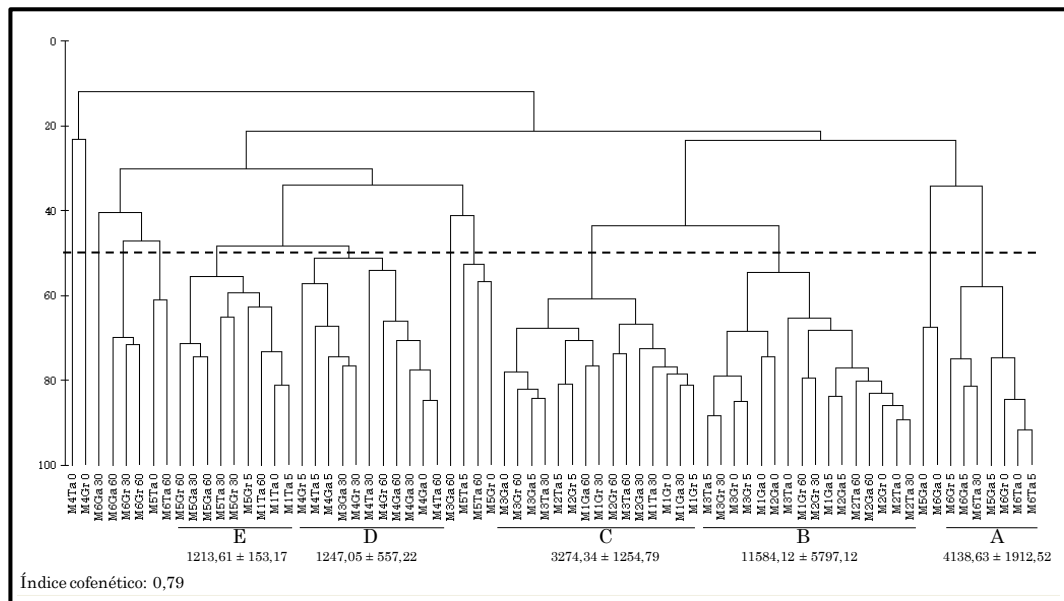


Figura 13. Análisis de clasificación cuantitativa Bray-Curtis mediante el método UPGMA para las muestras fitoplanctónicas obtenidas durante seis muestreos, bajo condiciones de surgencia y no surgencia. M1, 2..., 6: muestreo uno, dos..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. 0, 5 30 y 60: Indican la profundidad (m). M1Gr0: Muestreo uno en la estación Granate a 0 metros de profundidad. A, B, C, D y E: indican agrupaciones formadas. Se muestran las densidades celulares promedio de cada grupo en cel l⁻¹.

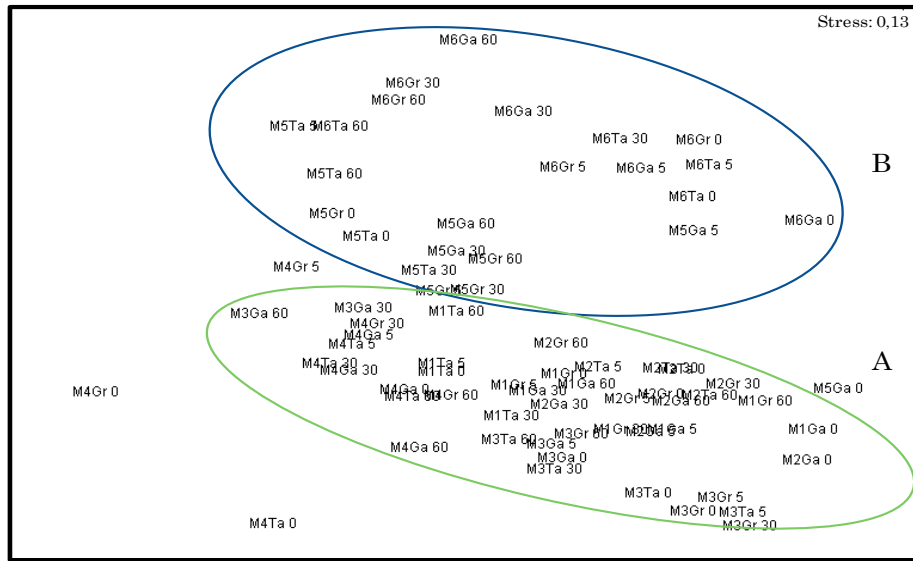


Figura 14. Ordenamiento no métrico NMDS conforme seis muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia M1, 2..., 6: muestreo uno, dos..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. 0, 5 30 y 60: Indican la profundidad (m). M1Gr0: Muestreo uno en la estación Granate a 0 metros de profundidad. A y B: indican las agrupaciones formadas.

7.3 Índices Ecológicos

En términos generales, la diversidad de la comunidad fitoplanctónica muestra una relación directa con la riqueza y equiparabilidad, y consecuentemente, una relación inversa al predominio de géneros. Es así como, la máxima diversidad Shannon-Wiener en S con un valor de $2,25 \pm 0,16$, responde a una alta riqueza ($2,56 \pm 0,42$) a una máxima equiparabilidad ($0,75 \pm 0,03$) y, a un valor mínimo de predominio ($0,16 \pm 0,02$), lo cual es indicativo de una distribución de la densidad celular uniforme para el periodo. La sesión de NS denota una disminución de la diversidad ($1,88 \pm 0,19$) en respuesta a una baja riqueza de géneros ($1,70 \pm 0,58$), pese a una máxima equiparabilidad ($0,76 \pm 0,06$) y mínimo predominio ($0,23 \pm 0,05$; tabla 6). En general, como se observa en la tabla 6, los valores de diversidad para los dos eventos en estudio son bajos en promedio $1,78 \pm 0,39$ y principalmente sujetos a la riqueza de géneros. Por otra

parte se evidencia una ligera influencia de la profundidad sobre la distribución de los índices ecológicos (figura 14); lo que llevó a que se encontraran diferencias significativas en los índices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica con respecto a la profundidad (Friedman $p < 0,05$), excepto en el predominio (Friedman $p > 0,05$).

Tabla 6. Atributos ecológicos de la comunidad fitoplanctónica encontrada durante cinco muestreos bajo condiciones de surgencia y no surgencia. Valores promedio para las estaciones de Ensenada de Gaira, Bahía de Taganga y Ensenada de Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. N0: número de géneros. N: número de células. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. λ' : predominio de Simpson. N1: número de géneros abundantes. N2: número de géneros muy abundantes.

Época	Estación	Prof	N0	N	d	J'	H'(ln)	λ'	N1	N2	
Surgencia	Gaira	0	25.33 ± 0.50	16314.13 ± 10220.28	2.55 ± 0.32	0.54 ± 0.06	1.74 ± 0.08	0.30 ± 0.05	5.73 ± 0.47	3.35 ± 0.50	
		5	23.67 ± 0.45	5852.44 ± 2358.37	2.61 ± 0.56	0.58 ± 0.02	1.82 ± 0.17	0.31 ± 0.04	6.24 ± 0.99	3.25 ± 0.45	
		30	20.67 ± 0.90	2383.80 ± 1356.05	2.56 ± 0.42	0.75 ± 0.03	2.25 ± 0.16	0.16 ± 0.02	9.55 ± 1.58	6.31 ± 0.90	
		60	20.67 ± 1.74	4061.83 ± 3558.51	2.46 ± 0.38	0.70 ± 0.14	2.06 ± 0.21	0.22 ± 0.08	7.97 ± 1.53	5.02 ± 1.74	
		Taganga	0	21.67 ± 1.04	5693.73 ± 3944.70	2.45 ± 0.38	0.63 ± 0.11	1.90 ± 0.16	0.25 ± 0.06	6.77 ± 1.13	4.09 ± 1.04
			5	22.33 ± 0.70	7913.10 ± 9490.76	2.54 ± 0.20	0.62 ± 0.06	1.91 ± 0.17	0.28 ± 0.05	6.85 ± 1.15	3.67 ± 0.70
	30		19.00 ± 1.00	4047.93 ± 2217.81	2.19 ± 0.30	0.60 ± 0.08	1.77 ± 0.23	0.30 ± 0.07	5.97 ± 1.47	3.49 ± 1.00	
	Granate	60	16.67 ± 2.22	4020.93 ± 3973.36	1.96 ± 0.14	0.65 ± 0.16	1.80 ± 0.34	0.29 ± 0.12	6.27 ± 2.23	4.12 ± 2.22	
		0	22.33 ± 1.31	7416.27 ± 4737.84	2.42 ± 0.38	0.63 ± 0.08	1.95 ± 0.20	0.25 ± 0.07	7.11 ± 1.37	4.23 ± 1.31	
		5	22.67 ± 1.28	6892.89 ± 5672.28	2.51 ± 0.19	0.64 ± 0.08	2.00 ± 0.15	0.26 ± 0.07	7.42 ± 1.16	4.10 ± 1.28	
	No Surgencia	Gaira	30	24.33 ± 0.89	11127.16 ± 5787.08	2.54 ± 0.26	0.59 ± 0.05	1.90 ± 0.17	0.27 ± 0.07	6.72 ± 1.09	3.84 ± 0.89
			60	26.67 ± 0.82	7266.98 ± 6621.74	2.99 ± 0.27	0.61 ± 0.06	2.01 ± 0.21	0.25 ± 0.05	7.59 ± 1.66	4.16 ± 0.82
0			20.00 ± 0.71	20133.00 ± 11250.17	1.92 ± 0.63	0.34 ± 0.10	1.03 ± 0.08	0.55 ± 0.06	2.95 ± 0.44	2.07 ± 0.71	
5			19.50 ± 0.66	5211.80 ± 2986.71	2.18 ± 0.74	0.41 ± 0.10	1.21 ± 0.13	0.54 ± 0.05	3.35 ± 0.74	1.86 ± 0.66	
30			17.00 ± 1.47	1368.60 ± 1389.19	2.22 ± 0.57	0.64 ± 0.07	1.81 ± 0.35	0.27 ± 0.08	6.15 ± 2.37	3.93 ± 1.47	
60			14.50 ± 2.00	757.40 ± 3695.32	2.03 ± 0.43	0.64 ± 0.15	1.70 ± 0.29	0.33 ± 0.09	5.95 ± 2.00	3.56 ± 2.00	
Taganga		0	12.50 ± 1.27	3100.67 ± 2713.70	1.41 ± 0.84	0.59 ± 0.17	1.22 ± 0.68	0.45 ± 0.27	3.40 ± 2.45	2.33 ± 1.27	
		5	15.00 ± 1.23	2539.20 ± 9588.92	1.94 ± 0.38	0.59 ± 0.09	1.45 ± 0.12	0.43 ± 0.07	5.09 ± 0.76	3.92 ± 1.23	
		30	16.00 ± 1.68	1628.20 ± 2641.23	2.04 ± 0.37	0.55 ± 0.14	1.49 ± 0.23	0.41 ± 0.10	4.76 ± 1.48	3.03 ± 1.68	
Granate		60	11.50 ± 0.67	423.80 ± 3802.57	1.74 ± 0.24	0.73 ± 0.07	1.78 ± 0.15	0.23 ± 0.07	5.92 ± 0.77	4.24 ± 0.67	
		0	14.50 ± 1.41	2209.37 ± 6066.65	1.93 ± 1.31	0.56 ± 0.19	1.52 ± 0.92	0.44 ± 0.34	6.42 ± 3.08	4.94 ± 1.41	
		5	13.00 ± 1.48	1518.00 ± 6462.06	1.66 ± 0.58	0.65 ± 0.15	1.68 ± 0.07	0.33 ± 0.08	5.74 ± 0.53	3.59 ± 1.48	
	Granate	30	13.50 ± 0.93	922.20 ± 8142.00	1.90 ± 1.06	0.72 ± 0.19	1.87 ± 0.21	0.25 ± 0.07	6.72 ± 1.31	4.18 ± 0.93	
		60	12.50 ± 0.81	953.50 ± 1086.13	1.70 ± 0.58	0.76 ± 0.06	1.88 ± 0.19	0.23 ± 0.05	6.58 ± 1.52	4.36 ± 0.81	

Para el cuarto muestro se observó un comportamiento similar con valores preponderantemente bajos con una diversidad promedio de $1,59 \pm 0,16$, sujetos principalmente al predominio de taxa-géneros ($0,33 \pm 0,23$). Cabe destacar que para el caso de la Bahía de Taganga y Ensenada de Granate a 0 m de profundidad se reportó valores considerablemente bajos de diversidad (menores a 0,7), en respuesta al alto predominio del género *Anabaena* perteneciente al grupo de las cianobacterias (tabla 7). Esta discriminación es igualmente evidente en las figuras 12 y 13, donde se encuentran como un grupo aislado.

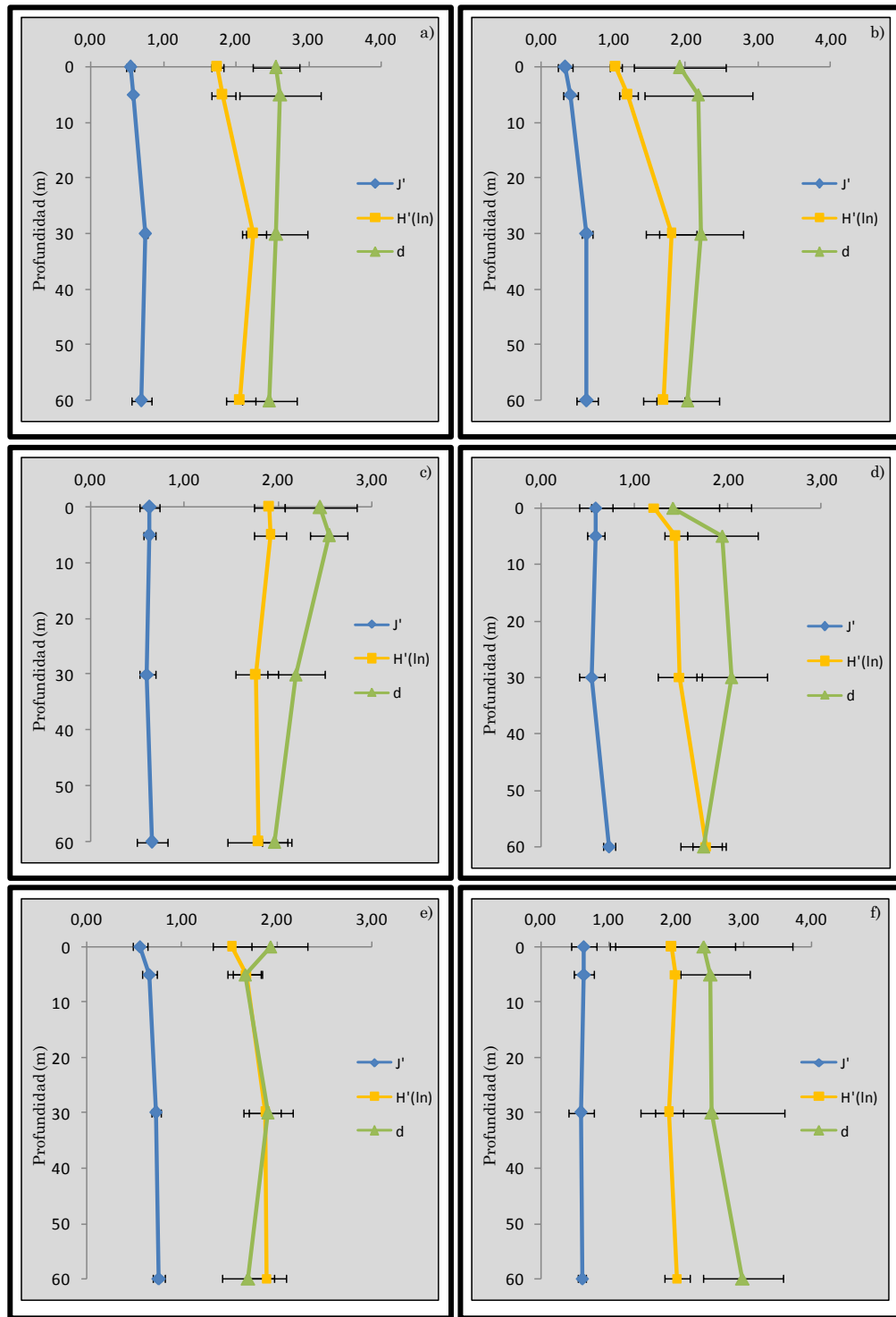


Figura 15. Perfiles de los índices ecológicos de la comunidad fitoplanctónica que incluyen Equiparabilidad (J'), diversidad promedio Shannon – Wiener (H'_{ln}), y riqueza de Margalef (d) en periodos de surgencia y no surgencia para las tres estaciones a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Ensenada de Gaira S. (b) Ensenada de Gaira NS. (c) Bahía de Taganga S. (d) Bahía de Taganga NS. (e) Ensenada de Granate S. (f) Ensenada de Granate NS.

Tabla 7. Atributos ecológicos de la comunidad fitoplanctónica encontrada durante el cuarto muestreo bajo condiciones de surgencia. Valores promedio para las estaciones de Ensenada de Gaira, Bahía de Taganga y Ensenada de Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. N0: número de géneros. N: número de células. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. λ' : predominio de Simpson. N1: número de especies abundantes. N2: número de especies muy abundantes. M4: muestreo 4.

Época	Estación	Prof	N0	N	d	J'	H'(ln)	λ'	N1	N2
M4 Surgencia	Gaira	0	13.00	1530.00	1.64	0.68	1.74	0.24	5.72	4.20
		5	12.00	810.00	1.64	0.74	1.83	0.24	6.22	4.13
		30	12.00	1140.80	1.56	0.63	1.56	0.31	4.77	3.24
		60	17.00	2389.60	2.06	0.57	1.63	0.29	5.08	3.40
	Taganga	0	11.00	3392.00	1.23	0.27	0.64	0.76	1.90	1.32
		5	14.00	984.00	1.89	0.74	1.95	0.19	7.06	5.37
		30	13.00	1264.80	1.68	0.80	2.04	0.17	7.69	5.82
		60	19.00	1736.00	2.41	0.61	1.78	0.26	5.95	3.90
	Granate	0	3.00	463.60	0.33	0.26	0.29	0.88	1.33	1.14
		5	11.00	488.40	1.62	0.85	2.04	0.17	7.67	5.93
		30	6.00	784.00	0.75	0.90	1.61	0.23	5.01	4.28
		60	17.00	1750.00	2.14	0.69	1.96	0.23	7.10	4.29

7.4 Pigmentos fotosintéticos

Las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos que incluyen clorofila *a* (chl-*a*), clorofila *b* (chl-*b*), clorofila *c* (chl-*c*), carotenoides y feopigmento *a* (feo-*a*), siguieron una misma tendencia en general a la observada con la densidad fitoplanctónica, es decir, valores más altos durante el periodo de S y una evidente disminución durante el periodo de NS. Conforme a esto, las concentraciones de chl-*a* fluctuaron entre 0,007 y 1,610 mg m⁻³ con un promedio de 0,72 ± 0,47 mg m⁻³ en S y entre 0,001 y 0,679 con un promedio de 0,150 ± 0,150 mg m⁻³ (notoriamente reducido) en NS (tabla 8; figura 15a). Consecuentemente, los pigmentos accesorios mantuvieron dicho comportamiento, las concentraciones de chl-*b*, chl-*c* y carotenoides ostentaron un promedio de 0,31 ± 0,41 mg m⁻³, 0,86 ± 1,12 mg m⁻³ y 1,29 ± 0,54 mg m⁻³ en S y, un claro declive en NS con 0,13 ± 0,17 mg m⁻³, 0,51 ± 0,41 mg m⁻³ y 0,82 ± 0,45 mg m⁻³, respectivamente (tabla 8; figura 15 c, d y e).

Por su parte, las concentraciones de feo-*a* establecieron una relación inversa respecto a la concentración de chl-*a*, lo que llevó a que presentaran valores promedio bajos en S con $0,21 \pm 0,27$ mg m⁻³ y altos en NS con $5,62 \pm 6,08$ mg m⁻³ (tabla 8; figura 15b).

Tabla 8. Concentración promedio de pigmentos fotosintéticos (mg m⁻³) obtenidos en los intervalos surgencia y no surgencia para Gaira, Taganga y Granate a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad junto con los índices de actividad fotosintética con respecto a los feopigmentos (IAF₁) y carotenoides (IAF₂). S: surgencia. NS: No surgencia. Chl-*a*: Clorofila *a*. Feo-*a*: Feopigmento *a*. Chl- *b*: Clorofila *b*. Chl- *c*: Clorofila *c*.

Época	Estación	Prof	Chl- <i>a</i>	Feo- <i>a</i>	Chl- <i>b</i>	Chl- <i>c</i>	Carotenoides	IAF ₁	IAF ₂
Surgencia	Granate	0	0,721 ± 0,247	0,145 ± 0,070	0,510 ± 0,620	0,583 ± 0,345	1,021 ± 0,176	5,475 ± 2,033	0,098 ± 0,138
		5	0,797 ± 0,026	0,304 ± 0,401	0,196 ± 0,199	0,755 ± 0,464	1,340 ± 0,400	9,929 ± 10,361	0,034 ± 0,034
		30	0,609 ± 0,173	0,073 ± 0,045	0,297 ± 0,288	0,483 ± 0,310	1,230 ± 0,414	11,210 ± 6,987	0,356 ± 0,498
		60	0,645 ± 0,532	0,145 ± 0,053	0,078 ± 0,014	0,578 ± 0,472	1,187 ± 0,361	5,267 ± 5,711	0,329 ± 0,309
	Taganga	0	0,624 ± 0,133	0,108 ± 0,019	0,224 ± 0,247	0,704 ± 0,558	1,743 ± 0,858	5,833 ± 1,261	0,373 ± 0,486
		5	1,047 ± 0,302	0,106 ± 0,012	0,175 ± 0,198	0,585 ± 0,230	1,624 ± 0,230	10,121 ± 3,839	0,048 ± 0,039
		30	0,562 ± 0,496	0,105 ± 0,020	0,179 ± 0,178	0,518 ± 0,446	0,845 ± 0,906	6,069 ± 5,925	0,619 ± 0,861
		60	0,603 ± 0,740	0,110 ± 0,014	0,315 ± 0,350	0,620 ± 0,350	1,058 ± 0,552	6,027 ± 7,643	0,317 ± 0,442
	Gaira	0	0,816 ± 0,670	0,148 ± 0,031	0,333 ± 0,228	1,342 ± 1,453	1,181 ± 0,544	5,118 ± 4,199	1,612 ± 2,203
		5	0,979 ± 0,854	0,315 ± 0,173	0,421 ± 0,582	1,415 ± 1,813	1,692 ± 0,343	4,536 ± 3,916	0,637 ± 0,886
		30	0,555 ± 0,776	0,461 ± 0,462	0,950 ± 0,938	2,481 ± 2,982	1,304 ± 0,762	3,446 ± 5,427	1,277 ± 1,781
		60	0,644 ± 0,568	0,523 ± 0,714	0,087 ± 0,016	0,227 ± 0,040	1,232 ± 0,688	3,090 ± 4,236	0,335 ± 0,422
No surgencia	Granate	0	0,060 ± 0,084	0,060 ± 0,084	0,042 ± 0,028	0,486 ± 0,479	0,450 ± 0,515	0,715 ± 0,231	0,078 ± 0,098
		5	0,116 ± 0,049	0,116 ± 0,049	0,083 ± 0,009	0,880 ± 0,333	1,167 ± 0,022	0,630 ± 0,180	0,100 ± 0,044
		30	0,070 ± 0,013	0,070 ± 0,013	0,078 ± 0,002	0,461 ± 0,367	0,770 ± 0,503	0,557 ± 0,278	0,108 ± 0,054
		60	0,031 ± 0,042	0,031 ± 0,042	0,057 ± 0,028	0,351 ± 0,276	0,577 ± 0,105	0,494 ± 0,406	0,048 ± 0,064
	Taganga	0	0,186 ± 0,179	5,405 ± 7,527	0,057 ± 0,000	0,329 ± 0,392	0,952 ± 0,654	0,389 ± 0,106	0,172 ± 0,071
		5	0,140 ± 0,132	6,083 ± 7,727	0,228 ± 0,249	0,573 ± 0,214	0,796 ± 0,062	0,661 ± 0,228	0,183 ± 0,180
		30	0,216 ± 0,128	6,243 ± 8,476	0,323 ± 0,362	1,031 ± 0,417	1,268 ± 0,104	0,747 ± 0,196	0,175 ± 0,116
		60	0,053 ± 0,001	6,383 ± 8,906	0,104 ± 0,063	0,237 ± 0,009	0,758 ± 0,285	0,515 ± 0,427	0,075 ± 0,026
	Gaira	0	0,458 ± 0,312	6,272 ± 8,764	0,047 ± 0,007	0,316 ± 0,254	1,020 ± 0,255	0,584 ± 0,392	0,424 ± 0,200
		5	0,098 ± 0,005	4,972 ± 6,926	0,054 ± 0,003	0,164 ± 0,026	1,288 ± 1,143	0,527 ± 0,452	0,123 ± 0,105
		30	0,185 ± 0,007	5,292 ± 7,378	0,186 ± 0,190	0,468 ± 0,469	0,357 ± 0,117	0,402 ± 0,482	0,543 ± 0,158
		60	0,206 ± 0,217	4,948 ± 6,880	0,349 ± 0,413	0,875 ± 1,024	0,450 ± 0,119	0,425 ± 0,289	0,541 ± 0,625

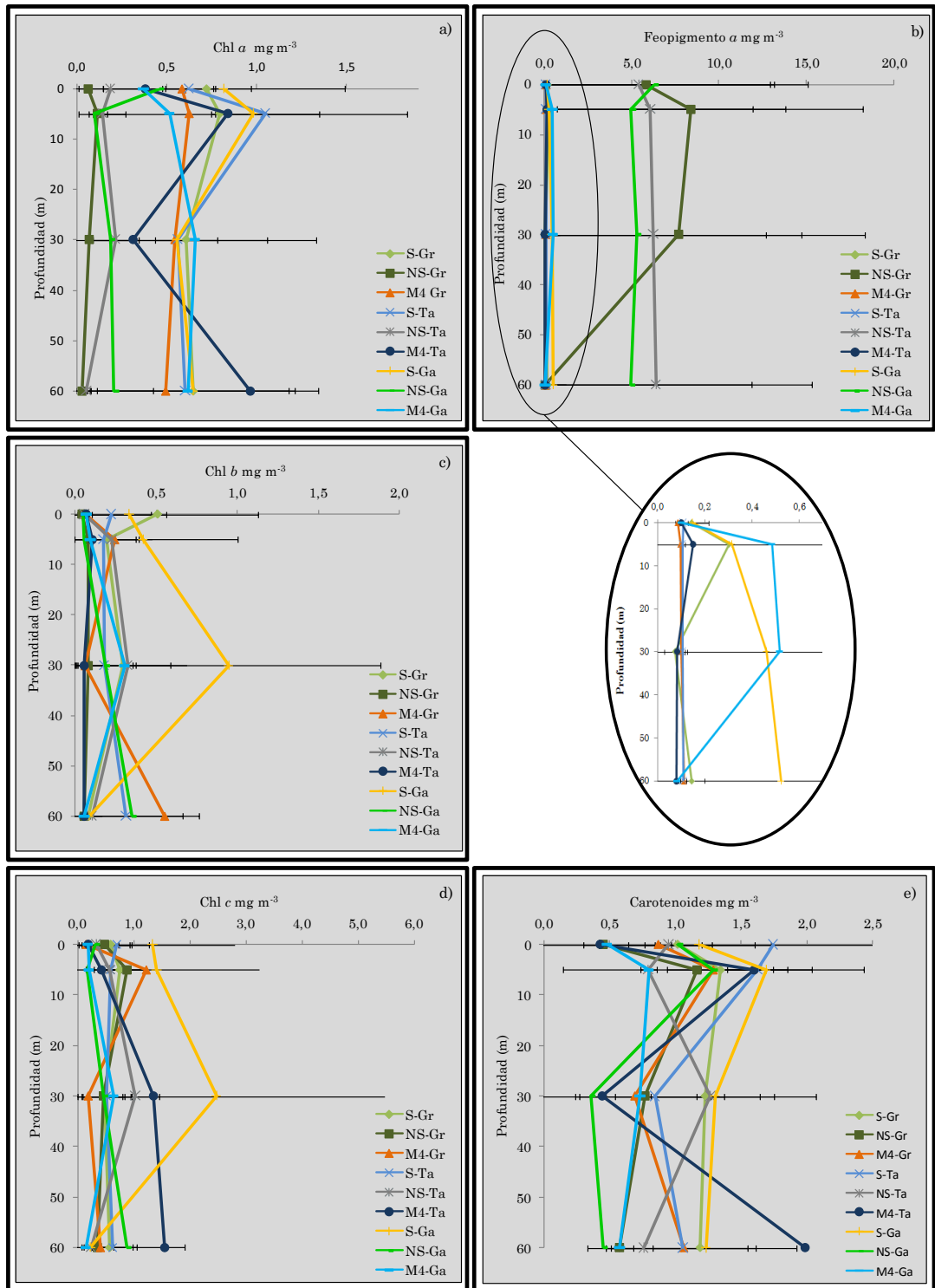


Figura 16. Perfiles de pigmentos fotosintéticos para seis muestreos correspondientes a periodos de surgencia y no surgencia propios de las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Clorofila a. (b) Feopigmento a. (c) Clorofila b. (d) Clorofila c. (e) Carotenoides. M4: Muestreo 4. S: surgencia. NS: no surgencia.

Respecto a la distribución vertical de la concentración de pigmentos fotosintéticos, se observó un patrón de agrupación definido por los diferentes estratos del agua en estudio, exhibiendo valores más altos en las capas superficiales, lo que llevó a que se encontraran diferencias significativas en el patrón de distribución de los pigmentos con respecto a la profundidad (Friedman $p < 0,05$; tabla 8; figura 15).

El índice de actividad fotosintética IAF_1 con un promedio de $6,34 \pm 5,34$ en S respondió a una alta concentración de chl- α y baja de feo- α , indicando, de esta manera, una alta calidad de los pigmentos o el poco pastoreo por parte del zooplancton, representando entonces un estado fisiológico óptimo característico de dicho periodo. En contraste, durante el periodo en ausencia de S se encontró un valor promedio ($0,52 \pm 0,84$) considerablemente menor, lo que indica un amplio declive en el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica propio de esta época (tabla 8; figura 16a). Por otra parte, el IAF_2 respondió a lo que se ajusta en general a una relación directa chl- α – carotenoides en los periodos en mención, lo que llevó a que se encontraran valores en el rango de 0,03 y 1,61. No obstante, se evidencian valores más altos durante el periodo inicial (S) con $0,55 \pm 0,30$ y valores más bajos ($0,21 \pm 0,23$) para el periodo final (tabla 8; figura 16b).

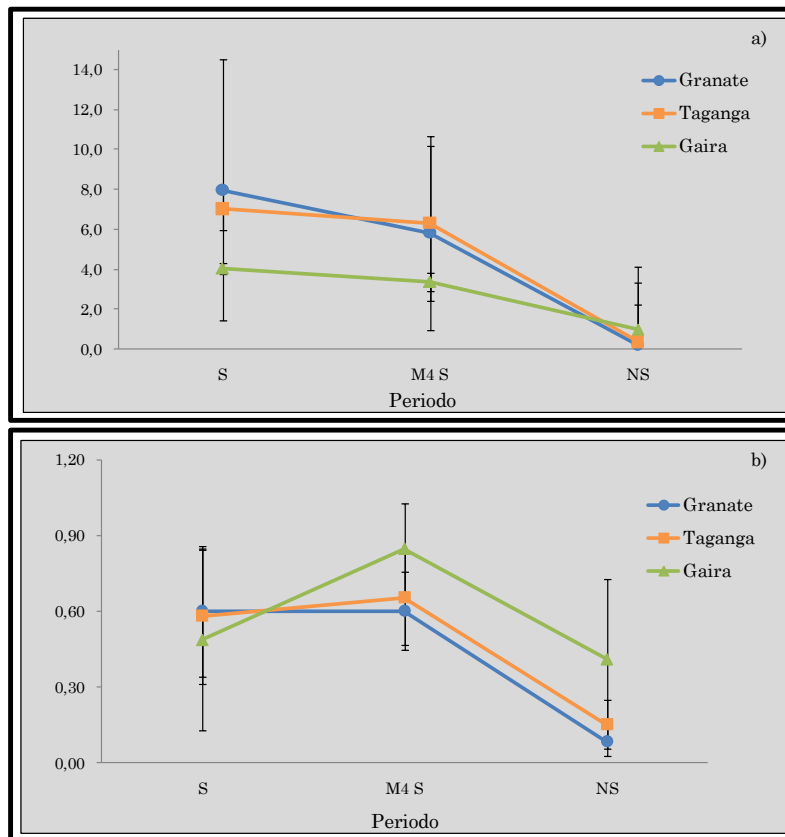


Figura 17. Índices de actividad fotosintética promedio propios del periodo de surgencia y no surgencia en las estaciones de Granate, Taganga y Gaira. (a) IAF₁. (b) IAF₂. S: surgencia. M4 S: Muestreo cuatro en surgencia. NS: no surgencia.

7.5 Relación componente biótico y abiótico

7.5.1 *Eventos Lasker y concentración de clorofila a*

Los valores de turbulencia en las Ensenadas de Gaira y Granate y Bahía de Taganga ostentaron valores en un rango de 3,026 y 5,600 indicando aguas turbulentas para las tres estaciones (Lalli y Parsons, 1993). En este marco, la correlación Spearman entre las variables turbulencia y concentración de chl - a indicó una asociación positiva entre dichas variables (Spearman $r = 0,6099$, $p <$

0,005; Anexo C). Igualmente, en la figura 17 se observa una tendencia general, donde el aumento en la turbulencia del agua genera, así mismo, un aumento en las concentraciones de chl- α . Lo que muestra que los “eventos Lasker” en las tres locaciones en estudio favorecen por fluctuaciones en la capa de mezcla la comunidad fitoplanctónica (*i.e.* en términos de biomasa).

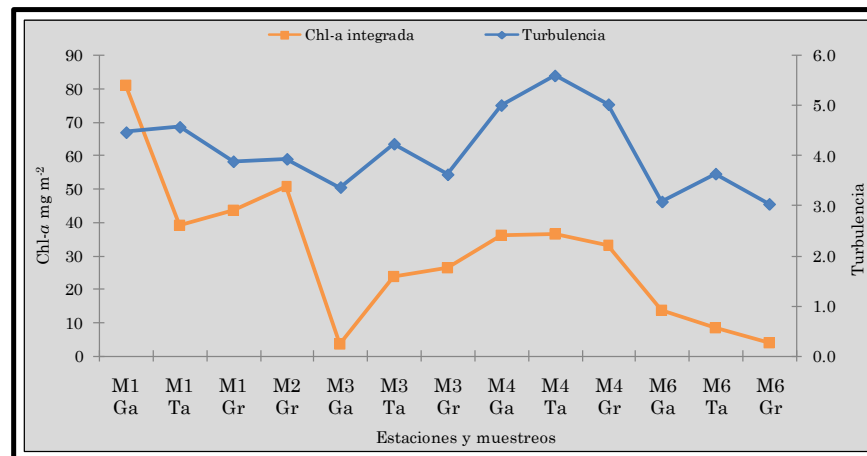


Figura 18. Variación de la concentración de clorofila α en relación con la turbulencia del agua en el periodo febrero – junio de 2008 para las Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr) y la Bahía de Taganga (Ta). M: muestreo.

7.5.2 Correlaciones

Las correlaciones de Pearson se realizaron para algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica junto con los parámetros fisicoquímicos señalados en la tabla 9. Dichas correlaciones indican que la densidad celular se relacionó positivamente con la concentración de NO_3^- y negativamente con la salinidad y densidad del agua. De la misma manera señalan una relación negativa entre la diversidad con las variables temperatura del agua, salinidad, pH, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. La riqueza de géneros se vio

afectada negativamente por la temperatura del agua, pH y saturación de oxígeno. Igualmente, el número de géneros (S-N0) presentó una asociación negativa con la temperatura del agua y pH además del oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. La equiparabilidad mostró una dependencia positiva con la concentración de NH_4^+ y negativa con la saturación de oxígeno. La concentración de chl-*a* fue relacionada negativamente con la temperatura del agua, salinidad y NO_3^- . Inversamente la concentración de feo-*a* muestra una relación positiva con dichos parámetros, sumado a estos la densidad del agua, además de verse afectada negativamente por la concentración de NH_4^+ . La concentración de chl-*c* solo se vio afectada negativamente por el oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. Finalmente, los resultados de las correlaciones señalan que, al parecer las concentraciones de chl-*b* y carotenoides no se vieron afectadas de manera importante por los parámetros evaluados en este estudio; en adición, descartan que las concentraciones NO_2^- y HPO_4^- tengan un efecto importante sobre las variables biológicas en estudio.

7.5.3 Efecto del evento La NIÑA sobre la dinámica fitoplanctónica

El periodo en estudio febrero-junio de 2008 se encontró modulado por el evento La NIÑA, esto es confirmado por el índice ONI que fluctuó entre -1,4 y -0,5. Sin embargo, de acuerdo a García-Hoyos (*en prep.*) los parámetros fisicoquímicos no fueron alterados de manera importante por dicho evento. Respecto a la composición fitoplanctónica, igualmente, no se presentó como un factor determinante. Esto se observa claramente en el análisis de clasificación cualitativa (figura18), donde no se observa segregación de los trabajos realizados en el área costera del Magdalena, producto de una discriminación

de eventos La NIÑA, El NIÑO o época climática (tabla 10 y 11; figura 18). De la misma manera, las concentraciones de chl *a* y feo *a* parecen no responder a la influencia de los eventos NINA/NIÑO, incluso no se evidencia una marcada alteración consecuente con las épocas climáticas (figura 19).

Tabla 9. Correlaciones de Pearson entre los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua 0-60 m y algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica. d: riqueza de Margalef. J': equiparabilidad. H'(ln): diversidad de Shannon-Wiener. S-N0: número de géneros. Cart: carotenoides. r: coeficiente de correlación. n: número de datos pareados. p: valor *p*. las casillas resaltadas denotan correlación.

Parámetro	n		Densidad celular	H'(ln)	d	S	J'	Chl-a	Feo-a	Chl-b	Chl-c	Cart
Temperatura	72	r	0.1085	-0.4078	-0.3647	-0.3691	-0.1801	-0.3096	0.3359	-0.1087	-0.0467	-0.1384
		p	0.3645	0.0004	0.0016	0.0017	0.1300	0.0081	0.0039	0.3632	0.6970	0.2465
Salinidad	72	r	-0.3663	-0.2676	-0.1549	0.1773	-0.1453	-0.3121	0.5701	0.0007	0.1493	-0.0336
		p	0.0016	0.0231	0.1938	0.1363	0.2232	0.0076	0.0000	0.9955	0.2107	0.7796
pH	72	r	-0.1884	-0.3018	-0.4257	-0.4070	-0.1217	-0.0598	0.0035	-0.1162	-0.1899	-0.2143
		p	0.1130	0.0100	0.0002	0.0004	0.3085	0.6177	0.9770	0.3310	0.1100	0.0707
Densidad	72	r	-0.3648	-0.0056	0.2101	0.1955	-0.1138	-0.0352	0.3475	0.1267	0.1755	0.1107
		p	0.0016	0.9631	0.0764	0.0998	0.3413	0.7820	0.0028	0.2888	0.1404	0.3548
Oxígeno disuelto	72	r	-0.2103	-0.2730	-0.2103	-0.5006	0.0077	-0.1240	-0.0737	-0.1336	-0.3154	-0.1801
		p	0.0762	0.0203	0.0762	0.0000	0.9887	0.2994	0.5386	0.2632	0.0070	0.1301
Saturación de oxígeno	72	r	-0.1918	-0.3033	-0.5131	-0.5170	-0.0103	-0.1547	-0.0292	-0.1422	-0.3061	-0.1885
		p	0.1065	0.0096	0.0000	0.0000	0.9314	0.1944	0.8076	0.2335	0.0089	0.1128
NO ₃ ⁼	54	r	0.3393	-0.1563	-0.0004	0.0234	-0.1833	-0.2822	0.3499	0.2512	-0.0735	-0.0758
		p	0.0121	0.1784	0.9976	0.8667	0.1847	0.0387	0.0095	0.0669	0.5975	0.5859
NO ₂ ⁻	36	r	0.2314	0.1019	0.1750	0.1039	-0.0012	0.0568	0.0045	-0.1672	-0.1495	0.1263
		p	0.1745	0.5543	0.3075	0.5464	0.9947	0.7419	0.9792	0.3297	0.3840	0.4629
NH ₄ ⁺	36	r	0.2687	0.2222	-0.0744	-0.0174	0.3683	0.1527	-0.3802	0.0059	0.0620	-0.0215
		p	0.1131	0.1927	0.6662	0.9196	0.0271	0.3739	0.0222	0.9726	0.7192	0.9009
HPO ₄ ⁼	72	r	0.1396	0.2122	0.1878	0.1204	0.1158	0.1747	0.0549	-0.1630	-0.0455	0.0254
		p	0.2423	0.0735	0.1142	0.3138	0.3327	0.1421	0.6470	0.1712	0.7040	0.8322

Tabla 10. Estudios de la comunidad fitoplanctónica comprendidos entre el periodo 1974 – 2001, en el área costera del Departamento del Magdalena, influenciados por eventos Niño/Niña o en ausencia de ellos. Promedios trimestrales del índice ONI. EFM: enero-febrero-marzo. OND: octubre- noviembre-diciembre.

	Autores												
	Caicedo (1975)						Caicedo (1975)	Torres <i>et al.</i> (1993)	De la Hoz (1995)	Tigreros (2001)	Tigreros (2001)		
Estaciones	Neganje						Neganje	Gayraca	Gaira	Concha, Gaira, Chengue		Concha, Gaira, Chengue	
Trimestres	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	OND	JAS	ASO	ASO	FMA	MAM	SON
ONI	-1.6	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.8	0.3	0.3	-0.5	-0.9	-0.8	-1.2

Tabla 11. Estudios de la comunidad fitoplanctónica comprendidos entre el periodo 2003 – 2008, en el área costera del Departamento del Magdalena, influenciados por eventos Niño/Niña o en ausencia de ellos. Promedios trimestrales del índice ONI. EFM: Enero-Febrero-Marzo. OND: Octubre- Noviembre-Diciembre.

	Autores												
	Barragán <i>et al.</i> (2003)		Campos <i>et al.</i> (2004)		Vasquez (2006)					Torres-Sierra (2007)	Presente estudio		
Estaciones	Gaira		Gaira		Bahía de Cispatá					Gaira	Granate, Taganga, Gaira		
Trimestres	ASO	SON	FMA	MAM	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	JAS	FMA	MAM	AMJ
ONI	0.5	0.5	0.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	-1.1	-0.7	-0.5

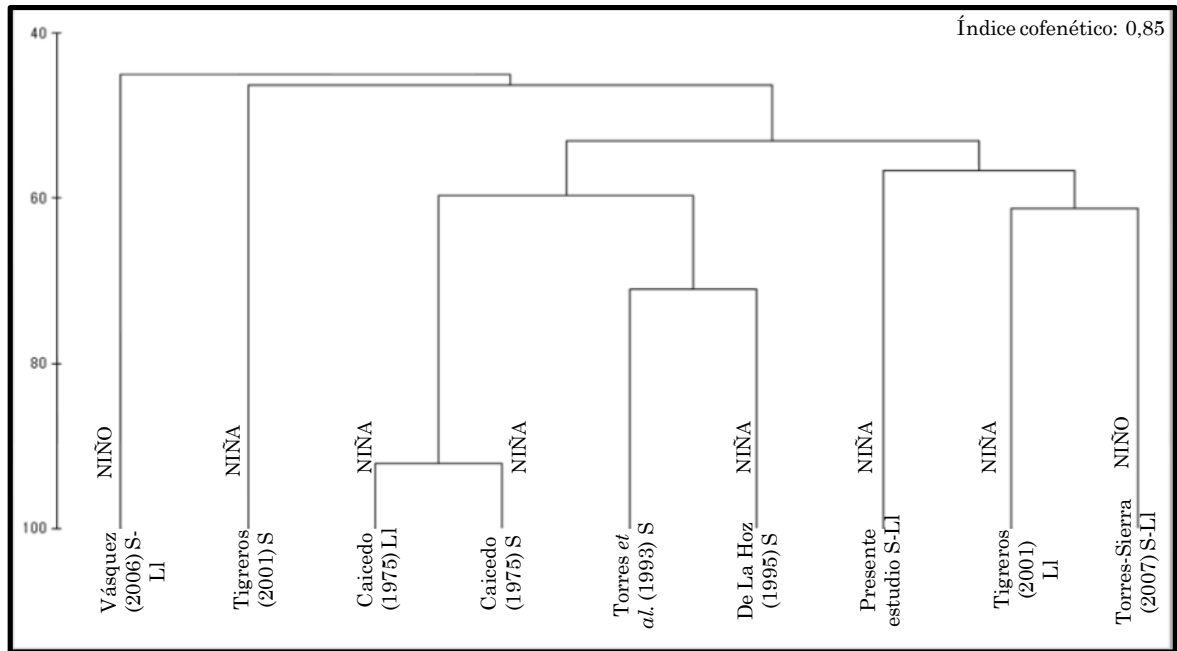


Figura 19. Análisis de clasificación cualitativo para la comunidad fitoplanctónica obtenidos a partir de los trabajos de Vásquez (2006) (1), Tigreros (2001) (2), Caicedo (1975) (3), Torres *et al.* (1993) (4), De La Hoz (1995) (5), presente estudio (6) y Torres-Sierra, (2007) (7). Cis S-Llm: Bahía de Cispatá en época seca y lluviosa. EE seca: Bahía Concha, Ensenada de Gaira y Bahía de Chengue. Neg: Bahía de Neguangué. Gay: Bahía Gayraca. Ga: Ensenada de Gaira. Gr: Ensenada de Granate. Ta: Bahía de Taganga. S: época seca. Ll: época lluviosa.

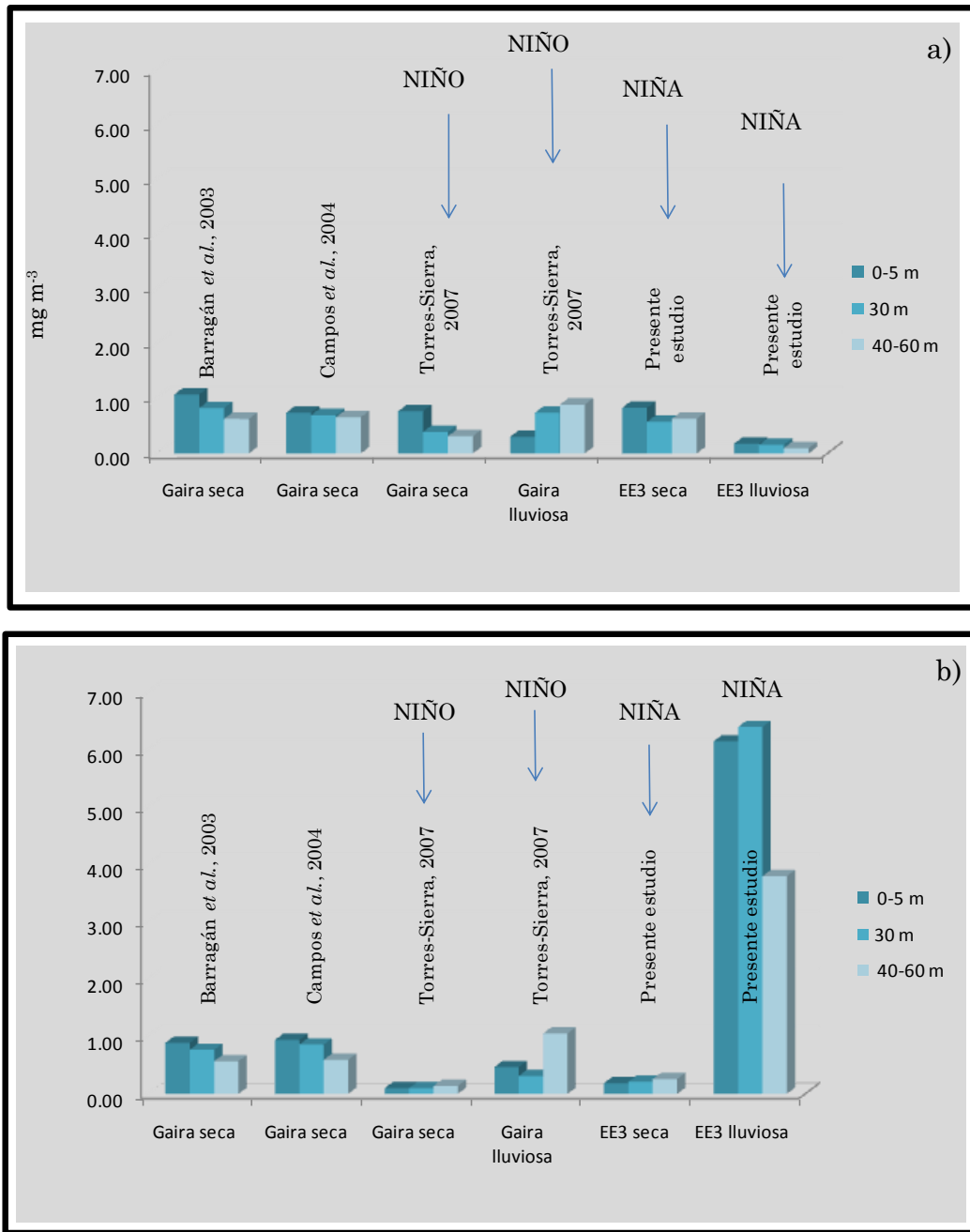


Figura 20. Concentración de los pigmentos fotosintéticos chl-*a* (a) y feo-*a* (b) obtenidos a partir de los trabajos de Barragán *et al.* (2003), Campos *et al.* (2004), Torres-Sierra (2007) y presente estudio. EE3: Bahía de Taganga, y Ensenadas de Gaira y Granate. Seca: época seca. Lluviosa: época lluviosa.

8. Discusión de resultados

En el período comprendido entre febrero y junio de 2008, donde se presentaron las épocas seca mayor y lluviosa menor, en la zona costera del Departamento del Magdalena, la estación lluviosa menor, mostró una baja intensidad producto de la oscilación en el desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (CIOH, 2008), desencadenando importantes efectos sobre la dinámica oceanográfica. La variable que mejor representó el retraso en la intensidad de las lluvias fue la salinidad, que incluso, evidenció un aumento para la época lluviosa menor, fluctuando entre 35,10 y 36,6 (Anexo D), lo que se traduce, en una alta evaporación y un bajo aporte de aguas continentales, lo que implicaría, a su vez, un bajo aporte de nutrientes por parte de estas últimas.

De acuerdo a García-Hoyos (*en prep.*), en respuesta a la mayor intensidad de los vientos Alisios, la coacción del viento sobre las aguas superficiales generó eventos de surgencia para los cuatro muestreos iniciales. En contraste, durante los muestreos cinco y seis no se desarrollaron eventos de surgencia, a causa de un notorio debilitamiento de los Alisios. La variable que mejor representó estos hechos fue la temperatura, que mostró valores bajos en el inicio del periodo con 23,4 °C caracterizando la temporada de surgencia, y paulatinamente fue en aumento llegando hasta 30 °C (anexo D). Sin embargo, cabe destacar que aunque la salinidad y la temperatura permitieron caracterizar las épocas climáticas y las condiciones producto de pulsos de surgencia y ausencia de estos, las diferencias entre periodos y/o estaciones no fueron significativas (Wilcoxon $p > 0,05$).

Estos resultados están entre los rangos propuestos por diversos autores para la zona costera del Departamento del Magdalena que incluyen a Arévalo (2007), Franco-Herrera *et al.* (2006), Franco-Herrera (2005), Campos *et al.* (2004), Barragán *et al.* (2003), Castro *et al.* (2002), Tigreros *et al.* (1999), Bernal (1994) y Ramírez (1983), quienes evidencian bajas temperaturas y altas salinidades en presencia de pulsos de surgencia, producto del ascenso de aguas más frías, junto con altas temperaturas durante la temporada de lluvias. No obstante, valores de salinidad por encima de 36,0 resultan atípicos en el periodo de lluvias y en desacuerdo con los trabajos anteriormente mencionados.

El pH no presentó una gran variabilidad durante el período de estudio, fluctuando entre 8,14 y 8,5, igualmente, no mostró relación con los picos de temperatura que, de acuerdo a Cifuentes *et al.* (1997), favorecen una caída en los niveles de CO₂ en el agua y por ende un favorecimiento en los niveles de pH (Anexo D). Esta estabilidad puede ser atribuida al efecto buffer que presenta el agua de mar, que impide cambios marcados en las concentraciones de hidrogeniones e hidroxilos en la columna de agua (Nybakken, 2001). De cualquier manera, los resultados son equiparables con los reportados por Arévalo (2007), Campos *et al.* (2004), Barragán *et al.* (2003), Tigreros *et al.* (1999) y Bernal (1994), quienes encontraron poca variabilidad entre épocas climáticas.

Como es sabido, la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua está influenciada por la temperatura, la salinidad, la presión y la turbidez, así como por la actividad de organismos que llevan a cabo procesos de respiración y fotosíntesis (Franco-Herrera, 2005; Nybakken y Bertness, 2004; Ramírez y Viña, 1998; Ruttner, 1953). En síntesis, las aguas en estudio presentaron

condiciones de subsaturación fluctuantes entre 52, 57 % y 86,71 %, siguiendo un comportamiento ascensional a lo largo del periodo en estudio hasta llegar a la saturación (anexo D). Los valores obtenidos son similares y en muchos casos superiores a los reportados por Arévalo (2007), Franco-Herrera (2005), Campos *et al.* (2004), Castro *et al.* (2002), Tigreros *et al.* (1999), Acosta y Cañón (1998), y Ramírez (1990; 1983) para la costa del Magdalena y, González *et al.* (2006) y Santander *et al.* (2001) para la costa de Venezuela y Chile, respectivamente.

Con respecto a los nutrientes, las concentraciones de nitratos (NO_3^-), y nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y ortofosfatos (HPO_4^-), presentaron valores muy similares a lo largo del semestre fluctuando entre 2,69 – 31,54 $\mu\text{g at l}^{-1}$, 0,04 – 5,46 $\mu\text{g at l}^{-1}$ y 2,59 – 4,68 $\mu\text{g at l}^{-1}$, respectivamente. Para el caso de los nitratos las concentraciones más bajas se reportaron para el periodo de no surgencia y las mayores para el periodo de surgencia. Los valores $> 30 \mu\text{g at l}^{-1}$ propios de este estudio superan por mucho los reportados para la zona costera del Departamento del Magdalena y hacen comparable este escenario de surgencia con sistemas como los de Perú (Zuta y Guillen, 1970 En: Ramírez 1990), Chile (Iriarte *et al.*, 2007) y África noroccidental (Jones, 1972 En: Ramírez 1990). Asimismo, la concentración de ortofosfatos supera los valores registrados para la zona. Por su parte, el amonio y nitrito exhibieron sus valores máximos y mínimos en el periodo de no surgencia y estos son equiparables a los reportados por varios autores (tabla 12).

Es así como, las condiciones físicas (*i.e.* temperatura) y químicas (*i.e.* salinidad pH, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes), propias de la Bahía de Taganga y las Ensenadas de Gaira y Granate, prepararon un ambiente apropiado para el desarrollo y florecimiento de la comunidad fitoplanctónica.

Tabla 12. Rangos de concentración de amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y ortofostatos (HPO_4^-) para cuatro locaciones del Departamento del Magdalena. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio. ND: No determinado. (modificado de Torres-Sierra 2007).

Estación	Autores	NH_4^+ ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	NO_3^- ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	NO_2^- ($\mu\text{g at l}^{-1}$)	HPO_4^- ($\mu\text{g at l}^{-1}$)
Ensenada de Gaira	Arévalo (2007)	0,000 - 4, 098	8,24 - 10,19	0,342 - 0,409	0,291 - 0,315
	Campos <i>et al.</i> (2004)	< 0,01 - 7,84	ND	< 0,01 - 5,6	< 0,01 - 0,92
	Barragán <i>et al.</i> (2003)	< 0,01 - 4,78	ND	0,01 - 0,71	0,01 - 2,44
Bahía de Chengue	Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira (2003)	< 0,1 - 8,41	ND	0,0 - 0,71	< 0,03 - 0,54
Ensenada de Gaira	Tigreros <i>et al.</i> (1999)	0,10 - 0,71	ND	0,01 - 1,49	0,01 - 1,92
	Serna y Vallejo (1996)	0,17 - 2,00	ND	0,07 - 0,87	0,16 - 2,34
	Londoño (1995)	0,02 - 2,3	ND	0,01 - 1,25	ND
Ensenada de Gaira	García-Hoyos (<i>en prep.</i>)	0,04 - 5,46	3,46 - 22,69	3,24 - 3,62	2,66 - 3,35
Ensenda de Granate	García-Hoyos (<i>en prep.</i>)	0,04 - 2,96	2,69 - 31,54	3,24 - 3,43	2,72 - 4,68
Bahía de Taganga	García-Hoyos (<i>en prep.</i>)	ND	1,92 - 26,15	ND	2,59 - 2,66

El periodo en estudio estuvo modulado por el evento La Niña 2007/2008, sin embargo, considerando las condiciones océano-atmosféricas descritas y la no diferenciación cualitativa en el ensamblaje del microfitoplancton entre años El Niño y La Niña para el área de estudio (figura 18), es posible inferir que el escenario ambiental no fue definido por dicho evento, sino por las épocas climáticas (García-Hoyos, *en prep.*). En este marco, la composición de grupos taxonómicos presentó una mayor proporción de las diatomeas durante la totalidad de la investigación, esto aparece como una constante en las comunidades típicas de ambientes de surgencia costera (Avaria *et al.*, 1989 y Bode y Fernández 1992 En: Santander *et al.*, 2003; Hood *et al.*, 1990 y Wilkerson *et al.*, 2000 En: Bruland *et al.*, 2001), puesto que es un grupo cosmopolita, muy diverso, con un muy elevado número de formas marinas (Round *et al.*, 1990; Mc Connaughey, 1974), que presentan adaptaciones a aguas turbulentas como las del Caribe, que aseguran su permanencia en el medio (Corredor, 1979; Balech, 1977), y otro tipo de adaptaciones que les permiten aumentar el área de absorción de nutrientes. Además, se ha

demostrado una mayor actividad enzimática de las nitrato/nitrito reductasas en especies de diatomeas en comparación a especies de flagelados (Lomas y Glibert, 2000 En: Iriarte *et al.*, 2007), lo que les atribuye la capacidad de aprovechar ofertas de NO_3^- y NO_2^- , con mayor efectividad. Esto último, es consecuente con las altas concentraciones de nitratos reportadas por García-Hoyos (*en prep.*) para la totalidad del estudio, que habrían favorecido el crecimiento de las diatomeas por encima de otros grupos taxonómicos. Por su parte, sistemas oceánicos del Caribe colombiano aparecen dominados por las cianobacterias, es así como, Campos (2007), Téllez (1985) y Herrera (1985), reportan a dicho grupo como predominante en las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, esta dominancia resulta de la baja oferta de nitrógeno en el medio y de la capacidad de este grupo de tomar este nutriente en forma de nitrógeno dimolecular $\text{N}_{2(g)}$; situación ajena a este estudio, y que podría explicar el dominio de las diatomeas sobre las cianobacterias.

Estos resultados son equiparables con los reportados por Torres-Sierra (2007), Franco-Herrera (2001), Tigreros (2001), Duarte (1996) y Caicedo (1975) para el Caribe colombiano, que presentaron valores cercanos al 70 % de representatividad por parte de las diatomeas (tabla 13). Igualmente, se ajusta a lo reportado por Santander *et al.* (2003) y Ochoa y Tarazona (2003) para los sistemas de surgencia de Chile y Perú, respectivamente.

Dentro del grupo de las diatomeas, es notable la dominancia de los géneros *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Guinardia*, *Bacteriastrum*, *Leptocylindrus*, *Helicotheca*, *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia*, destacando las formas coloniales, que de acuerdo a Balech (1977), presentan ventajas al aumentar la fricción que disminuye la velocidad de sedimentación, y además, mantienen una alta eficiencia en términos de

captación de luz, incorporación de nutrientes y crecimiento, dado que cada célula conserva su individualidad viéndose favorecida por una mayor relación superficie/volumen, lo que de acuerdo a Hutchings *et al.* (1995 En: Santander *et al.*, 2003) se traduce en un mayor aprovechamiento de las condiciones propias de un evento de surgencia costera.

Tabla 13. Porcentaje de representación de diatomeas para varias locaciones que comprenden el periodo 1974 – 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio.

Estación	Autores	Diatomeas
Ensenada de Gaira	Torres-Sierra (2007)	85%
Golfo de Salamanca y PNNT	Franco-Herrera (2001)	> 70 %
Ensenada de Gaira y, Bahías de Chengue y Concha	Tigreros (2001)	
Península de la Guajira	Duarte (1996)	
Bahía de Neguangué	Caicedo (1975)	
Bahía de la Paz (Baja California sur)	Signoret y Santoyo (1980)	71.20%
Bahía de Taganga y, Ensenadas de Gaira y Granate	Presente estudio	> 90%

Varios trabajos han reportado composiciones y géneros dominantes similares, de esta forma Torres- Sierra (2007), Franco-Herrera *et al.* (2006), Tigreros (2001), Duarte (1996) y De La Hoz (1995), reportan a *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Pseudonitzschia* y *Rhizosolenia*, como los géneros predominantes para la zona del Magdalena, a los que se unen Ochoa y Tarazona (2003) en el Pacífico.

A partir de la composición no se evidenciaron discrepancias significativas de la comunidad fitoplanctónica (figura 10); debido a que un gran porcentaje (71 %) de los géneros fue identificado para las dos condiciones oceanográficas, lo que puede ser atribuido a características ambientales en general homogéneas

(García-Hoyos, *en prep.*), sin embargo, se denota la formación de dos agrupaciones, en respuesta a conjuntos específicos que estarían caracterizando cada periodo. Estos resultados son equiparables con lo registrado por Torres-Sierra (2007), trabajo inmediatamente anterior a este, quien no observó diferencias significativas en términos de composición específica, en eventos de surgencia y ausencia de estos.

Las densidades celulares, por otra parte, mostraron marcadas diferencias entre los dos periodos. El índice de Bray-Curtis (figura 12), permitió observar la formación de varias agrupaciones, producto de una segregación temporal que evidenció mayores densidades para la temporada de surgencias, junto con una agregación en las capas superiores del agua que, de la misma manera, en general, exhibieron valores más altos. Esto puede ser indicativo principalmente de que, los pulsos de surgencia modularon condiciones físicas y químicas adecuadas para la proliferación de la comunidad fitoplanctónica, que fueron protagonizados especialmente por el género *Chaetoceros*, el cual, alcanzó las densidades más altas durante este periodo. Igualmente, cabe resaltar, nuevamente, la tardanza en el desarrollo de la temporada de lluvias que evidentemente tuvo un efecto detrimental en el habitual considerable aporte de nutrientes proveniente de descargas continentales; lo que señala a este último como un periodo transicional, que permitió destacar en este espacio a géneros de crecimiento rápido junto con alta adaptabilidad, principalmente a *Skeletonema* quien presentó las densidades más altas en condiciones de no surgencia.

La dominancia del género *Chaetoceros* durante el periodo inicial, junto con su alta densidad en ausencia de afloramientos de agua, pudo ser debida a que la

mayoría de sus especies son euritéricas, eurihalinas y producen hipnosporas (Calderón, 1986), lo que les atribuye amplios rangos de supervivencia, incluso en condiciones desfavorables (Pitcher, 1990), además, les permite la explotación de aguas que reciben descargas continentales directas (que integran un reto en términos de salinidad) cargadas con importantes nutrientes especialmente los silicatos (Margalef, 1991). Así mismo, el estar ornamentado con largas setas, les permite la formación de colonias lo cual, como se mencionó anteriormente representa una gran ventaja ya que pueden permanecer en diferentes estratos del agua (Waite, 1996). Finalmente, la predominancia de los géneros *Chaetoceros* y *Skeletonema* a lo largo de la investigación, en S y NS respectivamente, pone en evidencia su habilidad para explotar eficientemente cada uno de los escenarios (Santander *et al.*, 2003). Hafner *et al.* (1980), señalan al respecto, que en sistemas altamente dinámicos, un factor importante es la adaptabilidad de las especies, de manera que diferentes conjuntos específicos de la comunidad residente alcanzarán sus máximas tasas de crecimiento en momentos también específicos (Santander *et al.*, 2003), lo que se ajusta a los resultados actuales. En adición, Torres-Sierra (2007), para la Ensenada de Gaira, señala condiciones de florecimiento en surgencia del género *Skeletonema* y del género *Chaetoceros* en no surgencia, contrario a los resultados actuales, lo que muestra por parte de estos una gran capacidad de adaptación y aprovechamiento de diferentes condiciones características de dichos eventos.

Mayores densidades durante el periodo de surgencia en comparación con no surgencia, resultan en contraparte con lo encontrado por Torres-Sierra (2007), Franco-Herrera (2001), Tigreros (2001) y Caicedo (1975), quienes reportan mayores densidades para los periodos de lluvias donde los eventos de surgencia

son bajos o nulos, y menores densidades para periodos secos en presencia de surgencia ocasional. Sin embargo, pese a haber encontrado mayores densidades en surgencia, los valores reportados son inferiores a los hallados en otros focos de afloramiento (tabla 14). En este punto, un factor a tener en cuenta es la salinidad, que como se mencionó anteriormente exhibió valores altos durante surgencia y no surgencia y presentó una asociación negativa con la densidad celular. Ello permitiría inferir, que los rangos de salinidad habrían superado los intervalos de tolerancia de algunas de las especies que componen la comunidad fitoplanctónica en este estudio, convirtiéndose en un factor limitante para su crecimiento. Al respecto, Moronta *et al.* (2006) encontraron que en condiciones axénicas autotróficas, valores altos de salinidad inhiben el crecimiento microalgal hasta en un 90 %.

Tabla 14. Rangos de densidad celular, para diferentes focos de surgencia, comprendidas entre 1997 y 2005.

Estación	Autores	Densidad cel l ⁻¹
Bahía de Magallanes, Chile	Pizarro <i>et al.</i> (2005)	100 - 27,4 x 10 ⁵
Zona costera del Iquique, Chile	Santander <i>et al.</i> (2003)	2,08 x 10 ³ - 1,15 x 10 ⁶
Bahía de Independencia, Peru	Ochoa y Tarazona (2003)	50,8 x 10 ³ - 11,9 x 10 ⁵
Laguna costera, Golfo de California	Martinez-Lopez y Garate (1997)	101 x 10 ³ - 652 x 10 ³
Ensenadas de Gaira y Granate y Bahía de Taganga	Presente estudio	246,40 - 26392,80

En adición, los resultados de densidad celular actuales ostentan un rango más amplio (246,40 - 26392,80 cel l⁻¹) con respecto a lo reportado por Torres-Sierra (2007) (344,11 - 7044,47 cel l⁻¹) para la Ensenada de Gaira. Es importante mencionar, que las concentraciones de NO₃⁻ se relacionaron positivamente con la densidad celular, evidenciando de esta manera, que mayores concentraciones de NO₃⁻ favorecen el aumento de la densidad. Lo que podría explicar las

abundancias celulares superiores propias de este estudio, dado que las concentraciones de este macronutriente superan por mucho las reportadas por Arévalo (2007), a lo que se suma concentraciones de ortofosfatos igualmente superiores (García-Hoyos, *en prep.*), que habrían favorecido el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

Con respecto a la diversidad, esta se presentó similar a lo largo de los periodos. Igualmente pareció responder principalmente a la densidad celular, riqueza y predominio mostrando valores altos con respecto a bajas densidades celulares y bajos predominios, y viceversa, lo que se ajusta a lo reportado por Vásquez (2006) para áreas marinas. Por su parte, las variables temperatura del agua y pH, presentaron una asociación negativa con los atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica como lo son, la riqueza, diversidad y números de Hill N0, lo que podría explicar, en términos de diversidad, la disminución registrada para el periodo de no surgencia, donde se reportaron los picos de las variables físicas y químicas en mención.

La mayor parte de los valores propios de este estudio, en términos de diversidad de Shannon – Wiener y uniformidad de Pielou (equiparabilidad), se mantienen dentro de los rangos reportados para la costa Caribe colombiana, así como a los reportados para diferentes regiones (tabla 15).

Tabla 15. Rangos de diversidad Shannon – Wiener (H') y Uniformidad de Pielou (J' = equiparabilidad), para diferentes locaciones, comprendidas entre 1978 y 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio. ND: no determinado. (modificado de Torres-Sierra, 2007).

Estación	Autores	H'	J'
Ensenada de Gaira	Torres-Sierra (2007)	2,4 - 2,6	0,57 - 0,75
Bahía Cispatá	Vázquez (2006)	2,02 - 6,34	0,33 - 0,88
Ensenada de Gaira	Torres <i>et al.</i> (1993)	2,25 - 3,96	0,42 - 0,78
Pacífico colombiano	Mora (1993)	2,83 - 4,23	0,66 - 0,99
Bahía de Taganga y, Ensenadas de Gaira y Granate	Presente estudio	0,65 - 2,42	0,25 - 0,90
Región de Magallanes (47° y 52° S)	Pizarro <i>et al.</i> (2005)	0,1 - 2,47	ND
Zona costera de Iquique, Chile	Santander <i>et al.</i> (2003)	0,2 - 2,8	0,04 - 0,62
Bahía de Independencia, Perú	Ochoa y Tarazona (2003)	0,5 - 4,0	0,1 - 0,84
Bahía concepción	Martínez-López y Gárate (1997)	1,9 - 2,5	ND
Bahía de la Paz (Baja California sur)	Signoret y Santoyo (1980)	1,98 - 4,02	ND
Noroeste de África	Margalef (1978)	2,4 - 2,6	ND

Con respecto, a las concentraciones de clorofila a , en general, se ajustan a lo reportado para la costa Caribe colombiana específicamente para los sistemas oceánicos y costeros. Sin embargo, son bajas con respecto a las reportadas para diferentes sistemas de surgencia entre estos, las costas de Chile y Venezuela (tabla 16). Es así como la biomasa fitoplanctónica es poca ante la magnitud del evento de surgencia, no obstante mayor comparada con periodos de no surgencia. Pese a que la disponibilidad de nutrientes es significativa, probablemente existió un desfase en el tiempo de respuesta por parte de la comunidad fitoplanctónica. Al respecto, Ahumada (1989) señala que la existencia de un período de retardo está asociado al tiempo que necesitan para que se produzca el consumo de los nutrientes transportados por las aguas recientemente afloradas (Santander *et al.*, 2001). Por otra parte, las concentraciones de clorofila a se relacionaron negativamente con la temperatura del agua y salinidad, evidenciando que temperaturas bajas y salinidades medias-altas favorecen el desarrollo de la comunidad

fitoplanctónica, y que en contraste temperaturas y salinidades altas tienen un efecto detrimental en dicha comunidad, confirmando de esta manera, estas variables en conjunto como factores determinantes en el aumento de la biomasa fitoplanctónica.

Tabla 16. Rangos de concentración de clorofila *a*, para diferentes locaciones, comprendidas entre 1984 y 2007. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio (modificado de Franco-Herrera, 2001).

Estación	Tipo de Agua	Autores	Chl- <i>a</i> mg m ⁻³
Ensenada de Gaira	Costeras	Arévalo (2007)	< 0,01 y 2,22
Islas de Providencia y Santa Catalina, Colombia	Insulares	Campos (2007)	0,057 - 0,849
Golfo de Salamanca	Costeras y oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (2006)	0,76 - 9,61
Parque Nacional Natural Tayrona	Oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (2006)	0,72 - 7,50
Ensenada de Gaira	Costeras	Campos <i>et al.</i> (2004)	0,21 - 2,24
Ensenada de Gaira	Costeras	Barragán <i>et al.</i> (2003)	0,107 - 4,37
Media Guajira, Colombia	Costeras	Colorado (2003)	< 8,0 - >77
Delta del rio Magdalena, Colombia	Lagunas costeras	Gocke <i>et al.</i> (2003)	62 - 130
Delta del rio Magdalena, Colombia	Lagunas costeras	Ruíz (1999)	0, 58 - 212,18
Plataforma continental de la Guajira, Colombia	Oceánicas	Duarte (1996)	0,76 - 1,52
Parque Nacional Natural Corales del Rosario	Oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (1992)	0,01 - 0,08
Parque Nacional Natural Corales del Rosario	Lagunas costeras	Gualteros <i>et al.</i> (1992)	0,1 - 0,8
Ciénaga Grande de Santa Marta	Lagunas costeras	Hernández y Gocke (1991)	5,6 - 181,7
Bahía de Cartagena	Costeras	Arias y Durán (1982)	0,20 - 19,25
Bahía de Taganga y, Ensenadas de Gaira y Granate	Costeras	Presente estudio	< 0,01 - 1,610
Bahía de Mochima, Venezuela	Costeras	González <i>et al.</i> (2006)	1,11 - 44,59
Zona costera del Iquique, Chile	Costeras	Santander <i>et al.</i> (2003)	5, 0 - 11,0
Zona costera del Iquique, Chile	Oceánicas	Santander <i>et al.</i> (2003)	2, 0 - 5,0
Bahía de la Florida	Costeras	Philips y Badylak (1996)	0,2 - 39,9
Costa Hellshire, Jamaica	Costeras	Webber y Roff (1996)	0,70 - 2,64
Golfo de México	Costeras y oceánicas	Bianchi <i>et al.</i> (1995)	0,15 - 2,85
Plataforma continental noreste de Venezuela	Costeras y Oceánicas	Rodríguez y Varela (1987)	0,1 - 5,2
Costa central de Chile	Oceánicas	Arcos y Salamanca (1984)	5,0 - 20,0

Igualmente, la concentración de NO_3^- apareció como otro factor que se relacionó negativamente con las concentraciones de clorofila α , indicando que a medida que el nitrato es consumido se da un crecimiento de la comunidad fitoplanctónica, lo que resulta en una asociación favorable para el fitoplancton.

La turbulencia del agua (*i.e.* eventos Lasker) es otro factor relacionado con la concentración de clorofila α , que mostró una asociación positiva con dicha variable (Spearman $r = 0,6099$, $p < 0,005$). La figura 17 confirma esta asociación, indicando que, en general, si bien no se encontraron concentraciones de clorofila α significativamente altas, las mayores biomásas fitoplanctónicas se manifestaron conjuntamente con la ocurrencia de los denominados eventos lasker, evidenciando, que durante estos picos, la columna de agua no presentó una estratificación ni turbulencia muy altas, permitiendo que los nutrientes recientemente aflorados por turbulencia fueran utilizados por el fitoplancton, condición favorable para el florecimiento fitoplanctónico (Lalli y Parsons, 1993).

En relación a las concentraciones de clorofila α y la densidad celular fitoplanctónica, cabe destacar que dichas variables siguieron un mismo comportamiento, es decir valores más altos durante surgencia y menores en no surgencia. Igualmente, la figura 20 muestra en general, concordancia en la distribución de la densidad celular y las concentraciones de clorofila α , contrario a lo reportado por Torres-Sierra (2007) y Santander *et al.* (2001), quienes encontraron que las concentraciones de clorofila α máximas no presentaron correspondencia con las densidades celulares máximas; argumentando al respecto, que en determinados momentos en el sistema puede existir un predominio de células correspondientes a espectros más pequeños de tamaño (*e.g.* nanoplancton fotosintetizador). Lo cual de la misma manera

resulta en contraparte a lo encontrado en este estudio donde en términos de composición se destacan diatomeas y dinoflagelados de tallas grandes o coloniales.

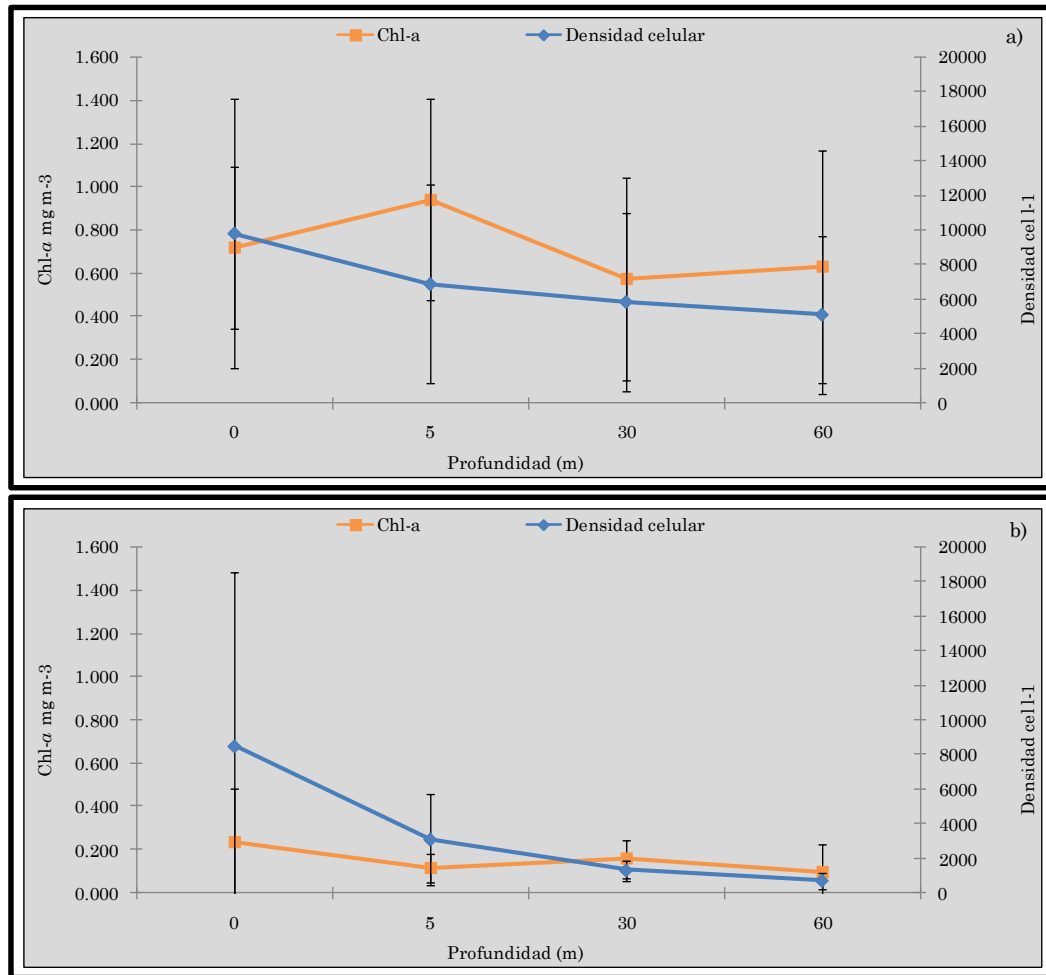


Figura 21. Concentraciones de clorofila *a* y densidad celular fitoplanctónica promedio propia de los periodos de surgencia (a) y no surgencia (b).

Por su parte, los valores $IAF_1 (> 2,0)$ permitieron inferir la presencia de comunidades fotosintéticamente activas durante los eventos de surgencia, lo cual; es consecuente con lo reportado por Corredor (1992), Margalef (1985) y

Estrada y Blasco (1985), quienes afirman, que la fertilización de aguas resultante de afloramientos estimula la respuesta de la comunidad autótrofa. De manera contraria, en ausencia de pulsos de surgencia se evidenciaron procesos de degradación de los pigmentos fotosintéticos por senescencia y/o presión de pastoreo. Los valores de IAF₂ se mostraron bajos durante el semestre (< 2,0), indicando, de esta manera, que las concentraciones de clorofila *a* y carotenoides fueron similares, no obstante, durante no surgencia se evidenció un aumento en la concentración de carotenoides. De acuerdo a Margalef (1991) las alzas en los carotenoides responden al agotamiento de nitrógeno en el medio; sin embargo, esta situación es impropia a este estudio, donde no se evidenció una disminución drástica de este nutriente. Moronta *et al.* (2006) por otra parte, encontraron que el incremento en la salinidad favorece el aumento en la concentración de carotenoides, lo cual se ajusta a los resultados actuales, aunque la salinidad y carotenoides no se correlacionaron significativamente.

Respecto a las concentraciones medias de pigmentos accesorios (*i.e.* clorofila *b*, *c* y carotenoides), se ajustan a los rangos reportados por Arévalo (2007), sin embargo, estos se presentan más altos en periodos de no surgencia a diferencia del presente estudio que encuentra niveles más altos para periodos de surgencia. Al respecto, Margalef (1991) expone que estos pigmentos se sintetizan a una tasa más lenta que la clorofila *a*, por lo cual cuando sus concentraciones son altas, pueden ser indicadores de la senescencia de la comunidad fitoplanctónica. Lo anterior no es contundente y se encuentra en contraposición, ya que las mayores concentraciones de pigmentos accesorios se presentan en la época de surgencia, y al mismo tiempo, el índice de actividad fotosintética es alto señalando comunidades autotróficas jóvenes.

El desarrollo estacional y espacial de las microalgas fitoplanctónicas está enmarcado por las interacciones entre los parámetros ambientales y las características fisiológicas de los organismos (Wetzel, 1981). En este contexto, y como se mencionó anteriormente la composición y biomasa de la comunidad fitoplanctónica no sufrieron alteraciones significativas que se puedan relacionar con el evento La NIÑA 2007/2008. Esto es congruente con lo reportado por García-Hoyos (*en prep.*), quien determinó que los parámetros océano-atmosféricos (*i.e.* velocidad del viento y temperatura superficial del mar), no fueron influenciados de manera importante por dicho evento lo que implicaría, a su vez, que las variables bióticas tampoco se vieran afectadas.

Finalmente, el cuarto muestreo enmarcó los hechos documentados en el apartado 7.1.3. Los parámetros pH ($8,51 \pm 0,24$) y saturación de oxígeno ($121,86 \pm 15,9$) registraron valores particularmente altos. En cuanto a la composición, se observó un alto predominio del grupo de las cianobacterias con respecto a los tres muestreos anteriores. Igualmente, en términos de densidad se observaron valores en general bajos y con predominio del género *Anabaena* (figura 9). Esta dominancia de las cianobacterias se ajusta a lo reportado por De La Hoz (2004), Gocke *et al.* (2003a, 2003b) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, quienes, igualmente, encontraron este grupo como el más sobresaliente. Sin embargo, estos resultados no son concordantes con los trabajos realizados en la zona de estudio, que como se mencionó reportan a las diatomeas como grupo dominante. Esto se podría explicar como una respuesta del ensamblaje microfitoplanctónico, al cambio drástico en los parámetros abióticos causado por el derrame de aceite de palma o bien, por la finalización de los eventos de surgencia.

9. Conclusiones

Las Ensenadas de Granate y Gaira y Bahía de Taganga presentaron alteraciones en los parámetros físicos y químicos en respuesta a las condiciones océano-atmosféricas del primer semestre del año 2008 desencadenando dos escenarios (*i.e.* pulsos de surgencia, ausencia de surgencia) que modularon la dinámica autotrófica de la comunidad planctónica.

El sistema de surgencia del Departamento del Magdalena, precisa un ambiente de características mesotróficas en respuesta a un alto aporte de nutrientes inorgánicos, favoreciendo mayores biomásas fitoplanctónicas en comparación con el siguiente periodo climático donde hay ausencia de este evento ecológico.

La composición microfitoplanctónica dominada por el grupo taxonómico de las diatomeas, en número de géneros y abundancias celulares, es típica de una comunidad de ambientes de surgencia costera. Dicha composición no presenta asociaciones características con aguas frías (*i.e.* en surgencia) ni relativamente cálidas (*i.e.* en no surgencia) que permitan caracterizar los periodos en estudio comprendidos entre febrero – junio de 2008.

La comunidad fitoplanctónica de la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate está dominada por células de los géneros *Chaetoceros* y *Skeletonema*, debido a que son géneros de crecimiento rápido, con alta adaptabilidad y en consecuencia con habilidad para explotar con mayor eficiencia cada uno de los escenarios.

Existe un patrón de segregación en la distribución de la comunidad fitoplanctónica en una escala temporal por densidad celular que evidencia mayores abundancias propias del periodo comprendido entre febrero – abril de 2008, indicando que, los pulsos de surgencia modularon condiciones físicas y químicas adecuadas para la proliferación de la comunidad fitoplanctónica.

Las concentraciones de clorofila α en las aguas costeras de la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate son bajas y en muchos casos menores a las reportadas para la región Caribe colombiana, e igualmente inferiores comparadas con otros sistemas de surgencia como lo son los de Chile y Perú. No obstante, las bajas concentraciones de feopigmento α , indican poblaciones fotosintéticamente activas durante la ocurrencia de eventos de surgencia, evidenciando que las condiciones físicas y químicas características de dichos eventos en comparación con las condiciones en ausencia de surgencia, se traducen en mejores condiciones fisiológicas del fitoplancton.

La turbulencia que genera fluctuaciones en la capa de mezcla (*i.e.* eventos Lasker) en la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate, conduce el afloramiento de nutrientes y permite que estos sean utilizados por el microfitoplancton, indicando (para estas locaciones), aguas con baja estratificación y no muy alta turbulencia, lo cual resulta en una condición favorable y que afecta positivamente la biomasa fitoplanctónica.

El evento atmosférico Niña 2007/2008 no influyó significativamente en la velocidad del viento ni temperatura superficial del mar, y en consecuencia en los eventos de surgencia, y paralelamente no presentó un efecto en la dinámica fitoplanctónica.

10. Recomendaciones

Se aconseja determinar las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos mediante el uso de técnicas fluorométricas que presentan un mayor nivel de sensibilidad y detección y permite una valoración más exacta de dichos pigmentos.

Para futuros estudios se aconseja la determinación del micronutriente Hierro (Fe_2^+) que permita establecer esté como una variable limitante o no para el desarrollo de la comunidad fitoplanctónica en la zona costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano.

Extender estudios como el actual a periodos anuales enmarcados por las cuatro épocas climáticas propias del Caribe colombiano, que permitan evaluar la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a las variaciones moduladas por cada época y los diferentes eventos océano - atmosféricos característicos de estas.

11. Bibliografía

ACOSTA, J. y CAÑON, M. 1998. Influencia de algunas características meteorológicas sobre la variación espacio temporal de las características oceanográficas de la Bahía de Gaira. Santa Marta. Caribe colombiano. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 73 p.

AGUILERA, M. y DE LA HOZ, J. 1998. Documentos de trabajo sobre economía regional: Radiografía socio-económica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones Económicas del Caribe colombiano. Banco de la República Cartagena de Indias, Colombia. (6): 53 p.

AHUMADA, R. 1989. Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de Bahías en Chile central: una hipótesis. *Biología Pesquera*. V. 18: 53–63.

ALFARO, E. 2000. Los Fenómenos del Niño y la Niña. Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas. Universidad de Costa Rica. Disponible *online*: http://www.redhum.org/archivos/pdf/ID_795_Redhum_GT-Informe-Informe_Fenomenos_El_Nino_y_la_Nina-_Universidad_CR-20060519.pdf

ÁLVAREZ, F. 1981. Introducción a la ecología del mar. Fascículos de Ecología II. Mejoras. Colombia. 90 p.

ANDRADE, C.A. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. *Boletín Científico CIOH*. V. 13: 33-43.

ANDRADE, C.A. and BARTON, E.D. 2005. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*. V. 25 (9): 1003-1022.

ARÉVALO, D. 2007. Acoplamiento Océano-Atmósfera en el desarrollo de la surgencia en el Departamento del Magdalena. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 91 p.

ARÉVALO-MARTÍNEZ, D y FRANCO-HERRERA, A. *en prensa*. Características oceanográficas de la surgencia frente a la Ensenada de Gaira, Departamento del Magdalena. Sometido a: Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras.

ARRIGO, K. 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature*. V. 437: 349-355.

BALECH, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones especiales Instituto Español de Oceanografía. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 310 p.

BALECH, E. 1977. Introducción al fitoplancton marino. Universitaria, Buenos Aires. 194 p.

BARLOW, R.G. 1984. Dynamics of the decline of a phytoplankton bloom after an upwelling event. *Marine Ecology Progress Series*, V. 16: 121-126.

BARNES, R. and HUGHES, R. 1988. An introduction to marine ecology. 2nd edition. Blackwell Science Ltd. Oxford. 351 p.

BARRAGÁN, R.G., MALDONADO, F., NIETO, S. y FRANCO-HERRERA, A. 2003. Relación de la biomasa fitoplanctónica con la dinámica fisicoquímica y meteorológica de la capa de mezcla en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano, durante el período agosto-noviembre de 2003. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 57 p.

BERMÚDEZ, A. 1999. Hábitos alimentarios y algunos aspectos reproductivos de la cojinoa negra *Caranx crysos* capturada con chinchorro en la Bahía de Taganga, Caribe colombiano. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 139 p.

BERNAL, A.R. 1994. Aspectos ecológicos de la comunidad de zooplancton nerítico en el Departamento del Magdalena. Tesis de Maestría. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 72 p.

BLANCO, J., VILORIA, E. and NARVÁEZ, B. 2005. ENSO and salinity changes in the Ciénaga Grande de Santa Marta coastal lagoon system, Colombian Caribbean. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. V. 66: 157-167.

BOTES, L. 2003. Phytoplankton identification catalogue. Saldanha Bay, South Africa, April 2001. *GloBallast Monograph*. Series No. 7. IMO. London. 77 p.

BRULAND, K., RUE, E. and SMITH, G. 2001. Iron and macronutrients in California coastal upwelling regimes: implications for diatom blooms. *Limnology and Oceanography*. V. 46 (7): 1661 – 1674.

BULA-MEYER, G. 1990. Oceanografía. En: FEN- COLOMBIA. Caribe colombiano. 100 – 119 p.

CABRERA, E. y DONOSO, M. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano, región III, Zona 1, PDCTM. *Boletín Científico CIOH*. V.13: 19 – 32

CAICEDO, I.E. 1975. Productividad primaria y fitoplancton en la Bahía de Neguange (Parque Nacional Natural Tayrona). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Punta de Betín*. (9): 7-14.

CALDERÓN, E. 1986. Las diatomeas en el plancton de los esteros de la rada de Tumaco (Pacífico colombiano), con observaciones ecológicas y biogeográficas. Gießen. 206 p.

CAMACHO, J. Colombia Patria de tres mares. *Expolisboa* 1998. 185 p.

CAMPOS, E. 2007. Fitoplancton de las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 62 p.

CAMPOS, E.M., OREJARENA, J., PALOMINO, M. y FRANCO-HERRERA, A. 2004. Dinámica de la biomasa fitoplanctónica en la capa de mezcla y su

relación con la oceanometeorología de la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Fase II: Febrero – Mayo de 2004. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 53 p.

CASTRO, G., DAZA, A., RODRÍGUEZ, M., ROMERO, P. y FRANCO-HERRERA, A. 2002. Aspectos fisicoquímicos y océano-atmosféricos de la surgencia del Caribe centro en la región del Rodadero, entre febrero - abril del 2002. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 71 p.

CASTRO, P. and HUBER, M. 2000. Marine Biology. 3rd edition. McGraw Hill. 318-326 p.

CHRETIEN-DINET, S., SOURNIA, A., RICARD, M. and BILLARD C. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from Class to Genus. *Phycologia*. V. 32 (3): 159-179.

CIFUENTES, J., TORRES, M. y FRÍAS, M. 1997. El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Fondo de Cultura Económica. México. 161 p.

CIOH (CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DE LA ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA). 2008. Programa SARPAP. Sistema Automatizado de Recepción y Pronóstico del CIOH. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Armada

Nacional. Colombia. Disponible *on-line*: <http://www.sarpar.cioh.org.co/SARPAR/goes.php>. Septiembre 15 - 30 de 2008.

CLARKE, K. and AINSWORTH, M. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, V. 92: 205-219.

CLARKE, K. and WARWICK, R. 2001. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd edition, Plymouth, PRIMER-E Ltd. 82 p.

CLARKE, K. and WARWICK, R. 1994. *Changes in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, U.K. 144 p.

CLINTON, J. 1986. *Botánica marina*. Primera edición. Universidad del sur Florida. México. 653 p.

COGNETTI G., SARÁ, M. y MAGAZZÚ, G. 2001. *Biología marina*. Ariel Ciencia, Barcelona. 619 p.

CORREDOR, J. 1992. *Dinámica espacio – temporal de la surgencia de la Guajira*. Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Santa Marta: Comisión Colombiana de Oceanografía. 206 – 221.

CORREDOR, J. 1979. Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean sea and adjacent regions. FAO Fisheries Report. Simposio sobre los adelantos en las investigaciones en el Caribe y regiones adyacentes. V. 200:101-114 p.

CUPP, E. 1943. Marine plankton diatoms of the West coast of North America. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography. University of California. La Jolla, California. 238 p.

DE LA HOZ, M. V. 2004. Dinámica del fitoplancton de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. V. 33: 159-179.

DE LA HOZ, M.V. 1995. 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. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 28 p.

DUARTE, G. 1996. Estructura del fitoplancton al noroeste de la Guajira, durante el crucero Caribe 1993. Tesis de Grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 98 p.

EL TIEMPO. 2008. El mar se tiñó de rojo en Taganga por derrame de 10 toneladas de aceite de palma. Disponible *online*: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4118622>. Septiembre 10 de 2008.

ESTRADA, M. and BLASCO, D. 1985. Phytoplankton assemblages in coastal upwelling areas. Simposio internacional sobre aéreas de afloramiento en el oeste africano. Barcelona: Instituto de investigaciones pesqueras. V. 1: 379-402.

FRAGA, F. 1972. Ecología Marina. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Dossat S.A. Caracas. 33 p.

FRANCO-HERRERA, A. 2006. Variación estacional del fitoplancton y mesozooplancton e impacto de herbivoría de *Eucalanus subtenuis*, Giesbrecht, 1888 (Copepoda: Eucalanidae) en el Caribe colombiano. Tesis de Doctorado en Oceanografía. Universidad de Concepción. Chile. 209 p.

FRANCO-HERRERA, A. 2005. El Rodadero, más allá que un centro turístico. Una aproximación a la oceanografía de la Ensenada de Gaira. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Servigraphics Ltda. Santa Marta D.T.C.H. 58 p.

_____. 2001. Estrategias de ingestión y flujo de carbono entre fitoplancton y *Eucalanus* spp (Copepoda: Calanoidea) en dos ambientes oceanográficos del Caribe central colombiano. Centro de Investigaciones Científicas. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 67 p.

FRANCO-HERRERA, A. y TORRES-SIERRA, E. 2006. La comunidad fitoplanctónica en el evento de surgencia frente al mar Caribe centro de Colombia. Revista Actualidad & Divulgación Científica. V.10 (1): 159-172.

FRANCO-HERRERA, A., AVENDAÑO, D., BERNAL, W. y URIBE, M. 1992. Contribución al conocimiento del plancton de Isla Tesoro, Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe Colombiano. Memorias 7° Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y 1er. Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar. CCO. Santa Marta. 754-762.

FRANCO-HERRERA, A., CASTRO, L. and TIGREROS, P. 2006. Plankton dynamics in the south-central Caribbean Sea: strong seasonal changes in a coastal tropical system. *Caribbean Journal of Science*. V. 42 (1): 24-38.

GARCÍA-HOYOS, L.M. *en prep.* Dinámica en el acoplamiento océano – atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica durante un evento de surgencia y no surgencia en la zona costera del Departamento del Magdalena. Tesis de Grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta.

GARZON, J., GIL, D., MARIN, B., MEJÍA, N., RODRIGUEZ, A. y ROJAS, J. 2000. Evaluación preliminar de algunos indicadores de contaminación de origen terrestre en áreas coralinas de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. INVEMAR. COLCIENCIAS – BID. PNUMA – UCR/CAR. 55 p.

GOCKE, K., MANCERA-PINEDA, J.E., VIDAL, L. A. and FONSECA, D. 2003a. Phytoplankton primary production and community respiration in several coastal lagoons of the outer Delta of the Rio Magdalena, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. Santa Marta, Colombia. V. 32: 125-144.

GOCKE, K., MEYERHOFER, M., MANCERA-PINEDA, J.E. and VIDAL, L. A. 2003b. Phytoplankton composition in coastal lagoons of different trophic status in northern Colombia determined by microscope and HPLC-Pigment analysis. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. Santa Marta, Colombia. V. 32: 263-278.

GONZÁLEZ, F., ZOPPI DE ROA, E. y MONTIEL, E. 2006. Productividad primaria del fitoplancton en la Bahía de Mochima, Venezuela. *Investigaciones Marinas*. V. 34 (2): 37-45.

GOOGLE EARTH, 2008. Beta 4.1. disponible *online*: <http://www.google.com>. Septiembre 22 de 2008.

GUALTEROS, W. HERNÁNDEZ, C., CASTILLO, A. y FRESNEDA, A. 1992. Clorofila y seston total en la laguna costera de Cocoliso, Isla Grande, Parque Nacional Natural Corales del Rosario. *Memorias 8º Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar*. Santa Marta. Colombia. Tomo 1: 512-521.

GUISANDE, C. 2006. *Tratamiento de datos*. Universidad de Vigo, España. 336 p.

HAFNER, G., HARRIS, G. and JARAI, M. 1980. Physical variability and phytoplankton communities. III: Vertical structure in phytoplankton populations. *Archiv für Hydrobiologie*. V. 89 (3): 363-381.

HERRERA, M. 1985. Estudios de 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. 153 p.

IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES). 2007. Base de datos meteorológicos. Estación Aeropuerto Simón Bolívar. Santa Marta. IDEAM.

INSIVUMEH (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA). 2006. La Niña. Unidad de Investigación y Servicios Meteorológicos. Informe 3. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.

INVEMAR (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS). 2005. Los Ecosistemas del Mar Caribe colombiano y de sus Costas. Encuentros ambientales, Universidad del Norte, Barranquilla. Disponible *online*: <http://www.uninorte.edu.co/extensiones/IDS/ponencias/PONENCIAS%20AGOSTO%2011/INVEMAR%20UNINORTE%20ECOSISTEMAS%202005.pdf>

_____. (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS). 2004. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia. 2003. Serie de publicaciones periódicas Número N° 8. Santa Marta: INVEMAR, 2004. 327 p.

_____. (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS). 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros

fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. Serie de documentos generales; N° 13. Santa Marta: INVEMAR. 177 p.

_____. (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS). 2000. Áreas Coralinas de Colombia. Santa Marta: INVEMAR. Publicaciones especiales. 175 p.

IRIARTE, J., QUIÑONES, R., GONZÁLEZ, R. y VALENZUELA, C. 2007. Relación entre actividad enzimática y biomasa de ensamblajes fitoplanctónicos en el sistema pelágico. *Investigaciones Marinas*. V. 35 (1): 71-84.

KINNE, O. 1982. *Marine Ecology. A comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters*. V. 5. Ocean management, part 1. Wiley interscience, New York. 517 p.

LALLI, C.M. and PARSONS, T.R. 1993. *Biological oceanography. An introduction*. Pergamon Press. Oxford. 301 p.

LEVINTON, J. 2001. *Marine Biology: function, biodiversity, ecology*. Second edition Oxford University Press. New York. 528 p.

LONGHURST, A.R. (ed.). 1981. *Analysis of marine ecosystems*. Academic Press. London, 741 p.

LOZADA, B., PRELA, A. y SENTELHAS, P. 2002. Estudio de la influencia de los fenómenos El Niño y La Niña en la precipitación de la región Centro-Occidental de Venezuela. *Agronomía Tropical*. V. 10 (2): 317-322.

MADIGAN, M., MARTINKO, J. y PARKER, J. 2004. *Biología de los microorganismos*. Décima edición. Pearson Educación S.A, Madrid. 1011 p.

MARGALEF, R. 1991. *Ecología*. Planeta. Barcelona. 951 p.

MARGALEF, R. 1985. Primary production in upwelling areas: energy, global ecology and resources. Simposio internacional sobre áreas de afloramiento en el oeste africano. Instituto de Investigaciones Pesqueras. Barcelona. V. 1: 225-232.

MARTÍNEZ, S. y ACOSTA, A. 2005. Cambio temporal en la estructura de la comunidad coralina del área de Santa Marta – Parque Nacional Natural Tayrona (Caribe colombiano). *Boletín de Investigaciones y Marinas Costeras*. V. 34: 161-191.

MARTÍNEZ-LOPEZ, A. y GARATE, I. 1997. Variación diurna de la materia orgánica particulada en una laguna costera del Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*. V. 45: 1421 – 1428.

McCONNAUGHEY, B. 1974. *Introducción a la biología marina*. Acribia. Zaragoza, España. 445 p.

MILLERO, F. 2005. *Chemical oceanography*. 3rd edition. Taylor and Grancis. 496 p.

MONTAÑA, J. 2006. Ensayos de cultivo en medio natural de la microalga *Hypnea musciformis* en las áreas de Taganga y Puerto Luz. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

MORONTA, R., MORA, R. y MORALES, E. 2006. Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. Revista de la Facultad de Agronomía Luz. V. 23: 27 – 41.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). 2008. National Weather Service. Climate Prediction Center. Disponible *online*: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.sht ml. Febrero - Septiembre de 2008.

NYBAKKEN, J. 2001. Marine Biology: an ecological approach. Fifth Edition. Addison Wesley Longman, Inc. San Francisco. 516 p.

NYBAKKEN, J. and BERTNESS, M. 2004. Marine ecology. An ecological approach. 6th edition. Benjamin Cummings. San Francisco. 592 p.

OCHOA, N. y TARAZONA, J. 2003. Variabilidad temporal de pequeña escala en el fitoplancton de Bahía Independencia, Pisco, Perú. Revista Peruana de Biología. V. 10 (1): 59–66.

PARSONS, T.R. MAITA, Y. and LALLI, C.M. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford. 172 p.

PITCHER, G. 1990. Phytoplankton see populations of the Cape Peninsula Upwelling Plume, with particular reference to resting spores of *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) and their role in seeding upwelling waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. V. 31: 283-301.

PIZARRO, G., MONTECINO, V., GUZMÁN, L., MUÑOZ, V., CHACÓN, V., PACHECO, H., FRANGÓPULOS, M., RETAMAL, L. Y ALARCÓN, C. 2005. Patrones locales recurrentes del fitoplancton en fiordos y canales Australes (43° - 56° S) en primavera y verano. *Ciencia y Tecnología del Mar*. V. 28 (2): 63-83.

RAMÍREZ, A. 1999. *Ecología aplicada. Diseño y análisis estadísticos*. Universidad Jorge Tadeo lozano. Centro editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 325 p.

RAMIREZ, A. y VIÑA, G. 1998. *Limnología colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Colombia: Panamericana. 293 p.

RAMÍREZ, G. 1990. Distribución de los nutrientes inorgánicos en las aguas costeras de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. *Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar*. Comisión Colombiana de Oceanografía. Cali. 244-254.

RAMÍREZ, G. 1983. Características fisicoquímicas de la Bahía de Santa Marta. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*. V. 3: 111-121.

RAMÍREZ-GONZÁLEZ, A. 2006. Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 273 p.

ROUND, F., CRAWFORD, R. and MANN, D. 1990. The Diatoms: Biology and morphology of the genera. Gran Bretaña: Cambridge University Press. 747 p.

RUTTNER, F. 1953. Fundamentals of limnology. Canada: University of Toronto Press. Canada. 295 p.

SANTANDER, E., HERRERA, L. y MERINO, C. 2003. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): II. Composición específica y abundancia celular. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* V. 38 (1): 13–25.

SANTANDER, E., HERRERA, L. y PIZARRO, J. 2001. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): I. Biomasa Pigmentaria. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* V. 36 (2): 141–153.

STRASBURGUER, E. NOLL, F. SCHENCK, H. y SCHIMPER, A.F. 1997. *Tratado de Botánica*. 8^{va} edición. Omega S.A. Barcelona. 978 p.

STRICKLAND, D.H., and PARSONS, T. 1972. *A practical handbook of sea water analysis*. Ottawa: Fish. Res. Board of Canadá. 310 p.

TAIT, R. 1987. *Elementos de Ecología Marina*. 2^{da} edición. Butterworth & Co. Ltda. Zaragoza, España. 320 p.

TÉLLEZ, C. 1985. Estudios en el fitoplancton coleccionado durante el crucero Océano VI – área I en el Caribe colombiano. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá. Colombia. 113 p.

TIGREROS, P. 2001. Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 173 p.

TIGREROS, P., VANEGAS, T., VARGAS, D., BETANCOURT, S. y WALTEROS, J. 1999. Evaluación de la composición especial de las larvas de las clases Stellerioidea y Echinoidea (Echinodermata), considerando algunas condiciones fisicoquímicas de la columna de agua en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 71 p.

TORRES, A., MARTINEZ, F., DUARTE, O. y OROZCO, R. 1993. Caracterización del fitoplancton para el periodo comprendido entre los meses de agosto–septiembre de 1993 en Bahía de Gayraca, Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Seminario de Investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 16 p.

TORRES-SIERRA, E. 2007. La comunidad fitoplanctónica presente en un evento de surgencia, frente a la costa del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 110 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). Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 130 p.

VÁSQUEZ, D. 2006. Dinámica estructural de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía de Cispatá, asociada a la industria camaronera local. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 99 p.

VIDAL, L.A. 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Tesis de Maestría. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 207 p.

VIDAL, L.A. y CARBONELL, M.C. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la Bahía de Cartagena. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 150 p.

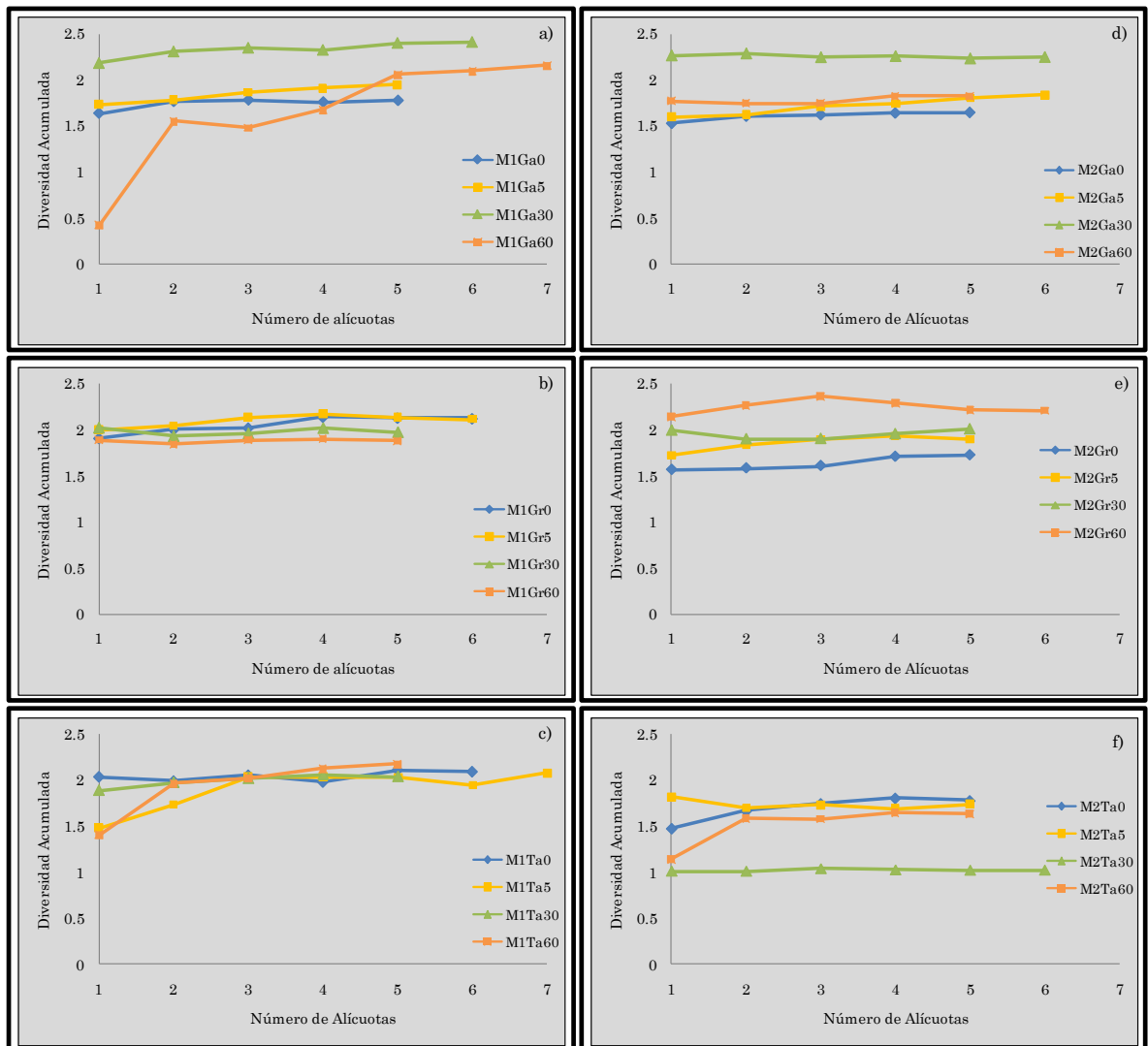
WAITE, A. 1996. Phytoplankton Biodiversity: boxes, spheres, spirals, and sunbursts. *Oceanus reports on research from de Woods Hole Oceanographic Institution*. V. 39: 2-5.

WETZEL, R. 1981. *Limnología*. Omega, Barcelona, 679 p.

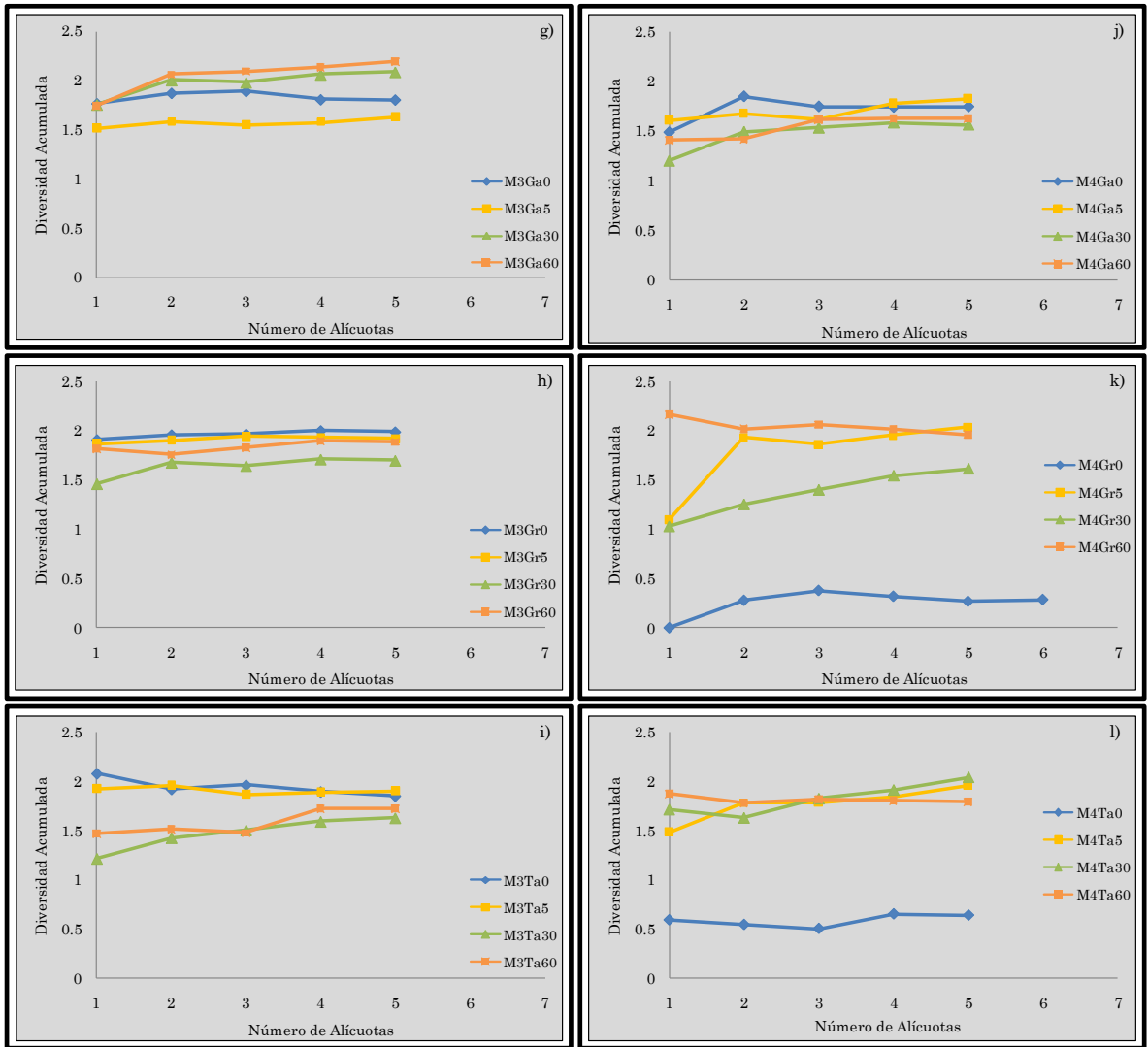
ZAR, J. 1996. *Biostatistical Analysis*. 3th edition. Prentice Hall. Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 718 p.

12. Anexos

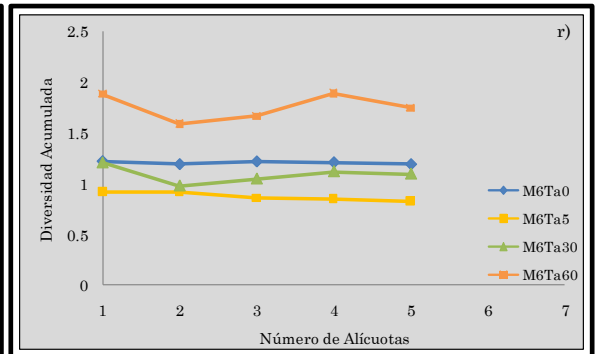
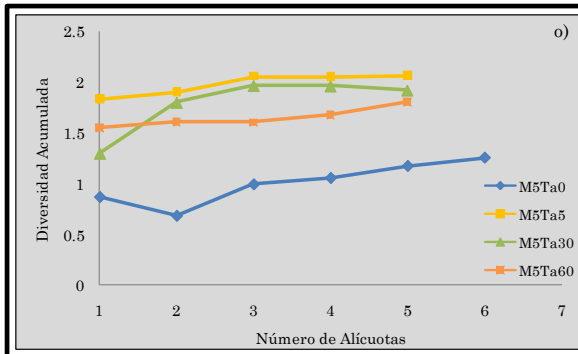
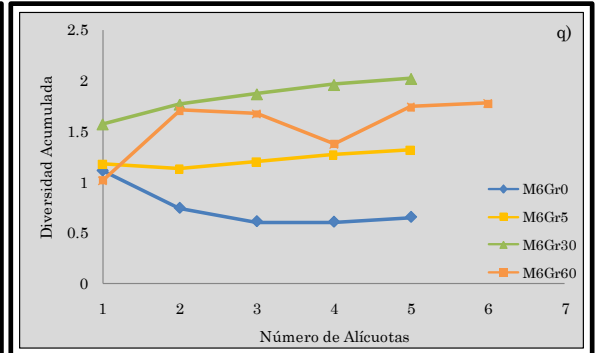
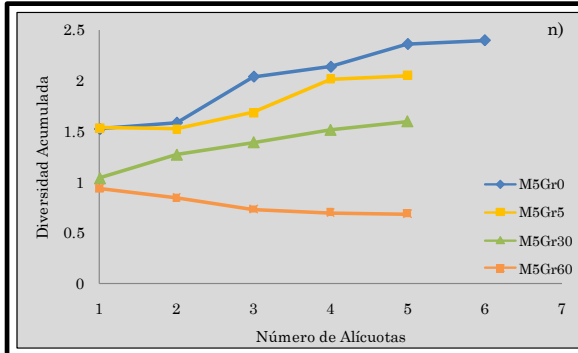
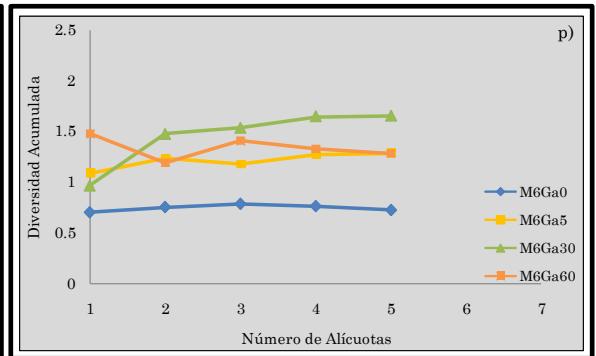
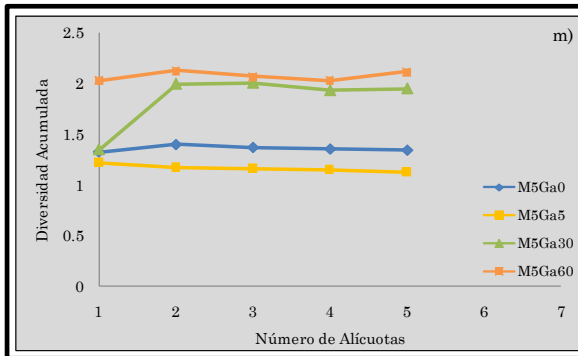
Anexo A. Curvas de diversidad acumulada correspondientes a las estaciones de Granate, Taganga y Gaira en los cuatro estratos considerados para la totalidad de los muestreos. Se presenta en orden consecutivo las estaciones. Gaira (Ga) Granate (Gr), Taganga (Ta) y (a-c) Muestreo uno. (d-f) Muestreo dos. (g-i) Muestreo tres. (j-l) Muestreo cuatro. (m-o) Muestreo cinco. (p-r) Muestreo seis.



Continuación anexo A.



Continuación anexo A



Anexo B. Concentraciones de clorofila α integrada (mg m^{-2}) para la columna de agua (0 - 60 m), valores de turbulencia para las Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr) y la Bahía de Taganga (Ta) y correlación Spearman entre las variables turbulencia y concentración de clorofila α . M: Muestreo. U: velocidad de corriente. C: constante de resistencia.

Estación	C	Profundidad (h; cm)	Velocidad de Corriente (cm s^{-1})	U^3	Turbulencia	Chl-a integrada
M1 Ga	0,003	10000	4,859	114,694	4,463	81,177
M1 Ta		12000	4,755	107,539	4,570	39,203
M1 Gr		6800	6,685	298,767	3,880	43,553
M2 Gr		6800	6,440	267,059	3,929	50,646
M3 Ga		10000	11,306	1445,183	3,363	3,509
M3 Ta		12000	6,170	234,836	4,231	23,633
M3 Gr		6800	8,170	545,287	3,619	26,301
M4 Ga		10000	3,200	32,765	5,007	36,027
M4 Ta		12000	2,157	10,039	5,600	36,649
M4 Gr		6800	2,777	21,414	5,025	33,180
M6 Ga		10000	14,128	2819,760	3,073	13,548
M6 Ta		12000	9,776	934,173	3,632	8,498
M6 Gr		6800	12,880	2136,552	3,026	3,945
Correlación Spearman		r	0,6099	Max	5,600	81,177
		p	0,0346	Min	3,026	3,509

Anexo C. Matriz de variables físicas y químicas durante la época de surgencia y no surgencia, dentro de los 0 y 60 m de profundidad, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. MI: muestreo 1. MII: muestro 2. MIII: muestreo 3. MIV: muestreo 4. MV: muestreo 5 (tomado de García-Hoyos, *en prep.*).

Parámetro	(m)	Granate						Taganga						Gaira					
		Surgencia				No surgencia		Surgencia				No surgencia		Surgencia				No surgencia	
		MI	MII	MIII	MIV	MV	MVI	MI	MII	MIII	MIV	MV	MVI	MI	MII	MIII	MIV	MV	MVI
Temperatura (°C)	0	24,70	24,90	24,90	26,10	27,30	26	25,00	25,10	25,70	26,40	27,50	28,2	26,40	26,80	25,80	27,30	30,00	27,9
	5	24,80	24,90	25,30	26,00	27,20	25,9	24,70	25,00	25,20	26,30	27,50	29	25,40	25,30	25,30	26,80	27,60	26,6
	30	24,30	24,90	24,90	25,80	26,80	25,4	24,40	24,90	24,80	26,40	26,90	29,9	25,30	25,20	25,20	27,00	27,00	26
	60	23,90	24,70	24,90	24,50	25,50	24,9	23,40	24,70	24,60	26,00	25,50	25,5	24,60	25,40	24,90	26,50	25,90	25,6
Salinidad (UPS)	0	35,60	35,40	35,50	35,40	36,10	36,3	35,60	36,20	35,20	35,50	36,00	36	35,40	35,80	35,30	35,00	34,20	35,9
	5	35,40	35,30	35,40	35,40	35,90	36,4	35,60	36,10	35,40	35,80	36,00	36,4	35,30	36,00	35,50	35,60	36,00	36,3
	30	35,50	35,30	35,50	35,30	35,80	36,5	35,60	36,30	35,50	35,10	36,20	36,4	35,50	36,10	35,40	35,90	36,10	36,5
	60	35,30	35,40	35,50	35,50	35,90	36,3	35,40	35,50	35,50	35,70	36,30	36,3	35,30	36,50	35,40	35,50	36,00	36,6
pH	0	8,19	8,19	8,20	8,27	8,21	8,33	8,19	8,21	8,20	8,91	8,21	8,26	8,23	8,21	8,19	8,74	8,24	8,21
	5	8,20	8,19	8,20	8,30	8,21	8,24	8,23	8,20	8,21	8,50	8,21	8,28	8,24	8,22	8,20	8,80	8,20	8,31
	30	8,19	8,18	8,20	8,29	8,18	8,31	8,20	8,20	8,19	8,80	8,20	8,21	8,20	8,20	8,18	8,22	8,19	8,3
	60	8,19	8,16	8,17	8,29	8,17	8,2	8,14	8,21	8,18	8,50	8,18	8,22	8,18	8,18	8,18	8,45	8,50	8,27
Densidad (Kg/m ³)	0	23,89	23,68	23,75	23,31	23,45	24,02	23,80	24,22	23,28	23,21	23,31	24,02	23,21	23,39	23,32	22,62	21,13	23,11
	5	23,71	23,60	23,55	23,34	23,33	24,12	23,89	24,17	23,58	23,54	23,31	24,12	23,45	24,01	23,63	23,24	23,28	23,83
	30	23,93	23,60	23,75	23,32	23,39	24,35	23,98	24,36	23,78	22,99	23,66	24,35	23,63	24,11	23,58	23,40	23,55	24,17
	60	23,90	23,74	23,75	23,80	23,87	24,36	24,12	23,81	23,84	23,56	24,17	24,36	23,69	24,35	23,68	23,26	23,82	24,37
O.D (mg/L)	0	6,25	5,06	5,41	9,14	5,78	5,6	5,08	5,53	5,50	8,91	6,70	5,6	4,93	4,77	5,32	8,74	6,90	5,7
	5	4,95	4,80	5,40	5,05	5,62	5	5,07	5,50	4,80	8,50	6,90	5,6	4,50	4,45	4,30	8,80	7,10	6,7
	30	4,45	4,94	5,43	8,73	7,15	5,3	4,27	6,68	4,83	8,80	5,31	6,8	4,46	4,24	4,50	8,22	6,21	5,8
	60	4,40	4,86	4,61	8,34	6,02	4,7	3,82	4,68	4,89	8,50	5,20	4,88	4,59	4,80	4,65	8,45	5,75	4,7
% Sat. Oxígeno	0	88,39	71,76	76,77	132,85	86,58	81,72	72,28	79,16	79,18	130,41	100,73	85,48	72,11	70,55	76,80	129,93	108,20	86,38
	5	70,06	68,03	77,21	73,25	83,89	72,86	71,70	78,52	68,49	124,40	103,73	87,25	64,43	63,88	61,52	129,98	106,97	99,01
	30	62,39	70,01	77,06	126,02	105,75	76,49	60,02	95,29	68,40	128,45	78,92	108,11	63,81	60,78	64,21	122,18	92,43	84,75
	60	61,12	68,64	65,42	117,40	86,71	67,05	52,57	66,14	68,97	123,54	75,10	70,48	64,66	69,27	65,94	123,94	83,57	68,16

Continuación anexo C.

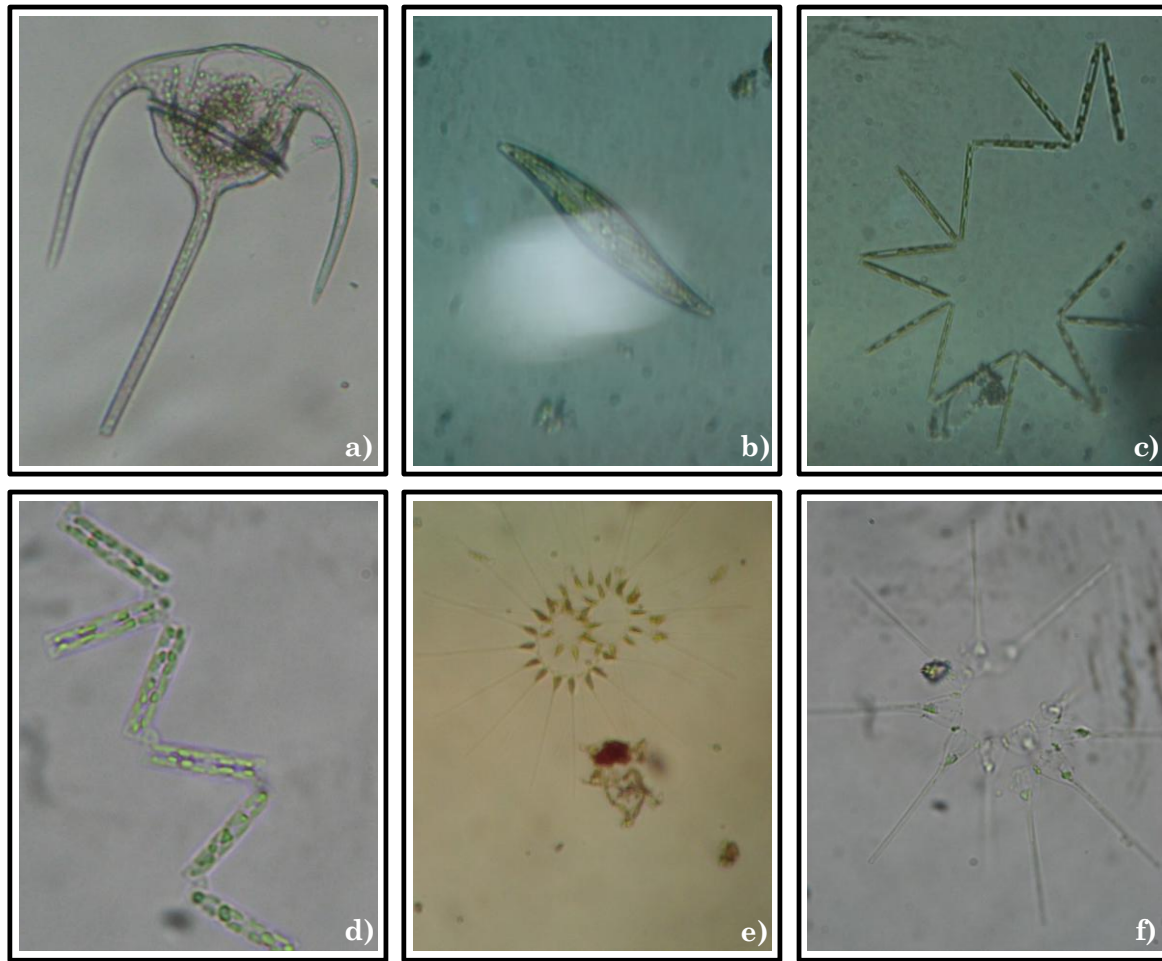
Parámetro	(m)	Granate						Taganga						Gaira					
		Surgencia			No surgencia			Surgencia			No surgencia			Surgencia			No surgencia		
		M I	M II	M III	M IV	M V	M VI	M I	M II	M III	M IV	M V	M VI	M I	M II	M III	M IV	M V	M VI
NO ₃ ⁻ (μ at NO ₃ ⁻ /L)	0	ND	ND	ND	11,60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5	10,38	7,31	30,00	6,54	11,15	11,92	9,62	5,77	20,00	1,92	8,46	10,77	6,54	8,08	12,69	5,77	11,92	13,462
	30	7,31	7,31	31,54	5,38	2,69	21,92	13,85	5,38	10,00	1,92	4,62	16,92	4,23	11,15	22,69	4,62	3,46	10,385
	60	10,77	6,15	10,38	7,69	5,77	14,62	10,77	5,00	13,85	1,92	8,08	26,15	6,92	5,77	20,77	5,00	9,23	10,769
NO ₂ ⁻ (μ at NO ₂ ⁻ /L)	0	ND	ND	ND	3,29	3,24	3,31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,32	3,34	3,34
	5	3,34	3,31	3,43	3,33	3,31	3,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,25	3,40	3,30	3,30	3,27	3,33
	30	3,34	3,27	3,30	3,32	3,35	3,32	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,26	3,24	3,32	3,30	3,35	3,32
	60	3,42	3,26	3,24	3,32	3,37	3,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,25	3,62	3,30	3,33	3,31	3,37
NH ₄ ⁺ (μ at NH ₄ ⁺ /L)	0	ND	ND	ND	2,13	1,29	0,042	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04	1,29	0,042
	5	1,71	2,13	0,88	0,04	1,29	0,042	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,71	2,54	0,46	0,04	5,46	0,042
	30	2,33	1,71	1,29	0,04	0,88	0,042	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,88	1,71	0,88	5,88	3,79	0,042
	60	2,96	1,29	2,13	0,04	0,88	0,042	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,71	1,71	1,29	0,04	2,54	0,042
HPO ₄ ⁻ (μ at HPO ₄ ⁻ /L)	0	2,93	2,83	2,85	2,93	2,76	2,72	2,97	3,30	2,75	2,81	2,59	2,67	2,91	3,30	2,77	2,74	3,35	2,75
	5	3,17	2,91	2,80	2,84	2,74	3,09	3,22	2,67	2,81	2,76	2,60	3,10	3,06	2,67	2,91	2,72	2,93	2,69
	30	3,48	2,75	2,74	3,15	2,72	3,79	3,63	2,68	2,80	3,01	2,97	3,31	4,04	2,68	2,72	3,06	2,72	2,76
	60	4,68	3,21	2,78	3,22	2,79	2,90	3,10	3,10	2,96	2,70	3,62	3,30	3,10	3,10	3,04	2,80	2,66	2,71

Parámetro	(m)	Surgencia											
		Granate			Taganga			Gaira					
		M I	M II	M III	M I	M II	M III	M I	M II	M III			
Estabilidad (m-1)	0 - 60	-1,49841E-05	2,29119E-06	-1,82143E-05	3,85649E-05	-6,7738E-06	8,16348E-05	6,76034E-05	1,45E-04	7,32804E-05			
		Surgencia	No surgencia			Surgencia	No surgencia			Surgencia	No surgencia		
		M IV	M V	M VI	M IV	M V	M VI	M IV	M V	M VI			
Estabilidad (m-1)	0 - 60	1,39501E-05	7,23275E-06	4,24368E-05	7,44237E-05	4,26936E-05	5,15184E-05	1,33E-04	4,51E-04	1,73E-04			

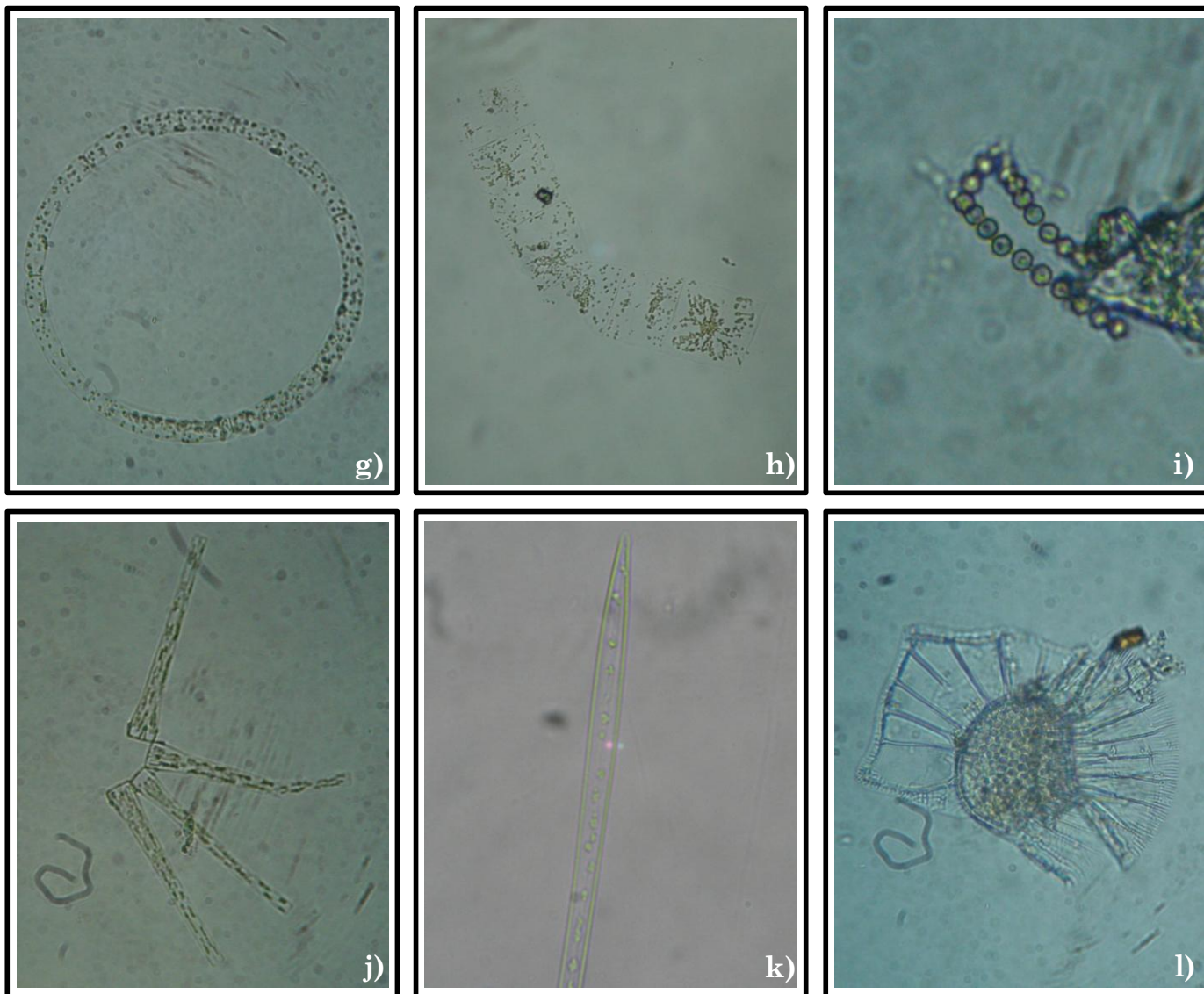
Anexo D. Matriz de composición fitoplanctónica de arrastres verticales de 60 – 0 m de profundidad durante la época de surgencia y no surgencia, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga (Ta) y Ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr), Caribe colombiano. 1: indica presencia. 0: Indica ausencia. M: muestreo.

Generos	M1-Gr	M1-Ta	M1-Ga	M2-Gr	M2-Ta	M2-Ga	M3-Gr	M3-Ta	M3-Ga	M4-Gr	M4-Ta	M4-Ga	M5r-Gr	M5-Ta	M5-Ga	M6-Gr	M6-Ta
<i>Coccinodiscus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Guinardia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Thalassionema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rhizosolenia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pseudonitzschia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Helicotheca</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Skeletonema</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
<i>Asterionellopsis</i>	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Chaetoceros</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Oscillatoria</i>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
<i>Thalassiotrix</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Odontella</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Protoperidinium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Bacteriastrium</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Ornithocercus</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Navicula</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
<i>Nitzschia</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Leptocylindrus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
<i>Stephanopyxis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pleurosigma</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
<i>Pediastrum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melosira</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pyrocystis</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Hemiaulus</i>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Diploneis</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dinophysis</i>	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Gonyaulax</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Lynobia</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eucampia</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>Noctiluca</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
<i>Prorocentrum</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
<i>Biddulphia</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Striatella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Dictyocha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Synedra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Dytilum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Licmophora</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Ceratocorys</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Podolampas</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Cosmarium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Planktoniella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Mofotipo 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

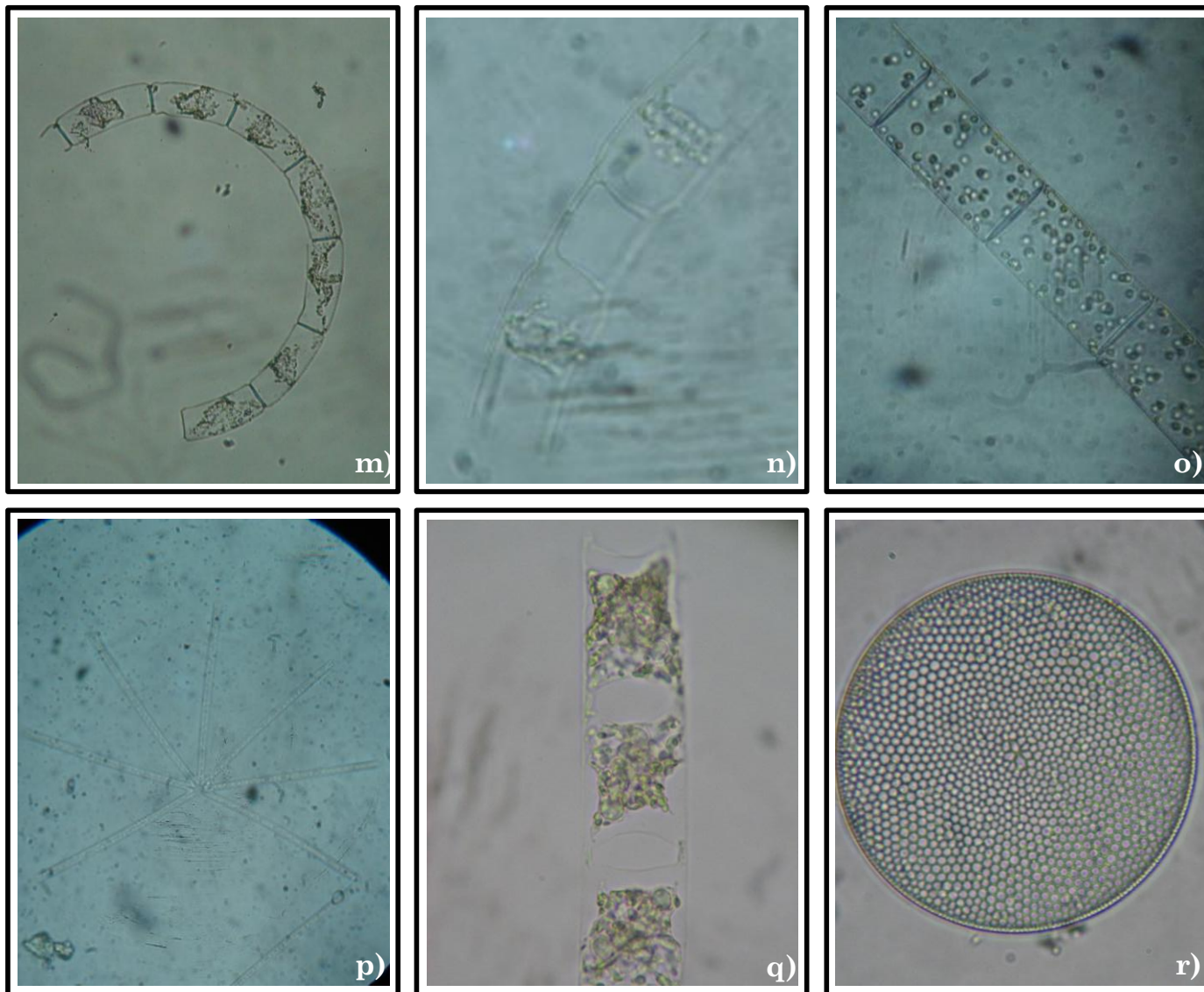
Anexo E. Organismos identificados en 40X, durante la época de surgencia y no surgencia, para los muestreos realizados entre febrero y junio de 2008 en la Bahía de Taganga, y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. (a) *Ceratium*. (b) *Pleurosigma*. (c) *Thalassionema* sp1. (d) *Thalassionema* sp2. (e) *Asterionellopsis* 10X. (f) *Asterionellopsis* 40X. (g) *Guinardia* sp1. (h) *Helicotheca*. (i) Orden Nostocales. (j) *Bleakeleya*. (k) *Thalassiothrix*. (l) *Ornithocercus*. (m) *Guinardia* sp2. (n) *Hemiaulus* sp1. (o) *Guinardia* sp3. (p) *Thalassionema* sp1. (q) *Hemiaulus* sp2. (r) *Coscinodiscus*. (s) *Chaetoceros* sp1. (t) *Oscillatoria*. (u) *Guinardia* sp4. (v) *Skeletonema*. (w) *Pseudo-nitzschia* (x) *Chaetoceros* sp2. (y) *Cylindrotheca* (z) *Pyrocystis* (aa) *Rhizosolenia* sp1. (ab) *Chaetoceros* sp3. (ac) *Proto-peridinium*. (ad) *Bacteriastrum*.



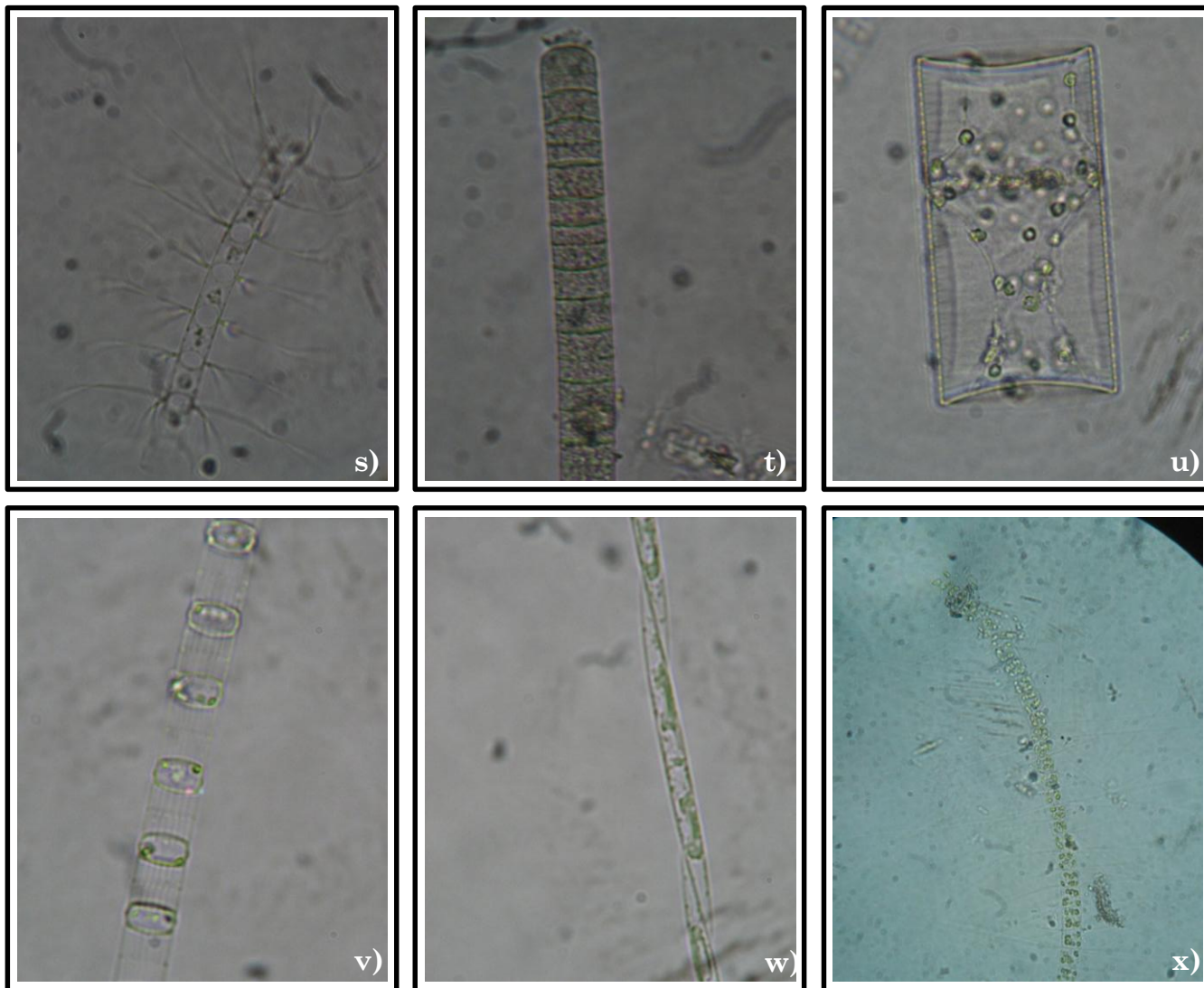
Continuación Anexo E.



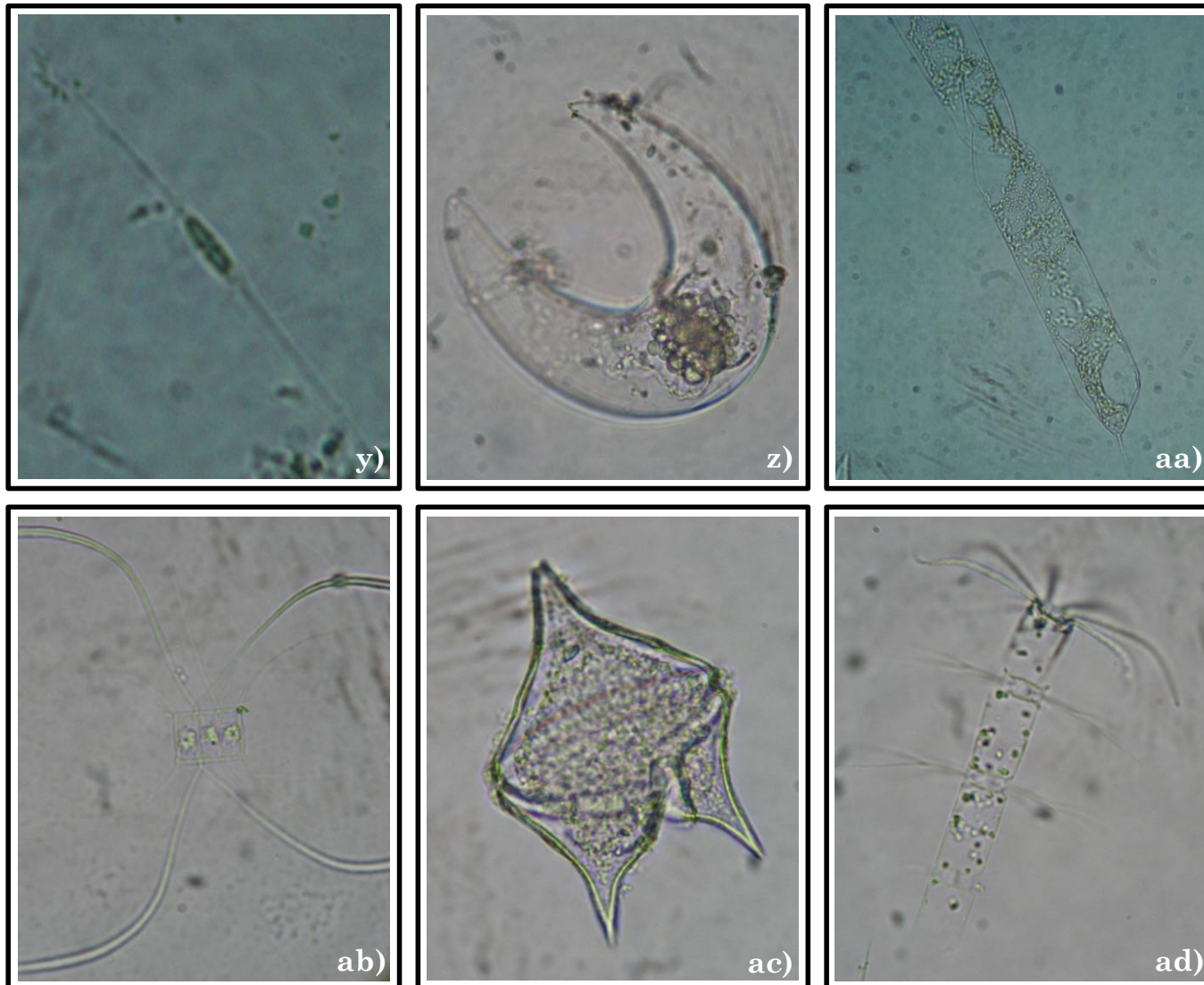
Continuación Anexo E.



Continuación Anexo E.



Continuación Anexo E.



Anexo F. Matriz de densidad celular (cel l⁻¹) durante la época de surgencia y no surgencia, dentro de los 0 y 60 m de profundidad, conforme seis muestreos, en la Bahía de Taganga y Ensenadas de Gaira y Granate, Caribe colombiano. Anexo Digital.