

PRODUCTIVIDAD PLANCTÓNICA Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS LOCALES EN ISLA GORGONA DURANTE JULIO 2006

Alan Giraldo^{1,2}, Bellineth Valencia² y Diego G. Ramírez¹

1 Universidad del Valle, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ecología de Arrecifes Coralinos, A.A. 25360 Cali, Colombia. oceanografia@univalle.edu.co

2 Universidad de Valle, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas, A.A. 25360 Cali, Colombia. oceanografia@univalle.edu.co

RESUMEN

La isla Gorgona es la mayor área insular en el Pacífico colombiano. Esta isla, localizada a 30 Km del continente, alberga una alta diversidad biológica y ecosistémica entre la que se incluye el arrecife coralino más desarrollado del Pacífico Oriental Tropical. A pesar de la alta relevancia de esta localidad en la política nacional ambiental, un escaso esfuerzo de investigación ha sido focalizado hacia la descripción del ambiente pelágico, el cual sustenta las particularidades ecosistémicas de isla Gorgona. En este trabajo se describen las condiciones de temperatura, transparencia, turbidez, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes nitrogenados (nitratos) y productividad planctónica (clorofila-*a* y biomasa zooplanctónica) local en el ambiente pelágico del Parque Nacional Natural Gorgona durante julio 2006 a partir de un muestreo sistemático en 24 estaciones oceanográficas. Se seleccionó el mes de julio debido a que corresponde al período oceanográfico “cálido” de la cuenca Pacífica colombiana. La temperatura y salinidad superficial (promedio \pm error estándar) fueron 27.81 ± 0.08 °C y 31.75 ± 0.04 respectivamente. Se identificó una fuerte estratificación vertical, con la presencia de una termoclina permanente entre 45-55 m de profundidad. La transparencia en la columna de agua fue de 10.37 ± 0.33 m, siendo la turbidez superficial altamente variable (14.13 ± 2.60 NTU). El oxígeno disuelto superficial fue de 4.29 ± 0.03 mL L⁻¹ y la clorofila-*a* superficial fue de 0.15 ± 0.01 μ g Clo-*a* L⁻¹, presentándose los mayores registros de clorofila-*a* a 30 m de profundidad (0.27 ± 0.03 μ g Clo-*a* L⁻¹). La biomasa zooplanctónica (peso húmedo) fue altamente variable en la zona de estudio, con registros entre 16.59-311.53 mg 100 m⁻³. El fitoplancton estuvo dominado por diatomeas (91.17 %) del género *Rhizosolenia* (22.4 %) y *Odontella* (21.6%), y se identificaron 31 grandes grupos taxonómicos de zooplancton con dominancia de copépodos (56.8 %) y apendicularias (16.9 %).

PALABRAS CLAVE: Pacífico Oriental Tropical, Isla Gorgona, Oceanografía, Fitoplancton, Zooplancton.

ABSTRACT

Planktonic productivity and local oceanographic variability in Gorgona Island, eastern tropical Pacific of Colombia. Gorgona Island is the vastest insular area in the Colombian Pacific Ocean. This island, located 30 Km offshore, has a high biological and ecosystem diversity; Gorgona's coral

reef is considered the best developed in the eastern tropical Pacific, being declared Natural National Park (PNN) in 1980. Despite its relevance in Colombian conservation policy, a reduced research effort has been focused to describe and to evaluate the local variability in the biological, physical and chemical condition of the pelagic environment. In order to define the oceanographic conditions of the PNN Gorgona during the warm season, the local variability of plankton productivity (Chlorophyll-*a* and zooplankton biomass) and physical (temperature, transparency, turbidity) and chemical (salinity, dissolved oxygen, nitrate) conditions of pelagic system were evaluated at 24 sampling stations during July 2006. The mean surface temperature and salinity were 27.81 ± 0.08 °C and 31.75 ± 0.01 respectively. A strong vertical stratification was detected, with a permanent thermocline between 45-55 m depth. Water column transparency was 10.37 ± 0.33 m, and turbidity was highly variable (14.13 ± 2.60 NTU). Surface dissolved oxygen was 4.29 ± 0.03 mL L⁻¹. Surface Chlorophyll-*a* was 0.15 ± 0.015 µg Clo-*a* L⁻¹, however the highest records were at 30 m depth (0.27 ± 0.03 µg Clo-*a* L⁻¹). Zooplankton biomass was highly variable in the study zone (16.59-311.53 mg 100 m⁻³). Phytoplankton was dominated by diatoms (91.17 %) of the genera *Rhizosolenia* (22.4 %) and *Odontella* (21.6 %). Furthermore, 31 taxonomic groups of zooplankton were identified, with dominance of copepods (56.8 %) and appendicularians (16.9 %).

KEY WORDS: Eastern tropical Pacific, Gorgona Island, Oceanography, Phytoplankton, Zooplankton.

INTRODUCCIÓN

En 1984 la región insular de isla Gorgona (2° 58' 44'' N - 78° 11' 08'' W) y el islote aledaño de Gorgonilla (2° 56' 34'' N - 78° 12' 51'' W), junto con 650 Km² circundantes, fueron declarados por el Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo Territorial de Colombia (MAVDT) como Parque Nacional Natural (PNN) en consideración a las características florísticas y faunísticas únicas que alberga esta localidad (UAESPNN, 1998), entre las que destaca la formación coralina más desarrollada y diversa del Pacífico americano (Zapata *et al.*, 2001). Estas dos islas, localizadas a una distancia aproximada de la costa de 30 Km, conforman la zona insular más extensa en el Océano Pacífico colombiano (Díaz *et al.*, 2001). Su formación geológica data del Mesozoico superior o Terciario inferior (Echeverría, 1982; Gómez, 1986), y estuvo asociado a un derrame de lavas (Llinás *et al.*, 1990) que se enfriaron rápidamente al entrar en contacto directo con el agua de mar, generando depósitos de komatiitas (Arndt *et al.*, 1997).

El carácter de área natural protegida asignado a esta localidad plantea retos particulares para su administración. En este contexto, el primer paso para poder entender y establecer los riesgos de manejo presentes y futuros es conocer la dinámica local de las condiciones oceanográficas, ya que su variabilidad en diferentes escalas temporales y espaciales puede llegar a impactar en mayor o menor grado la estabilidad del sistema (Pattiaratchi, 1995; Buddemaier, 2001). Sin embargo, a pesar de la relevancia del PNN Gorgona en los esfuerzos de conservación marina en Colombia, las iniciativas de investigación dirigidas a evaluar y describir la variación

espacio-temporal de las condiciones biológicas, físicas y químicas del ambiente pelágico que la circundan y conforman, han sido escasas.

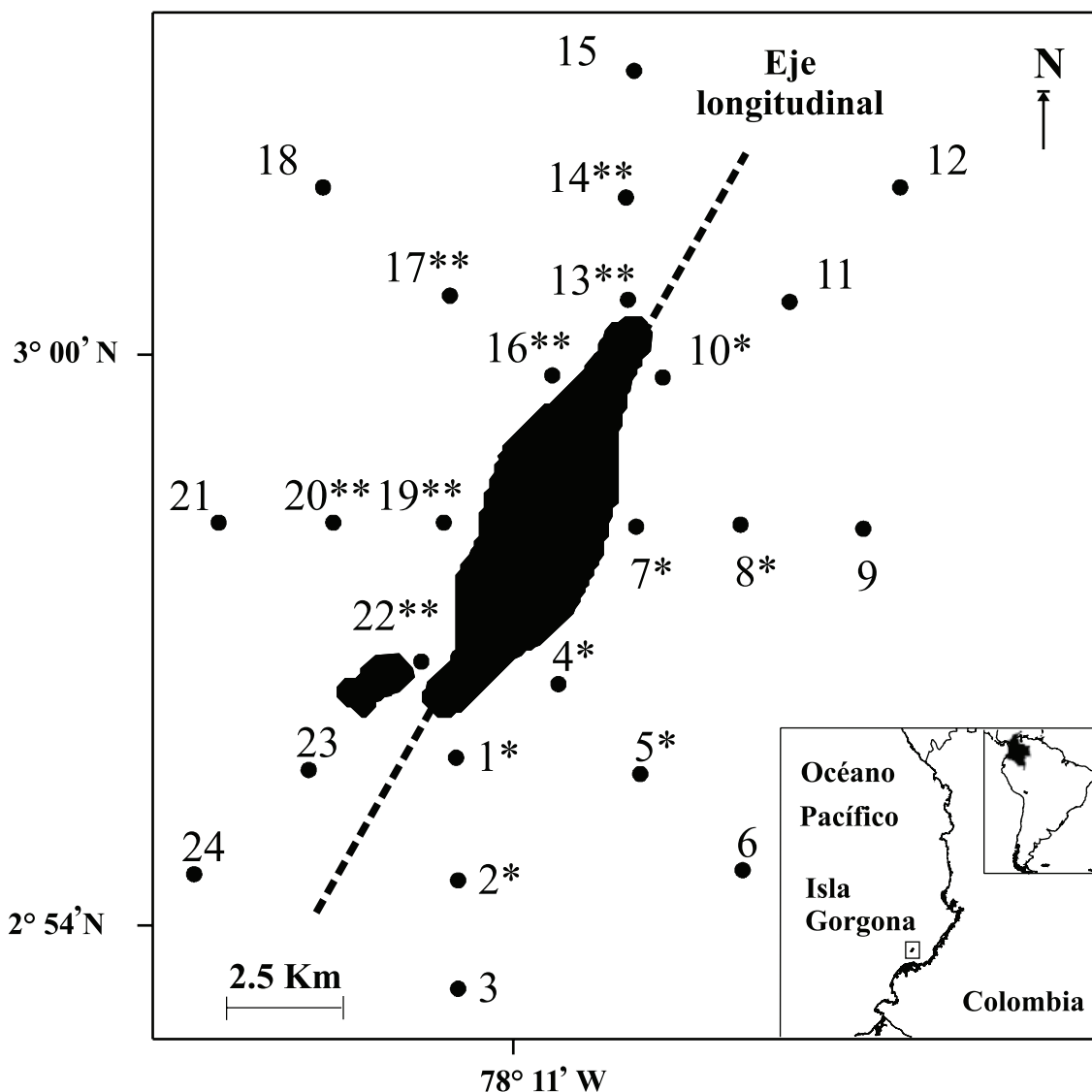
En términos generales, las condiciones climáticas en isla Gorgona están estrechamente relacionadas con forzantes atmosféricos característicos de la costa oriental del Pacífico tropical, como el chorro de viento sobre el istmo de Panamá durante el invierno boreal, el chorro de viento del Chocó durante el verano boreal y el consecuente desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Pabón *et al.*, 1998; Rodríguez-Rubio y Stuardo, 2002; Rodríguez-Rubio *et al.*, 2003; Devis-Morales *et al.*, 2008). Estas influencias determinan que en Isla Gorgona se presenten dos períodos climáticos contrastantes, un período lluvioso entre mayo-octubre con precipitaciones superiores a 650 mm mes⁻¹, seguido de uno de menor precipitación entre diciembre-febrero con precipitaciones por debajo de 340 mm mes⁻¹ (Rangel y Rudas, 1990; Díaz *et al.*, 2001).

Este patrón climático regional tiene un marcado efecto sobre las condiciones oceánicas en Isla Gorgona (Giraldo *et al.*, 2008), e incluso modula el patrón de variabilidad de la circulación superficial local con dominio de la dirección noroeste en febrero y suroeste en junio (Rodríguez-Rubio *et al.*, 2007; Giraldo *et al.*, 2008). Además, se pueden diferenciar dos periodos oceanográficos contrastantes: uno cálido de baja salinidad superficial entre mayo y diciembre, cuando la profundidad promedio de la termoclina es de 47 m, y un período frío y de alta salinidad entre enero y abril, cuando la profundidad promedio de la termoclina es de 7.5 m. En este artículo se presenta el análisis de la variación espacial local de las condiciones físicas (temperatura, turbidez, transparencia), químicas (salinidad, oxígeno disuelto, nitratos) y biológicas (clorofila-*a* y biomasa zooplanctónica) del ambiente pelágico de Isla Gorgona durante julio de 2006 con el propósito de identificar forzantes ambientales locales y regionales, establecer condiciones oceanográficas de referencia, y proporcionar información pertinente para fortalecer el plan de manejo del PNN Gorgona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para describir las condiciones hidrológicas en la columna de agua de Isla Gorgona se realizó un muestreo oceanográfico general siguiendo una malla de 24 estaciones previamente establecidas (Figura 1). Todo el muestreo se realizó entre el 26-27 de julio de 2006 utilizando como plataforma L/C Fragata del PNN Gorgona. En cada estación, se registró la temperatura y salinidad desde la superficie hasta 50 m utilizando un CTD Seabird-19, y se cuantificó la transparencia de la columna de agua con un disco Secchi. Se utilizó una botella oceanográfica de tipo Van Dorn de 10 L

para realizar muestreos discretos de agua a tres profundidades (0, 10, 30 m), a partir de los cuales se cuantificó la biomasa fitoplanctónica (clorofila-*a* *in vivo*) y turbidez con un fluorómetro portátil Aquafluor™ (Turner Designs) previamente calibrado, y se estimó la concentración de oxígeno disuelto utilizando una sonda multiparámetro YSI85. Se colectaron submuestras de 50 mL de agua para cuantificar mediante análisis fotométrico la concentración de nitrato en el laboratorio de la Estación Científica Henry von Prahl del PNN Gorgona, utilizando un espectrofotómetro Merck Spectroquant Q-10 (Kit Merck Nitrato 1.09713.0001). Las muestras de agua se preservaron congeladas en hielo seco (-30 °C) hasta el transporte al laboratorio.



- * Estaciones seleccionadas sector oriental
- ** Estaciones seleccionadas sector occidental

Figura 1. Área de estudio en el que se señala la posición geográfica de Isla Gorgona en el Pacífico colombiano y la posición de las estaciones de muestreo. Se señalan las estaciones seleccionadas en el sector oriental y occidental de la isla.

Se realizaron colectas superficiales de fitoplancton mediante el arrastre de una red cónica simple de 30 cm de diámetro (ojo de malla de 60 μm) y colectas de zooplancton mediante arrastres oblicuos desde 50 m a la superficie utilizando una red bongo de 30 cm de diámetro (ojo de malla de 250 μm) a la cual se le adosó un flujómetro General Oceanics para cuantificar el volumen de agua filtrada. Las muestras planctónicas fueron preservadas en formalina al 10 % y transportadas al laboratorio de Ecología Animal de la Universidad del Valle, en donde se cuantificó la biomasa zooplanctónica (peso húmedo corregido) y se realizó la clasificación taxonómica en grandes grupos de todos los individuos colectados siguiendo a Gasca y Suárez (1996), Boltovskoy (1999) y Young (2002). El fitoplancton se clasificó siguiendo a Thomas (1997) a partir del análisis de 1 mL de muestra previamente homogenizada con una cámara de conteo Sedgwick-Rafter.

Se construyeron mapas de contorno utilizando el método de interpolación Krigging para describir espacialmente los parámetros evaluados y se describió la variación vertical de la temperatura y la salinidad en la columna de agua a partir de perfiles verticales. Adicionalmente, se utilizó un análisis de varianza de una vía para evaluar las diferencias de las condiciones oceanográficas establecidas entre los estratos de profundidad definidos en la columna de agua (0, 10, 30 m), considerando los registros de cada parámetro como las variables dependientes y los estratos de profundidad como la fuente de variación. Se realizaron transformaciones logarítmicas en los casos requeridos.

Para poner a prueba uno de los supuestos más recurrentes en la literatura científica del PNN Gorgona, que sugiere la existencia de diferencias significativas entre las condiciones oceanográficas del sector oriental y occidental de la isla (e.g. Prahl, 1979; Glynn *et al.*, 1982), se seleccionaron las estaciones costeras de cada sector (Figura 1) y se compararon las condiciones de temperatura superficial, temperatura 10 m, temperatura promedio 0-10 m, salinidad superficial, salinidad 10 m, salinidad promedio 0-10 m, clorofila-*a* superficial, clorofila-*a* 10 m, clorofila-*a* integrada 0-10 m, biomasa zooplanctónica, turbidez superficial y transparencia, utilizando una prueba de comparación no paramétrica para dos grupos independientes (prueba Mann-Whitney), ajustada para muestras pequeñas (Siegel, 1956; Dinneen y Blaskesley, 1973). Estas variables fueron seleccionadas debido a que uno de los principales objetos de conservación del PNN Gorgona son los arrecifes coralinos, sistemas biológicos que se desarrollan principalmente entre 0-10 m de profundidad en el sector oriental de la isla (Zapata, 2001; Zapata *et al.*, 2001; Zapata y Vargas-Ángel, 2003).

RESULTADOS

Los registros promedio (media \pm error estándar) de las diferentes variables evaluadas en el área de estudio se presentan en la Tabla 1. La variabilidad espacial de la temperatura y la salinidad superficial fue reducida, registrándose temperaturas entre 27.5-28.0 °C (Figura 2a) y salinidades entre 31.5-32.0 (Figura 2b). La columna de agua estuvo estratificada desarrollándose una fuerte termoclina y haloclina entre 45-55 m de profundidad (Figura 2c, 2d). La transparencia del agua estuvo entre 7-12 m (profundidad de disco Secchi) en toda el área de estudio. El registro superficial de turbidez fue altamente variable identificándose un centro de alta turbidez en el sector suroriental de la isla (Figura 3a). El oxígeno disuelto superficial estuvo entre 4.78 y 3.94 mL L⁻¹ (Figura 3b). La concentración superficial de nitrato fue altamente variables (0.07-0.23 μ M), detectándose centros de alta concentración al frente del poblado y en el sector sur de la isla (Figura 3c). No se detectaron diferencias significativas de turbidez, oxígeno disuelto y la concentración de nitrato entre los tres estratos de profundidad evaluados (Figura 3).

Tabla 1. Registro de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas durante julio 2006 en la columna de agua del PNN Gorgona (media \pm error estándar). n 0 m = 24, n 10 m = 17, n 30 m = 11, ES: error estándar de la media, T: temperatura, S: salinidad, OD: oxígeno disuelto, Chlo-a: Clorofila a.

| Parámetro | Media | ES | Min | Max |
|--|--------|-------|-------|--------|
| T 0 m (°C) | 27.72 | 0.07 | 27.40 | 28.50 |
| T 10 m (°C) | 27.62 | 0.05 | 27.30 | 28.10 |
| T 30 m (°C) | 27.56 | 0.04 | 27.40 | 27.80 |
| S 0 m | 31.55 | 0.02 | 31.40 | 31.70 |
| S 10 m | 31.55 | 0.03 | 31.40 | 31.80 |
| S 30 m | 31.68 | 0.04 | 31.50 | 31.90 |
| Transparencia (m) | 10.37 | 0.33 | 7.00 | 12.00 |
| Turbidez 0 m (NTU) | 14.13 | 2.60 | 2.52 | 54.07 |
| Turbidez 10 m (NTU) | 19.22 | 3.73 | 8.23 | 61.09 |
| Turbidez 30 m (NTU) | 18.69 | 2.21 | 10.77 | 30.92 |
| OD 0 m (mL L ⁻¹) | 4.29 | 0.03 | 3.73 | 4.48 |
| OD 10 m (mL L ⁻¹) | 4.36 | 0.03 | 4.12 | 4.52 |
| OD 30 m (mL L ⁻¹) | 4.27 | 0.09 | 3.59 | 4.52 |
| Nitrato 0 m (μ M) | 0.13 | 0.02 | 0.03 | 0.26 |
| Nitrato 10 m (μ M) | 0.17 | 0.02 | 0.04 | 0.27 |
| Nitrato 30 m (μ M) | 0.11 | 0.03 | 0.02 | 0.26 |
| Chlo-a 0 m (μ g L ⁻¹) | 0.15 | 0.01 | 0.09 | 0.37 |
| Chlo-a 10 m (μ g L ⁻¹) | 0.19 | 0.02 | 0.09 | 0.38 |
| Chlo-a 30 m (μ g L ⁻¹) | 0.27 | 0.03 | 0.21 | 0.51 |
| Densidad Fitoplancton (10 ⁶ cel m ⁻³) | 413.21 | 46.65 | 47 | 848 |
| Biomasa Húmeda Zooplancton (g 100m ⁻³) | 89.08 | 15.45 | 16.95 | 311.53 |
| Abundancia Zooplancton (ind 100 m ⁻³) | 86349 | 15094 | 16954 | 279305 |

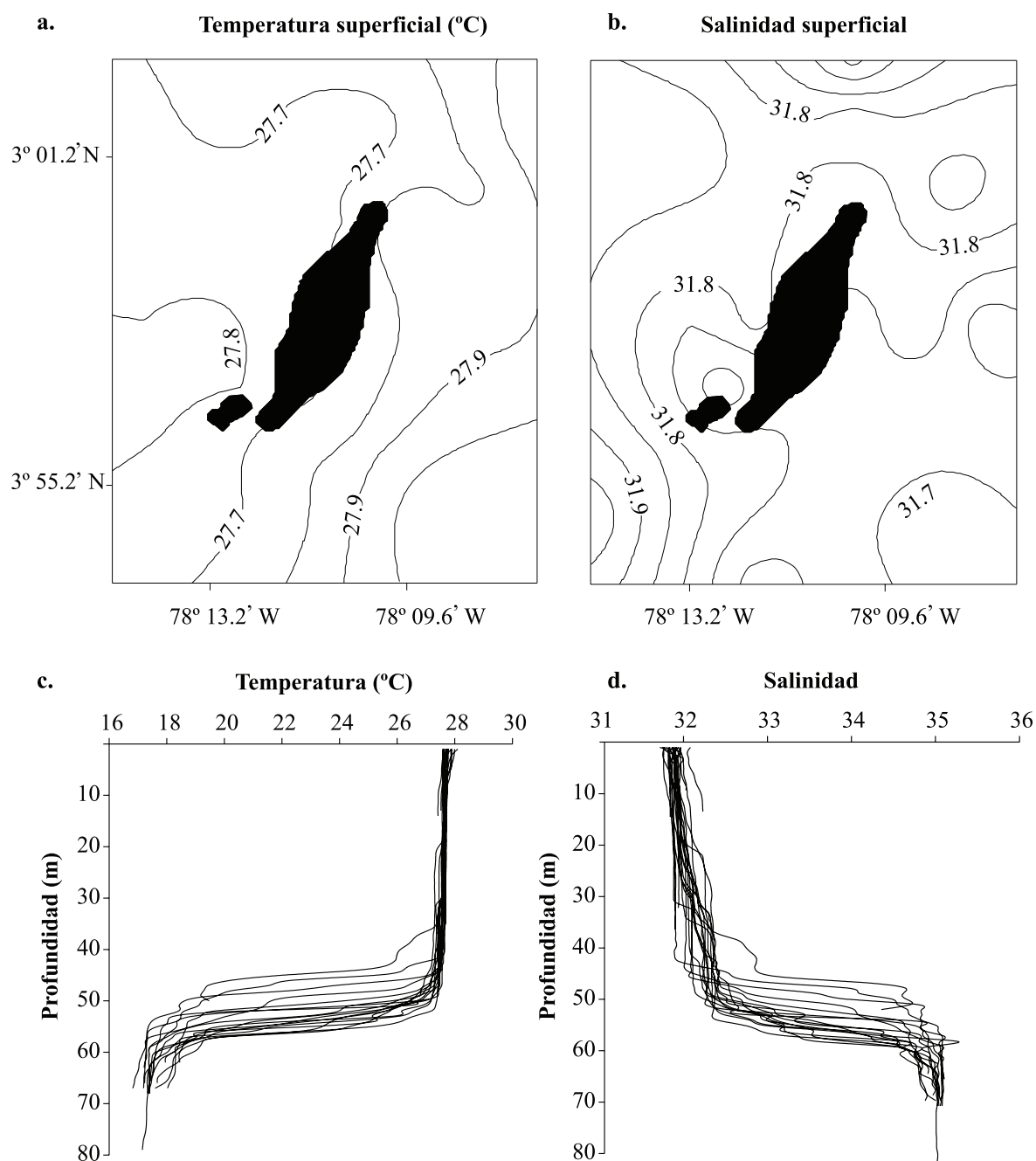


Figura 2. Variación horizontal y vertical de la temperatura (°C) (a) y salinidad (b) en el ambiente pelágico de Isla Gorgona establecida a partir de la información registrada en 24 estaciones de muestreo durante el 26 y 27 de julio 2006. Los intervalos de las isotermas (c) e isohalinas (d) son equivalentes 0.1 unidades. Cada línea del perfil vertical corresponde a la información de una estación de muestreo.

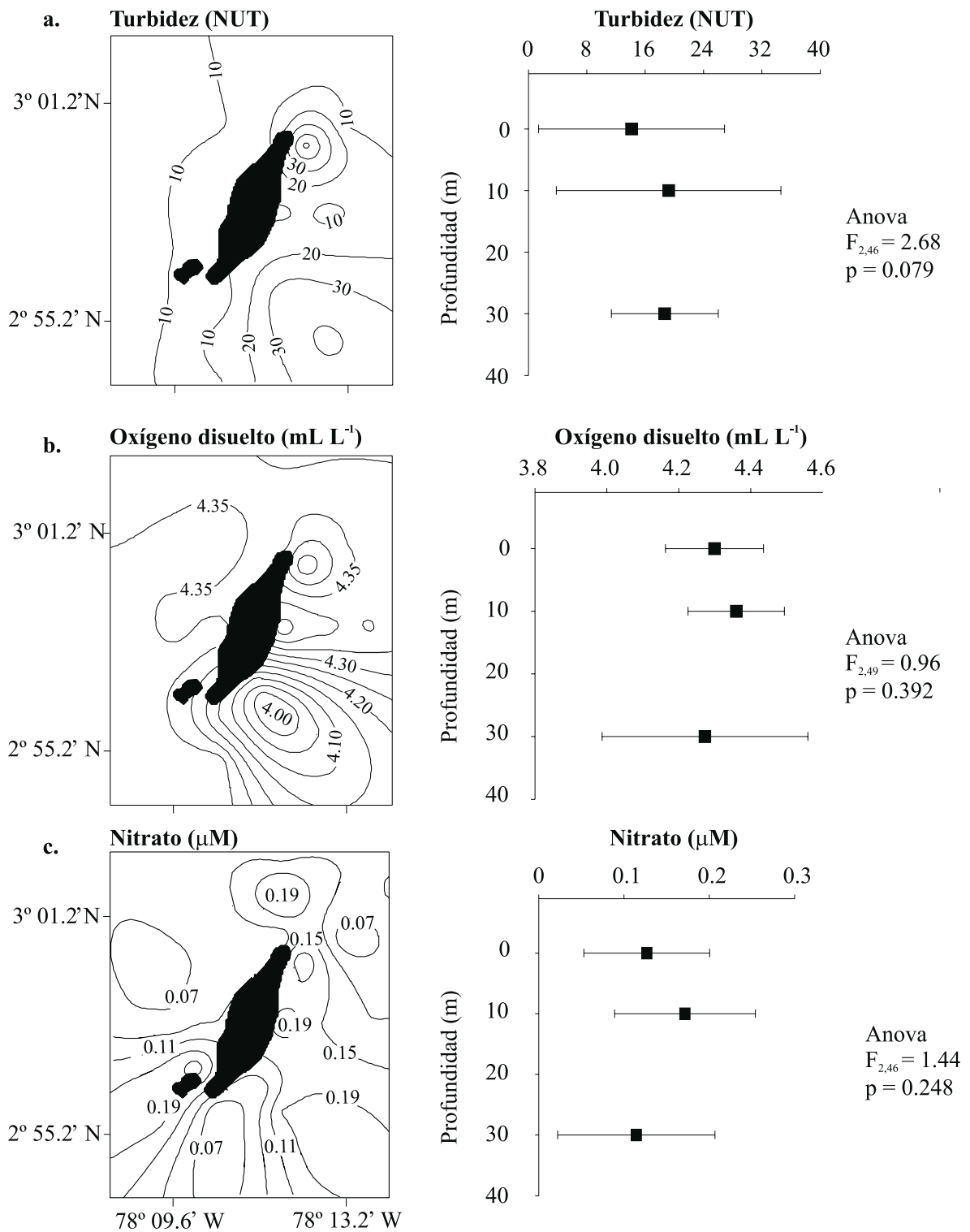


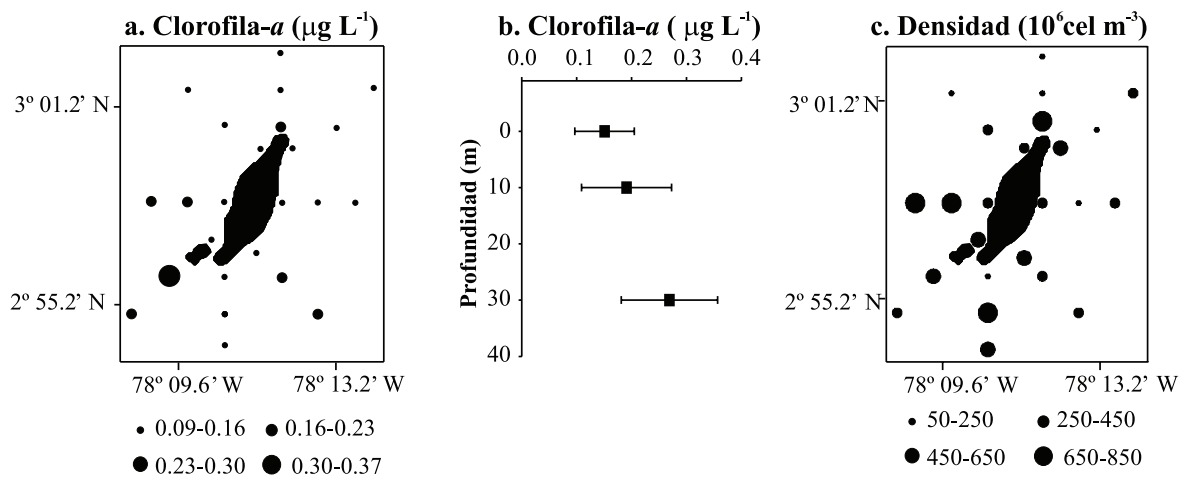
Figura 3. Variación horizontal y vertical de la turbidez (NUT) (a), oxígeno disuelto (mL L^{-1}) (b) y nitrato (μM) (c) en el ambiente pelágico de Isla Gorgona establecida a partir de la información registrada en 24 estaciones de muestreo durante el 26 y 27 de julio 2006.

La clorofila-*a* superficial fue altamente variable en la zona de estudio, con registros entre 0.09 y 0.37 $\mu\text{g L}^{-1}$, detectándose un centro de alta concentración en el sector sur de la isla (Figura 4a). Se encontraron diferencias significativas en la concentración de clorofila-*a* entre los estratos de profundidad considerados (Anova, $F_{2,46} = 9.86$, $p = 0.0003$), siendo la concentración significativamente mayor a 30 m de profundidad (Figura 4b). La abundancia fitoplanctónica estuvo entre $47 \times 10^6 \text{ cel m}^{-3}$ y $848 \times 10^6 \text{ cel m}^{-3}$ (Figura 4c). El 91.17 % del fitoplancton capturado fueron diatomeas pertenecientes a 23 géneros, entre los que se desatacaron *Rhizosolenia* y *Odontella* por su dominancia en número (Figura 4d). El restante 8.83 % del fitoplancton fueron dinoflagelados pertenecientes a 11 géneros entre los que se destacó *Ceratium* por su dominancia en número (Figura 4d). La biomasa húmeda de zooplancton en la zona de estudio estuvo entre 0.12 a 4.97 $\text{g } 100 \text{ m}^{-3}$ (Figura 5a), con registros de abundancia entre 17000 a 279400 $\text{ind } 100 \text{ m}^{-3}$ (Figura 5b). De los 31 grandes grupos taxonómicos identificados, los copépodos dominaron en número (56.8 %), seguidos por las apendicularias (16.9 %) y quetognatos (6.6 %) (Figura 5c).

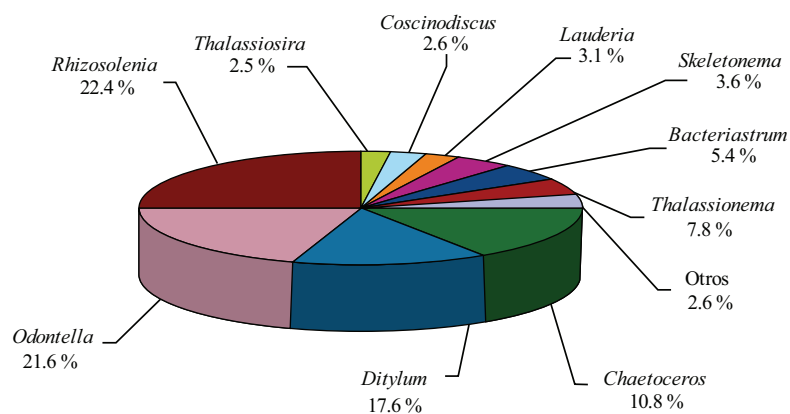
Al realizar la comparación de las condiciones oceanográficas entre el sector oriental y occidental de Isla Gorgona, solamente se registraron diferencias significativas para la temperatura superficial (Mann-Whitney, $p=0.0027$), temperatura a 10 m (Mann-Whitney, $p= 0.0017$) y temperatura promedio entre 0-10 m (Mann-Whitney, $p= 0.0027$), siendo en términos generales el agua significativamente más cálida en el sector oriental. Sin embargo, las diferencias detectadas entre ambas zonas no fueron mayores de 0.15 °C (Tabla 2).

Tabla 2. Registro de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas promedio en el sector costero oriental y occidental de Isla Gorgona durante julio 2006. n: número de estaciones, SD: desviación estándar de la media, T: temperatura, S: salinidad, Chlo-*a*: Clorofila *a*.

| Parámetro | Sector oriental | | | Sector occidental | | |
|---|-----------------|----------|-------|-------------------|----------|--------|
| | n | Promedio | SD | n | Promedio | SD |
| T _{0 m} (°C) | 7 | 27.81 | 0.08 | 7 | 27.66 | 0.06 |
| T _{10 m} (°C) | 7 | 27.69 | 0.03 | 7 | 27.59 | 0.08 |
| T _{media 0-10 m} (°C) | 7 | 27.73 | 0.06 | 7 | 27.63 | 0.05 |
| S _{0 m} | 7 | 31.75 | 0.04 | 7 | 31.78 | 0.07 |
| S _{10 m} | 7 | 31.83 | 0.04 | 7 | 31.83 | 0.04 |
| S _{media 0-10m} | 7 | 31.79 | 0.04 | 7 | 31.81 | 0.04 |
| Transparencia (m) | 7 | 11.00 | 0.71 | 7 | 10.57 | 1.27 |
| Turbidez (NTU) | 7 | 20.86 | 18.65 | 7 | 8.54 | 4.33 |
| Chlo- <i>a</i> _{0 m} ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 4 | 0.14 | 0.03 | 3 | 0.14 | 0.03 |
| Chlo- <i>a</i> _{10 m} ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 7 | 0.17 | 0.10 | 7 | 0.21 | 0.07 |
| Chlo- <i>a</i> _{integrada 0-10 m} ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 5 | 1.51 | 0.49 | 7 | 1.55 | 0.38 |
| Biomasa Zooplancton ($\text{mg } 100 \text{ m}^{-3}$) | 7 | 78.90 | 60.78 | 7 | 78.28 | 103.84 |



d. Diatomeas



Dinoflagelados

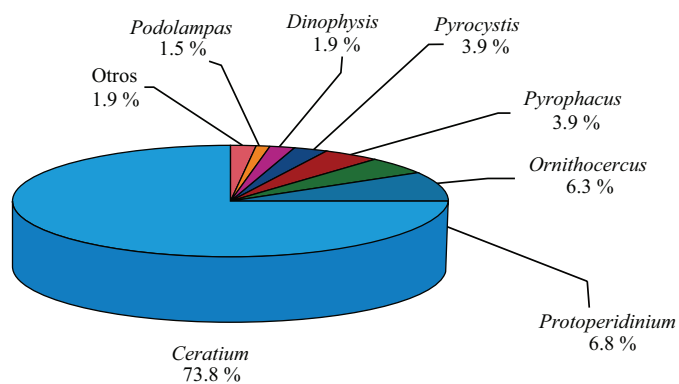


Figura 4. Distribución espacial (a) y vertical (b) de la biomasa fitoplanctónica, y distribución espacial (c) y composición taxonómica (géneros) del fitoplancton (d) en el ambiente pelágico de Isla Gorgona establecida a partir de la información registrada en 24 estaciones de muestreo durante el 26 y 27 de julio 2006.

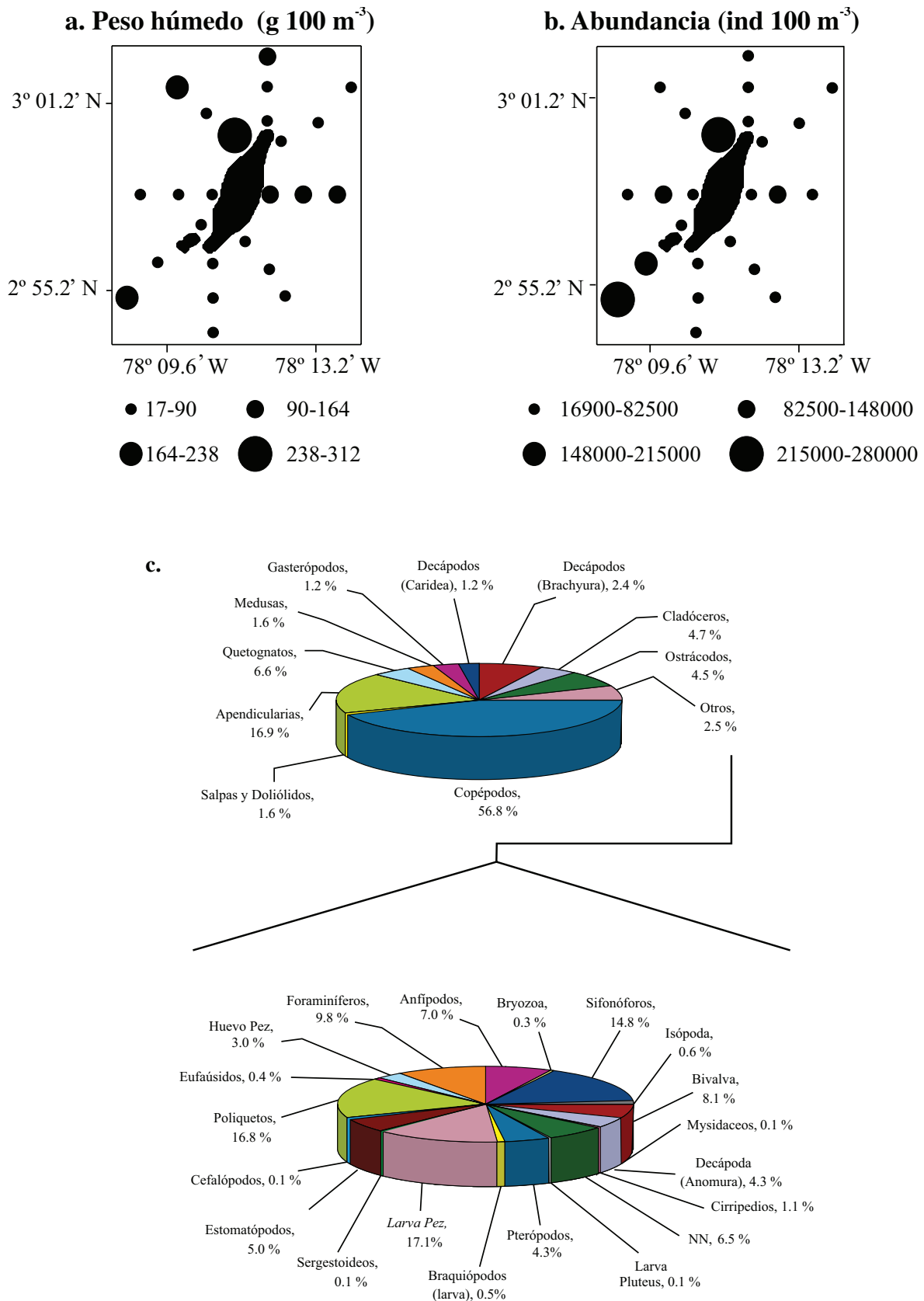


Figura 5. Distribución espacial de la biomasa (a), abundancia (b) y composición taxonómica (grandes grupos) (c) del zooplancton en el ambiente pelágico de Isla Gorgona establecida a partir de la información registrada en 24 estaciones de muestreo durante el 26 y 27 de julio 2006.

DISCUSIÓN

Las condiciones oceanográficas registradas en el área de estudio durante el desarrollo de este trabajo, se ajustan a lo descrito por Giraldo *et al.* (2008) como condiciones típicas del “período oceanográfico cálido” del ambiente pelágico del PNN Gorgona. Este periodo transcurre entre mayo y diciembre de cada año y se caracteriza por la presencia de una termoclina estable que define una capa superficial cálida, y la intensificación de la precipitación e influjo lacustre que genera baja salinidad superficial. Incluso al considerar una escala espacial más amplia, los resultados de esta investigación son altamente concordantes con los registros hidrográficos generales descritos para el sector oriental del Pacífico Oriental Tropical (POT) por Benway y Mix (2004), Amador *et al.* (2006) y Fiedler y Talley (2006).

Es importante destacar que la presencia de una termoclina estable y profunda tiene fuertes implicaciones en los procesos químicos y biológicos que se desarrollan en el ambiente pelágico de esta localidad. En términos generales, ha sido descrita una estrecha relación entre las características de la termoclina (profundidad, gradiente térmico y amplitud) y la productividad general, ya que en la mayoría de los casos la termoclina está directamente asociada con la zona en la columna de agua en donde se registra una mayor biomasa fitoplanctónica y/o mayor concentración de nutrientes inorgánicos (ver Barber y Chávez, 1983, 1991). Aunque sólo se realizaron análisis de oxígeno disuelto, nitratos, turbidez y clorofila-*a* hasta 30 m de profundidad en el área de estudio, la variación vertical de estos parámetros siguieron la tendencia general esperada en un ambiente tropical sujeto a la presencia de una fuerte estratificación térmica, incrementándose los registros de nutrientes (nitratos) y turbidez a medida que se incrementó la profundidad, e incluso se encontró que la concentración de clorofila-*a* fue significativamente mayor a 30 m de profundidad.

Por lo tanto si se asume que las condiciones ambientales descritas durante este estudio representan las condiciones típicas del ambiente pelágico en isla Gorgona durante el “período oceanográfico cálido”, es de esperar que la recirculación local de nutrientes sea la fuente principal de elementos nutritivos para el fitoplancton en la columna de agua de esta localidad. Sin embargo, un elemento adicional que podría estar afectando de manera significativa la disponibilidad de nutrientes inorgánicos en la zona de estudio es la cercanía de Isla Gorgona al complejo deltaico del río Patía-Sanquianga, ubicado a menos de 50 Km en dirección sur-este. A través de este delta se drenan 23000 Km² de la cordillera occidental de los Andes hacia el océano Pacífico, presentando un caudal medio de 1300 m³ s⁻¹ y una descarga sedimentaria de 14 x 10⁶ t año⁻¹ (Restrepo y Kjerfve, 2000). Esta condición lo convierte en una importante fuente potencial de nutrientes y material orgánico e inorgánico particulado para el ambiente pelágico de Isla Gorgona.

La concentración de clorofila-*a* superficial en el ambiente pelágico de Isla Gorgona fue consistente con lo descrito para el sector oriental del POT. De acuerdo con Pennington *et al.* (2006) en una escala temporal anual la biomasa fitoplanctónica superficial en el sector oriental del Pacífico tropical (POT) presenta un comportamiento bimodal, con valores máximos en marzo ($< 0.60 \mu\text{g L}^{-1}$) y junio ($> 0.50 \mu\text{g L}^{-1}$), y valores menores (0.10 a $0.30 \mu\text{g L}^{-1}$) entre julio y febrero. Durante el periodo de muestreo en Isla Gorgona se registraron concentraciones superficiales de clorofila-*a* mayores a $0.10 \mu\text{g L}^{-1}$, lo que sugiere que ésta es una zona con un alto potencial productivo. En este contexto, recientemente se cuantificó la producción primaria en el ambiente pelágico de Gorgona a partir de incubaciones *in situ* utilizando la técnica de la botella clara-oscuro, estableciendo un valor promedio de $269 \pm 14.7 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($n = 8$; promedio \pm error estándar, Ramírez, D. y A. Giraldo; datos sin publicar). En estos ambientes productivos y con alta disponibilidad de nutrientes, el fitoplancton generalmente estará dominado por diatomeas y dinoflagelados grandes tal como fue establecido en este estudio. Estos organismos se caracterizan por presentar una alta tasa de incorporación de nitrato, estando limitado su crecimiento principalmente por la disponibilidad de silicato (Chávez *et al.*, 1996). Sin embargo, la cercanía a la desembocadura del río Patía-Sanquianga probablemente garantice una adecuada disponibilidad de silicato en la región.

Esta alta productividad fitoplanctónica probablemente sea suficiente para sostener una considerable biomasa zooplanctónica como la que es registrada en esta investigación. En este sentido, el estimado de biomasa zooplanctónica para el ambiente pelágico de Isla Gorgona es similar al presentado por Flinta *et al.* (2002) durante la primavera en la zona de frente costero del mar de Bering, una de las zonas más productivas del océano, y cerca de siete veces mayor al estimado por Murcia y Giraldo (2007) para la zona oceánica del Pacífico colombiano durante el mismo periodo hidrográfico.

Es importante destacar que conocer la composición taxonómica general del plancton (fitoplancton y zooplancton) en una localidad permite visualizar la estructura base de la trama trófica pelágica. Esta información es relevante para entender la dinámica de los nutrientes inorgánicos, la transferencia de energía y la ruta que sigue el carbono orgánico en el ambiente marino (Legendre y Le Fevre, 1989; Peña 2003). En este sentido, aunque el grupo dominante del zooplancton en el área de estudio fueron los copépodos (*c.a.* 57 %), condición similar a lo documentado para el Pacífico colombiano por Giraldo y Gutiérrez (2007), y por Murcia y Giraldo (2007), el segundo grupo dominante fue las apendicularias representando el 17% del total de individuos del mesozooplancton en la zona de estudio. De acuerdo con Vargas *et al.* (2002), las apendicularias se asemejan a “bombas biológicas” capaces

de direccionar gran cantidad de carbono orgánico de la columna de agua hacia el fondo, en forma de “nieve marina”, la cual se genera a partir del desprendimiento de las estructuras mucosas utilizadas para alimentarse y/o almacenar residuos fecales (Alldredge, 1992; Flood y Deibel, 1998; López-Urrutia y Acuña, 1999; Sato *et al.*, 2001). Por lo tanto, considerando su alto aporte numérico al mesozooplancton de la zona de estudio durante el periodo de muestreo es de esperar que la participación de este grupo en el flujo vertical de material orgánica particulada en el ambiente pelágico de Isla Gorgona sea considerable.

En esta investigación solamente se describen las condiciones oceanográficas y productividad planctónica (fitoplancton y zooplancton) en el ambiente pelágico de Isla Gorgona durante julio 2006, por lo que se hace necesario evaluar la variabilidad temporal de estas condiciones ya que esta localidad se ubica en una región de alta variabilidad hidrográfica y climática (Fiedler y Talley, 2006; Giraldo *et al.*, 2008). Por ejemplo, es de esperar que el régimen de lluvias module la variabilidad oceanográfica superficial en la zona litoral de Isla Gorgona, sin embargo la descarga de agua continental a través del complejo deltaico Patía-Sanquianga probablemente también esté afectando drásticamente las condiciones físico-químicas en el ambiente pelágico de esta localidad. Además, en una escala temporal y regional mayor, los forzantes atmosféricos presentes en este sector del POT que modulan el desplazamiento latitudinal de la zona de convergencia intertropical (chorro de viento de Panamá entre diciembre-abril y el chorro de viento del Chocó entre octubre-noviembre) condicionan la variabilidad de la temperatura y la salinidad en Isla Gorgona en una escala estacional (Philander *et al.*, 1996; Poveda y Mesa, 2000; Chelton *et al.*, 2004; Lavín *et al.*, 2006; Giraldo *et al.*, 2008). Esta condición permite suponer el desarrollo de una consecuente respuesta en la composición y abundancia del fitoplancton y zooplancton, similar a lo registrado para la zona de influencia de la Corriente de Colombia en el Pacífico colombiano por Martínez *et al.* (2007). Finalmente, es imperativo reiterar la necesidad de poner a prueba en el corto plazo las diferentes hipótesis aquí planteadas toda vez que se generaría información relevante para la conservación de esta importante área marina protegida, permitiendo identificar la respuesta del sistema pelágico a forzantes ambientales locales y regionales, y evaluar su impacto sobre sistemas bentónicos como los arrecifes coralinos.

AGRADECIMIENTOS

A Eugenia Escarria, Gustavo Castellanos y Eliana Velasco quienes apoyaron el trabajo de muestreo. A los funcionarios del PNN Gorgona, “Chaca”, Héctor y “Goyo”, quienes participaron activamente durante la fase de campo de

esta investigación. A la Estación Científica Henry von Prah (PNN Gorgona) por proporcionar los espacios y apoyo logístico necesario para el desarrollo de esta investigación. Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación “Factores físicos, entorno oceanográfico y distribución de arrecifes coralinos en el PNN Gorgona”, Colciencias-Univalle 243-2004 (CI 7670), a favor de A. Giraldo y F. Zapata. Este proyecto contó con el permiso de investigación DTSSO-035/2005 de la Unidad Administradora Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) a favor de A. Giraldo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allredge, A. L. 1992. Marine snow in oceanic cycling. *Encyc. Earth System Sci.*, 3: 139-147.
- Amador, J. A., E. J. Alfaro, O. G. Lizano y V. O. Magaña. 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Ocean.*, 69: 101-142.
- Arndt, N. T., A. C. Kerr y J. Tarney. 1997. Dynamic melting in plume heads: the formation of Gorgona komatiites and basalts. *Earth Plan. Sci. Let.*, 146: 289-301.
- Barber, R. T. y F. P. Chávez. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, 222: 1203-1210.
- Barber, R. T. y F. P. Chávez. 1991. Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 36: 179-176.
- Benway, H. M. y A. C. Mix. 2004. Oxygen isotopes, upper-ocean salinity, and precipitation sources in the eastern tropical Pacific. *Earth Plan. Sci. Let.*, 224: 493-507.
- Boltovskoy, D. 1999. South Atlantic zooplankton. Backhuys Publisher, Kerkwerver, Holanda. 1706 p.
- Buddemaier, R. W. 2001. Is it time to give up? *Bull. Mar. Sci.*, 69: 317-328.
- Chávez, F. P., K. R. Buck, S. K. Service, J. Newton y R. T. Barber. 1996. Phytoplankton variability in the central and eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Res., II* 43: 835-870.
- Chelton, D. B., M. G. Schlax, M. H. Freilich y R. F. Milliff. 2004. Satellite measurements reveal persistent small-scale features in ocean winds. *Science*, 303: 978-983.
- Devis-Morales, A., W. Schneider, R. A. Montoya-Sánchez y E. Rodríguez-Rubio. 2008. Monsoon-like winds reverse oceanic circulation in the Panama Bight. *Geophys. Res. Let.*, 35. L20607.
- Díaz, J. M., J. H. Pinzon, A. M. Perdomo, L. M. Barrios y M. López-Victoria. 2001. Generalidades. 17-26. En: Barrios, L. M. y M. López-Victoria (Eds.). *Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única*. INVEMAR, Serie Publ. Esp. No. 7, Santa Marta. 160 p.
- Dinneen, L. C. y B. C. Blakesley. 1973. A generator for the sampling distribution of the Mann Whitney *U* statistic. *Applied Stat.*, 22: 269-273.
- Echeverría, L. M. 1982. Komatiites from Gorgona Island, Colombia. 199-209. En: Arndt, N. T. y E. G. Nisbet (Eds.). *Komatiites*. Georfe Allen y Unwin, Londres. 543 p.
- Fiedler, P. C. y L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progr. Oceanogr.*, 69: 143-180.
- Flinta, M. V., I. N. Sukhanovaa, A. I. Kopylovb, S. G. Poyarkova y T. E. Whitley. 2002. Plankton distribution associated with frontal zones in the vicinity of the Pribilof Islands. *Deep-Sea Res., II* 49: 6069-6093.



- Flood, P. R. y D. Deibel. 1998. The appendicularian house. 105-124. En: Bone, Q. (Ed.). The biology of pelagic tunicates. Oxford University Press, Oxford. 362 p.
- Gasca, R. y E. Suárez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino. ECOSUR-CONACYT, México. 711 p.
- Giraldo, A. y E. Gutiérrez. 2007. Composición taxonómica del zooplancton superficial en el Pacífico colombiano (septiembre 2003). Invest., Mar. Valparaiso, 35: 117-122.
- Giraldo, A., E. Rodríguez-Rubio y F. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en Isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. Latin Am. J. Aq. Res., 36: 121-128.
- Glynn, P. W., H. von Prael y F. Guhl. 1982. Coral reefs of Gorgona Island, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 12: 185-214.
- Gómez, H. 1986. Algunos aspectos neotectónicos hacia el suroeste del Litoral Pacífico colombiano. Revista CIAF, 11: 281-289.
- Lavín, M. F., P. C. Fiedler, J. A. Amador, L. T. Ballence, J. Farber-Lorda y A. M. Mestas-Nuñez. 2006. A review of eastern tropical Pacific oceanography: summary. Progr. Oceanogr., 69: 391-398.
- Legendre, L. y Le Fevre, J. 1989. Hydrodynamical singularities as controls of recycled versus export production in the ocean. 49-63. En: Berger, W. H., V. S. Smetacek y G. Wefer (Eds.). Productivity of the Ocean: past and present. John Wiley, Nueva York. 471 p.
- Llinás, R., J. Pinto, F. Peña y F. Caro. 1990. Geología. 65-72. En: Rangel, O. y J. Aguirre (Eds.). Biota y ecosistemas de Gorgona. Fondo FEN, Bogotá. 303 p.
- López-Urrutia, A. y J. L. Acuña. 1999. Gut throughput dynamics in the appendicularian *Oikopleura dioica*. Mar. Ecol. Progr. Ser., 191: 195-205.
- Martínez, T. I., A. Giraldo y E. Rodríguez-Rubio. 2007. Zooplancton en la Corriente de Colombia, Pacífico colombiano, durante marzo de 2006. Bol. Cient. CCCP, 14: 69-82.
- Murcia, M. y A. Giraldo. 2007. Condiciones oceanográficas y composición del mesozooplancton en la zona Oceánica del Pacífico colombiano durante septiembre-octubre 2004. Bol. Cient. CCCP, 14: 83-94.
- Pabón, J. D., P. E. Rojas, J. E. Montealegre, R. Kim, J. L. Ceballos, N. Martínez, y E. Ñanez. 1998. El Océano. 149-169. En: Leyva, P. (Ed.). El medio ambiente en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, Bogotá. 543 p.
- Pattiaratchi, C. 1995. Physical oceanographic aspects of the dispersal of coral spawn slicks: a review. 89-105. En: Sammarco, P. W. y M. L. Heron (Eds.). The bio-physics of marine larval dispersal (coastal and estuarine science). American Geophysical Union, Washington. 352 p.
- Pennington, J. T., K. L. Mahoney, V. S. Kuwahara, D. D. Kolber, R. Calienes y F. P. Chávez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. Progr. Oceanogr., 69: 285-317.
- Peña, M. A. 2003. Plankton size classes, functional groups and ecosystem dynamics: an introduction. Progr. Oceanogr., 57: 239-242.
- Philander, S. G. H., D. Gu, G. Lambert, N. C. Lau, T. Li y R. C. Pacanowski. 1996. Why the ITCZ is mostly north of equator? J. Clim., 9: 2958-2972.
- Poveda, G. y O. J. Mesa. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): enhanced ocean-land-atmosphere interaction by a low-level jet. Geophys. Res. Lett., 27: 1675-1678.

- Prahl., H. v., F. Guhl y M. Grögl. 1979. Gorgona. Futura Grupo Editorial Ltda., Bogotá. 263 p.
- Rangel, O. y A. Rudas. 1990. Macroclima de Gorgona y de la región costera aledaña. 13-41. En: Rangel O. y J. Aguirre (Eds.). Biota y ecosistemas de Gorgona. Fondo FEN, Bogotá. 303 p.
- Restrepo, J. D. y B. Kjerfve. 2000. Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *J. Geol.*, 108: 17-33.
- Rodríguez-Rubio, E. y J. Stuardo. 2002. Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-1 data. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planetary Science)*, 111 (3): 1-10.
- Rodríguez-Rubio, E., W. Schneider y R. Abarca del Río. 2003. On the seasonal circulation within Panama Bight derived from satellite observations of winds, altimetry and sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 30: 1410-1413.
- Rodríguez-Rubio, E., M. Bastidas, D. Guerrero y J. Rueda-Bayona. 2007. Características oceanográficas de la corriente costera en el Océano Pacífico colombiano. XII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Florianopolis, Brasil.
- Sato, R., Y. Tanaka y T. Ishimaru. 2001. House production by *Oikopleura dioica* (Tunicata, Appendicularia) under laboratory conditions. *J. Plankton Res.*, 23:415-423.
- Siegel, S. 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. McGraw-Hill, Nueva York. 313 p.
- Thomas, C. R. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic, San Diego. 858 p.
- UAESPNN. 1998. El sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, Ministerio del Medio Ambiente. Editorial Nomos, Bogotá. 497 p.
- Vargas, C., K. Tönnesson, A. Sell1, M. Maar, E. F. Møller, T. Zervoudaki, A. Giannakourou, E. Christou, S. Satapoomin, J. K. Petersen, T. G. Nielsen y P. Tiselius. 2002. Importance of copepods versus appendicularians in vertical carbon fluxes in a Swedish fjord. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 241: 125-138.
- Young, C. M. 2002. Atlas of marine invertebrate larvae. Academic, San Diego. 626 p.
- Zapata, F. A. 2001. Formaciones coralinas de Isla Gorgona. 27-40. En: Barrios, L. M. y M. López-Victoria (Eds.). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. INVEMAR, Serie Publ. Espec. No 7. Santa Marta. 160 p.
- Zapata, F. A. y B. Vargas-Ángel. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. 419-448. En: Cortés, J. (Ed.). Latin American coral reefs. Elsevier Science, Amsterdam. 508 p.
- Zapata, F. A., B. Vargas-Ángel, y J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas. 41-50. En: Barrios, L. M. y M. López-Victoria (Eds.). Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única. INVEMAR, Serie Publ. Espec. No. 7, Santa Marta. 160 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 01/07/2009

FECHA DE ACEPTACIÓN: 11/04/2011

