

## QUETOGNATOS: ¿INDICADORES DE EVENTOS CLIMÁTICOS ANÓMALOS EN EL OCÉANO PACÍFICO COLOMBIANO?

### *CHAETOGNATHS: INDICATORS OF ANOMALOUS CLIMATIC EVENTS IN THE COLOMBIAN PACIFIC OCEAN?*

Raúl Hernando López Peralta<sup>1</sup>  
Camilo Andrés López López<sup>2</sup>  
Julián Uribe-Palomino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Militar “Nueva Granada”  
Carrera 11 No. 101-80 Bogotá D.C., Colombia. www.umng.edu.co / rhlopezp@umng.edu.co

<sup>2</sup>Geocol Consultores Ltda.  
Calle 73A # 76-33 Bogotá D.C., Colombia. calopezlopez@gmail.com

<sup>3</sup>Biólogo Marino. Brisbane (QLD)- Australia juribepalomino@gmail.com

López, R., C. López y J. Uribe-Palomino. 2007. Quetognatos: ¿Indicadores de eventos climáticos anómalos en el océano Pacífico colombiano?. Boletín Científico CCCP, (14): 81-90. 109-122.

*Recibido en septiembre de 2007; aceptado en diciembre de 2007*

NOTA ACLARATORIA: Este trabajo fue presentado a manera de póster en el XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Viña del Mar (Chile), 16-20 de mayo de 2005.

#### RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue establecer el valor de los quetognatos como indicadores de eventos El Niño y La Niña en el océano Pacífico colombiano. Se estudiaron los periodos Jun. 23 a Jul. 12 de 2001, Ago. 27 a Sep. 15 de 2001, Sep. 03 al 22 de 2002 y Sep. 01 al 21 de 2003, incluyendo información abiótica y biótica, para comparar los resultados con datos históricos. El Niño moderado ocurrido en 2002 no se evidenció, debido a que sólo se analizaron la temperatura, salinidad y clorofila-*a* en la superficie y no se consideró la profundidad de la termoclina. Las abundancias más altas de quetognatos en el periodo Sep. 03 al 22 de 02 sugirieron mejores condiciones generales para esos organismos, a pesar de El Niño imperante. El análisis global de los estudios sobre quetognatos efectuados en el océano Pacífico colombiano hasta ahora, mostró que estos organismos no son útiles como indicadores de episodios anómalos en esa área, puesto que aparecen indistintamente en periodos normales, así como durante El Niño y La Niña, en densidades y distribución muy variables; la excepción podría ser *Sagitta minima* como indicadora de eventos fríos. La alta densidad y amplia distribución permanente de *S. enflata* y *S. hexaptera* demuestran que son las únicas especies euritípicas en el Pacífico colombiano, mientras que la presencia en la superficie de las mesozooplancónicas *S. hexaptera*, *S. serratodentata* y *K. subtilis*, así como la euribatial *S. zetesios*, evidencian procesos de surgencia en el área de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** quetognatos, indicadores, Pacífico colombiano, El Niño, La Niña.

#### ABSTRACT

This principal aim of this work was to establish the value of chaetognaths as indicators of El Niño and La Niña events in the Colombian Pacific Ocean. The studied periods were 23.Jun-12.Jul.01, 27.Ago-15.Sep.01, 03-22.Sep.02 and 01-21.Sep.03, including abiotic and biotic information, comparing the results with historical data. The moderate 2002 El Niño was not evidenced, because there were analyzed only temperature; salinity and chlorophyll *a* at surface and the depth of the termocline was not considered. The highest abundances of chaetognaths in the period 03-22.Sep.02 suggested better general conditions for those organisms, despite of the reigning El Niño. The global analysis of the studies on chaetognaths realized until now in the CPO showed that these organisms are not useful as indicators of anomalous episodes in that area, since they appear indistinctly in normal periods, as during El Niño and La Niña, in very variable densities and distribution; *Sagitta minima* could be the exception as indicator of cold events. The high density and permanent wide distribution of *S. enflata* and *S. hexaptera* demonstrate that these species are the only euritypical ones at the CPO, while the presence of the mesozooplanktonic *S. hexaptera*, *S. serratodentata* and *K. subtilis*, just as the euribatial *S. zetesios* at the surface evidence upwelling processes in the study area.

**KEY WORDS:** chaetognaths, indicators, Colombian Pacific, El Niño, La Niña.

## INTRODUCCIÓN

Los quetognatos (Phylum Chaetognatha) son organismos exclusivamente marinos, cosmopolitas, principalmente holoplanctónicos, que efectúan migraciones nictimerales. Son depredadores voraces de la mayoría de zoopláncteres, incluidos huevos y larvas ícticas (ictioplancton), que hacen parte de la dieta de muchos peces, incluso de interés comercial; por lo anterior, su estudio es de gran relevancia en la evaluación y manejo de las pesquerías. Al mismo tiempo, son alimento de gran cantidad de invertebrados, amén de ser reconocidos indicadores de condiciones oceanográficas (Alvariño, 1978, 1985; Boltovskoy, 1981; Sandoval, 1987; Casanova, 1999; Lalli y Parsons, 2006)

Las investigaciones sobre los ecosistemas marinos y su biota en el océano Pacífico colombiano (OPC) son pocas, en particular sobre las comunidades planctónicas. La mayoría ha contemplado aspectos generales y muy pocas se han centrado en los grupos más importantes, sobre todo los útiles en las evaluaciones pesqueras o como indicadores de condiciones oceanográficas (López, 2004; López *et al.*, 2005). Por ende, no se cuenta con información suficiente que contribuya a explicar en detalle la intensidad con que afectan los episodios océano-atmosféricos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) a las comunidades referidas.

En este trabajo se buscó establecer el valor de los quetognatos como indicadores de esos eventos anómalos, por lo cual se analizó la influencia de algunos factores sobre dicha comunidad, comparando cuatro periodos de muestreo: Jun. 23 a Jul. 12 de 2001, Ago. 27 a Sep. 15 de 2001, Sep. 03 al 22 de 2002 y Sep. 01 al 21 de 2003, correspondientes a cruceros oceanográficos dentro del Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN). Con el mismo propósito, los resultados se cotejaron con la información precedente sobre estos organismos (Alvariño, 1978; Pineda, 1976, 1977, 1979; Arboleda, 1988; Cely y Chiquillo, 1993; Cabrera, 1995; López, 1997; Vergara, 1999; Fonseca, 2000; Gómez y López, 2002; García, 2003; López, 2004; López *et al.*, 2005), los más estudiados dentro del zooplancton en el OPC.

Los países del occidente de Suramérica están sujetos a una compleja variabilidad interanual ambiental, con extremos altos y bajos, muchos de ellos asociados con varios aspectos

del comportamiento océano-atmósfera en el Pacífico oriental y central, los cuales son llamados colectivamente El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). A intervalos de dos a siete años acontece El Niño, o fase cálida del ENOS, durante el cual se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, cambia la dirección y la velocidad del viento y se desplazan las zonas de lluvia de la región tropical. La Contracorriente Ecuatorial, que desplaza las aguas frías de la Corriente del Perú hacia el oeste, se debilita, favoreciendo el transporte de aguas cálidas hacia la costa suramericana, se profundiza la termoclina y hay un calentamiento anómalo en gran parte del océano Pacífico Tropical. La contraparte anómala fría es La Niña. Estos eventos pueden variar de moderados o débiles a extremos o severos, y para clasificarlos se utilizan índices e incluso el Índice de la Oscilación del Sur (Waylen y Poveda, 2002)

En el OPC durante los episodios anómalos cálidos la temperatura tiende a incrementarse, en especial en los primeros 100m hacia la costa y el norte, y la salinidad en el mismo estrato disminuye; durante La Niña sucede lo contrario. Estos cambios influyen, no sólo en la dinámica hidrológica de esta región, sino también en la biota, incluyendo las comunidades planctónicas. En condiciones normales se observa un gradiente térmico superficial océano-costa y uno salino opuesto (CCCP, 2002). De acuerdo con Devis (2003), desde el segundo semestre de 2002 hasta principios de 2003, en el OPC se detectó un episodio El Niño moderado.

En este trabajo se presentan, resumidos, los principales resultados sobre el grupo de los quetognatos, cuyo estudio detallado aparece en López (2004) y López *et al.* (2005), como parte de las investigaciones relativas al zooplancton llevadas a cabo por la Universidad Militar “Nueva Granada”.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a las aguas jurisdiccionales del Pacífico colombiano (Figura 1). Con base en varios autores (Bennett, 1963; Forsbergh, 1963; Wyrтки, 1965; Stevenson *et al.*, 1970; Alvariño, 1978; Flóres y Rodríguez, 1992; Cantera, 1993; López, 1997; CCCP, 2002;

García, 2003; López y Trujillo, 2002; Devis, 2003; Uribe, 2003; Villegas, 2002, 2003a, 2003b), las características generales del OPC pueden resumirse así: región estratégica de gran importancia social, económica y científica; siendo una de las más lluviosas del mundo, se halla fuertemente influenciada por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y los vientos Alisios del norte y del sur, cuyo desplazamiento ocasiona los periodos más lluviosos (Abr.-Jul. y Oct.-Dic.) y los menos lluviosos (Feb.-Mar. y Ago.). Está influenciada por

los eventos El Niño y La Niña; cuenta, además, con una compleja dinámica hidrológica, con procesos permanentes de surgencias oceánicas y costeras durante los primeros meses del año al norte de Cabo Corrientes, así como efectos de cabo (Cabo Corrientes) e isla (Gorgona y Malpelo) y remolinos de alta productividad planctónica. Posee un amplio rango de mareas (máximo 6 m). En condiciones normales la temperatura varía entre 27.0 y 28.0 °C, la salinidad entre 30.0 y 34.9 y la clorofila-*a* entre 0 y 4.6 mg/m<sup>3</sup>.

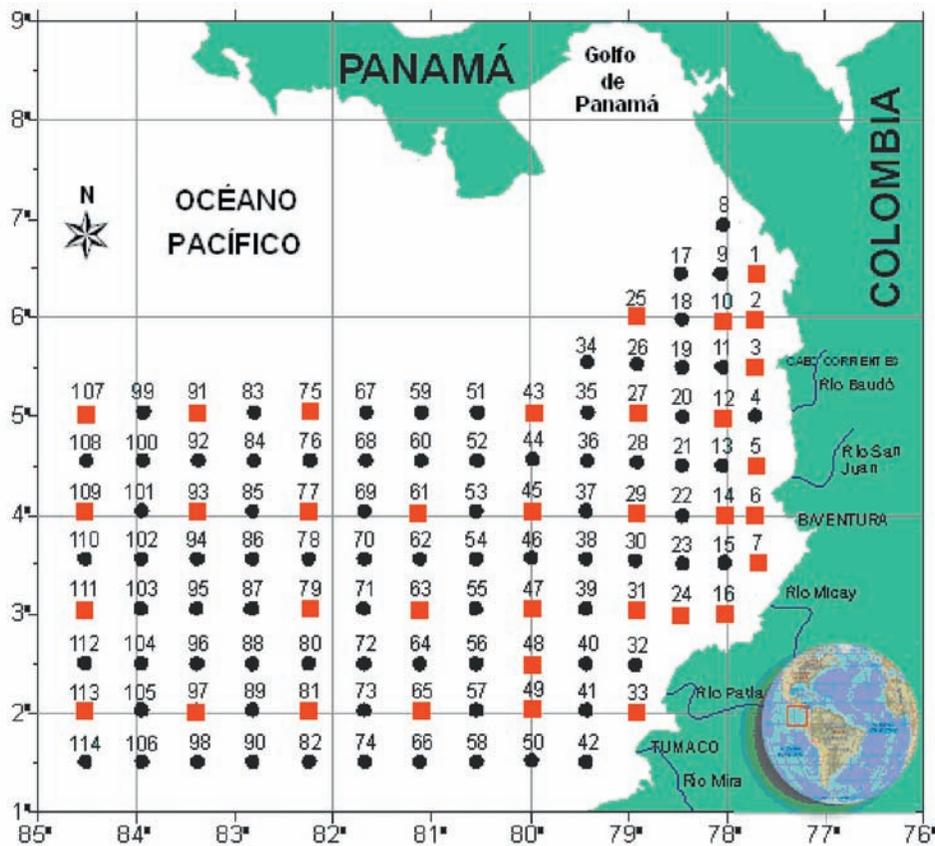


Figura 1. Estaciones ERFE en el OPC. En rojo estaciones consideradas en el presente estudio.

## METODOLOGÍA

Se efectuaron cuatro cruces de investigación en los periodos: Jun. 23 a Jul. 12 de 2001, Ago. 27 a Sep. 15 de 2001, Sep. 03 al 22 de 2002 y Sep. 01 al 21 de 2003 (nombrados en adelante: Jun.-Jul.01, Ago.-Sep.01, Sep.02 y Sep.03) para la determinación de variables abióticas, clorofila-*a* y captura de zooplancton en 30, 23 y 25 estaciones,

respectivamente (Figura 1, Tabla I). En Ago.-Sep.01 se utilizó el B/O (buque oceanográfico) ARC (Armada de la República de Colombia) Providencia y en los demás periodos el B/O ARC Malpelo.

Los datos de temperatura, salinidad y clorofila-*a* presentados aquí corresponden a la superficie, puesto que el zooplancton analizado se capturó

en ese estrato. La temperatura y la salinidad se obtuvieron con un CTD, y la concentración de clorofila-*a* (mg/m<sup>3</sup>) a partir de muestras de agua tomadas con botellas Niskin de 5 l, mediante

espectrofotometría (Clesceri *et al.*, 2001). Todos estos datos fueron suministrados por el Centro Control de Contaminación del Pacífico (CCCP-DIMAR)

Tabla I. Ubicación de las estaciones de muestreo en los cuatro periodos de muestreo en el OPC.

Estación	Ubicación		Periodo de estudio							
	Latitud	Longitud	23.Jun-12.Jul.01		27.Ago-15.Sep.01		03-22.Sep.02		01-21.Sep.03	
	Norte	Oeste	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora
1									06.Sep.	13:10
2	06°00'00"	77°75'00"	12.Jul.	18:12			16.Sep.	19:30		
3	05°50'00"	77°75'00"	12.Jul.	20:00	14.Sep.	22:30	16.Sep.	10:20	05.Sep.	13:55
5					15.Sep.	7:00	16.Sep.	0:30	12.Sep.	13:45
6	04°00'00"	77°75'00"	08.Jul.	21:45						
7					06.Sep.	9:30	16.Sep.	17:15	02.Sep.	11:24
10					14.Sep.	18:05	16.Sep.	16:00	05.Sep.	18:55
12	05°00'00"	78°00'00"	10.Jul.	2:56	15.Sep.	2:30	16.Sep.	4:40	05.Sep.	0:45
14	04°00'00"	78°00'00"	09.Jul.	0:10	08.Sep.	5:00	14.Sep.	21:30	03.Sep.	19:38
16	03°00'00"	78°00'00"	05.Jul.	8:50	15.Sep.	23:00	22.Sep.	22:15	02.Sep.	7:05
24	03°00'00"	78°50'00"	05.Jul.	4:00						
25	06°00'00"	79°00'00"	10.Jul.	18:00	13.Sep.	8:00	17.Sep.	7:00	06.Sep.	2:12
27	05°00'00"	79°00'00"	03.Jul.	16:30	12.Sep.	22:35	18.Sep.	17:30	04.Sep.	17:20
29	04°00'00"	79°00'00"	04.Jul.	8:05	09.Sep.	12:30	22.Sep.	7:00	03.Sep.	12:20
31	03°00'00"	79°00'00"	05.Jul.	0:05	05.Sep.	0:00	09.Sep.	23:00	01.Sep.	23:45
33	02°00'00"	79°00'00"	23.Jun.	18:40	27.Ago.	12:40	03.Sep.	18:15	21.Sep.	12:03
43	05°00'00"	80°00'00"	03.Jul.	9:40			19.Sep.	1:30	09.Sep.	4:59
45	04°00'00"	80°00'00"	03.Jul.	2:20			21.Sep.	18:30	02.Sep.	5:40
47	03°00'00"	80°00'00"	02.Jul.	18:30	05.Sep.	14:50	09.Sep.	14:55	15.Sep.	6:18
48	02°50'00"	80°00'00"	24.Jun.	7:20						
49	02°00'00"	80°00'00"	24.Jun.	14:30	28.Ago.	1:00	04.Sep.	6:00	21.Sep.	18:45
61	04°00'00"	81°00'00"	02.Jul.	4:05	05.Sep.	0:20				
63	03°00'00"	81°00'00"	02.Jul.	11:30						
65	02°00'00"	81°00'00"	26.Jun.	1:30	29.Ago.	10:30				
75	06°00'00"	82°00'00"	30.Jun.	0:00	04.Sep.	11:20	19.Sep.	17:15	09.Sep.	23:55
77	04°00'00"	82°00'00"	29.Jun.	6:25	03.Sep.	0:40	21.Sep.	6:00	11.Sep.	12:18
79	03°00'00"	82°00'00"	28.Jun.	23:00	01.Sep.	9:30	09.Sep.	0:38	15.Sep.	20:34
81	02°00'00"	82°00'00"	26.Jun.	9:30			06.Sep.	1:30	21.Sep.	15:18
91	05°00'00"	83°00'00"	30.Jun.	17:30						
93	04°00'00"	83°00'00"	29.Jun.	16:45	03.Sep.	9:00				
97	02°00'00"	83°00'00"	27.Jun.	1:30	03.Sep.	3:30				
107	05°00'00"	84°00'00"	30.Jun.	10:50	01.Sep.	22:20	20.Sep.	9:10	10.Sep.	16:10
109	04°00'00"	84°00'00"	29.Jun.	16:45			20.Sep.	17:15	10.Sep.	23:35
111	03°00'00"	84°00'00"	27.Jun.	21:30	30.Ago.	23:30	07.Sep.	12:05	16.Sep.	10:40
113							07.Sep.	4:00	17.Sep.	18:20

El zooplancton se obtuvo con una red cónica de 50cm de abertura y 363µm de poro, navegando en círculo a 3 nudos durante 10 minutos. Se usó un flujómetro para determinar el volumen de agua filtrada y establecer luego las abundancias y biomásas de los quetognatos por 100m<sup>3</sup>. Las muestras se fijaron con formaldehído al 10% en agua de mar. Debido a su extrema abundancia, los quetognatos se extrajeron de submuestras del zooplancton separadas con un divisor Folsom, preservando los organismos en formaldehído al 4%.

Ya que en los juveniles no se aprecian las vesículas seminales ni los ovarios, características necesarias para su determinación taxonómica, las identificaciones se restringieron a los adultos, teniendo en cuenta: forma y tamaño del cuerpo;

forma de las aletas y presencia o ausencia de radios; forma de la cabeza; número de quetas y la forma de sus bordes; posición y forma de los dientes anteriores y posteriores; forma y posición de los ojos; forma y posición de las vesículas seminales con respecto a las aletas laterales y la caudal; tamaño y forma de los ovarios; presencia o ausencia de collarete (Boltovskoy, 1981; Casanova, 1999 y García, 2003)

Como los datos no presentaron una distribución normal, ni se logró su normalización mediante las pruebas utilizadas comúnmente (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darling), se transformaron con Log(x+1) (Clarke y Gorley 2001), puesto que sólo así se obtuvo una linealización.

Con el fin de establecer si las diferencias entre las abundancias de quetognatos por periodo de estudio fueron significativas, se hizo la misma transformación por especie y periodo de estudio, y se obtuvieron las medias geométricas, además de efectuar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, aplicando como criterio de selección la probabilidad asociada a la prueba de  $X^2$  con un  $\alpha < 0.05$ . Para observar la relación de las variables bióticas y abióticas se utilizó una Correlación de Kendall, aplicando como criterio de selección la probabilidad asociada a la prueba de  $X^2$  con un  $p < 0.001$ , así como un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Hair *et al.*, 1999)

## RESULTADOS

### Temperatura

En la distribución espacial de la temperatura superficial se observó una tendencia a aumentar

de sur a norte y de la costa hacia el océano. No hubo una variación amplia entre las épocas de estudio, como lo señalan los promedios Jun.-Jul.01 = 27.10°C, Ago.-Sep.01 = 27.24°C, Sep.02 = 27.17°C, Sep.03 = 26.98°C; de hecho, las diferencias no fueron mayores de 1.62°C. Los promedios fueron ligeramente más altos durante el día que durante la noche en los periodos Sep.02 (27.20 vs. 27.14°C) y Sep.03 (27.55 vs. 27.44°C). En 2001 ocurrió lo contrario (Jun.-Jul. = 27.03 vs. 27.19°C, Ago.-Sep. = 27.19 vs. 27.28°C) (Figura 2)

### Salinidad

Se evidenció una tendencia de la salinidad superficial a disminuir de sur a norte y desde el océano hacia la costa. Los promedios fueron similares en los periodos Ago.-Sep.01 (31.75) y Sep.03 (31.87), así como en los periodos Jun.-Jul.01 (32.41) y Sep.02 (32.12). Los promedios fueron más altos durante el día, así: 32.82 día vs. 31.97 noche

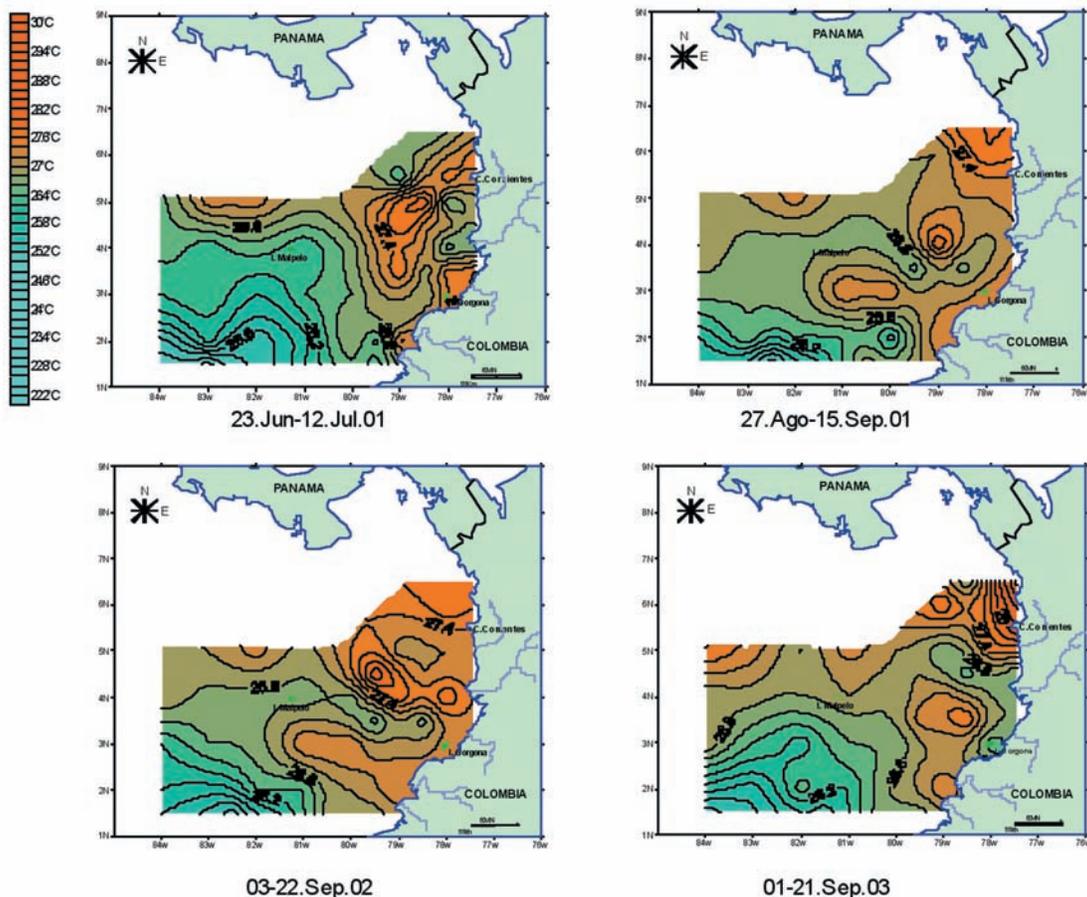


Figura 2. Temperatura superficial (°C) en el OPC en los cuatro periodos de muestreo.

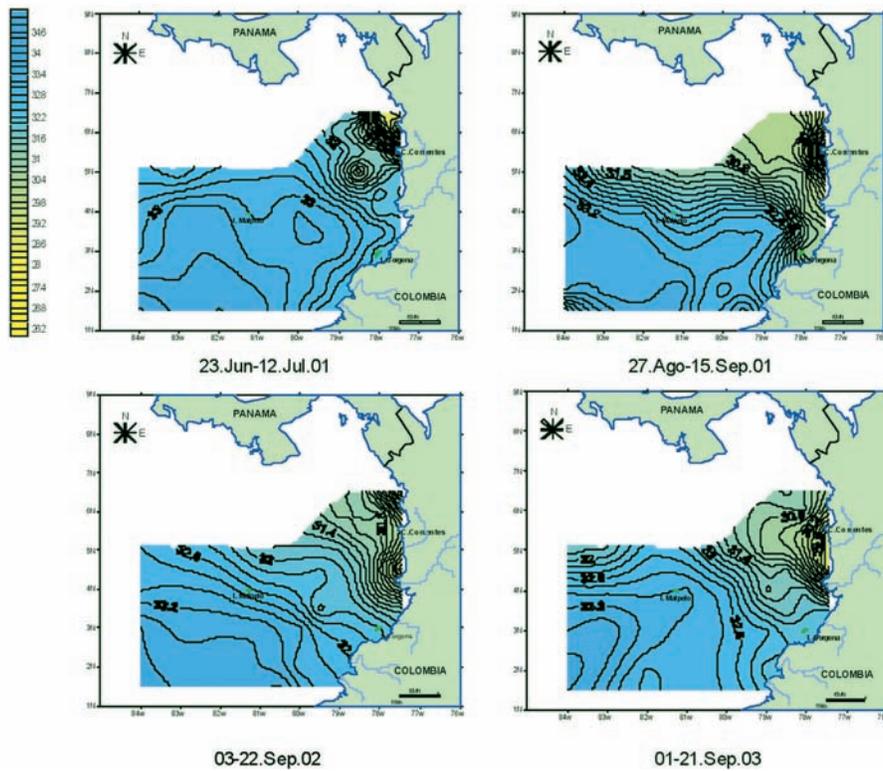


Figura 3. Salinidad superficial en el OPC en los cuatro periodos de estudio.

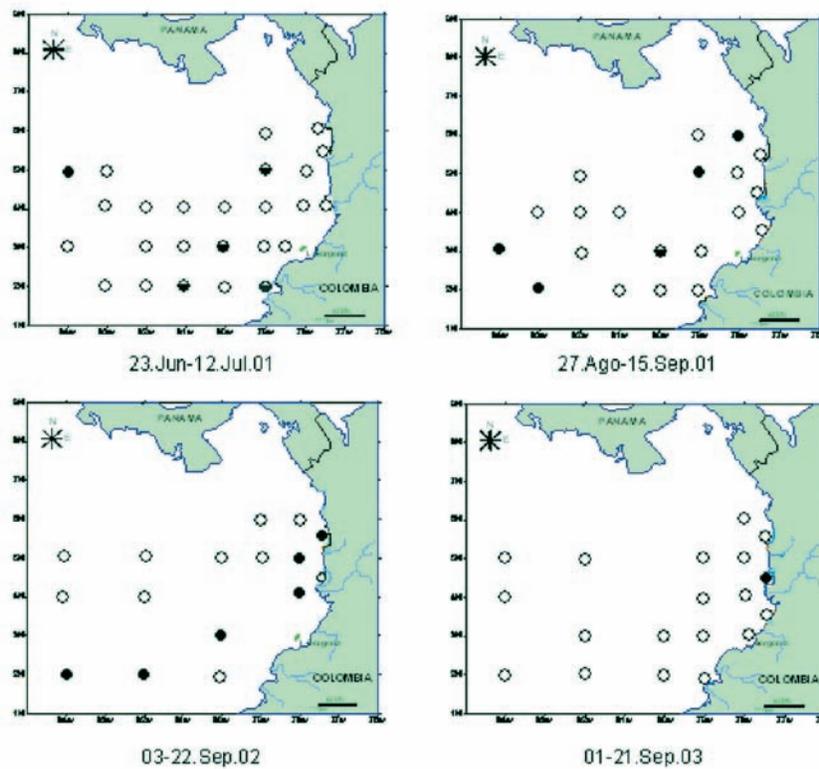


Figura 4. Clorofila-*a* superficial ( $\text{mg/m}^3$ ) en el OPC en los cuatro periodos de estudio.  $\circ < 0.5 \text{ mg/m}^3$   
 $\bullet$   $0.5-1 \text{ mg/m}^3$   $\bullet$   $> 1 \text{ mg/m}^3$ .

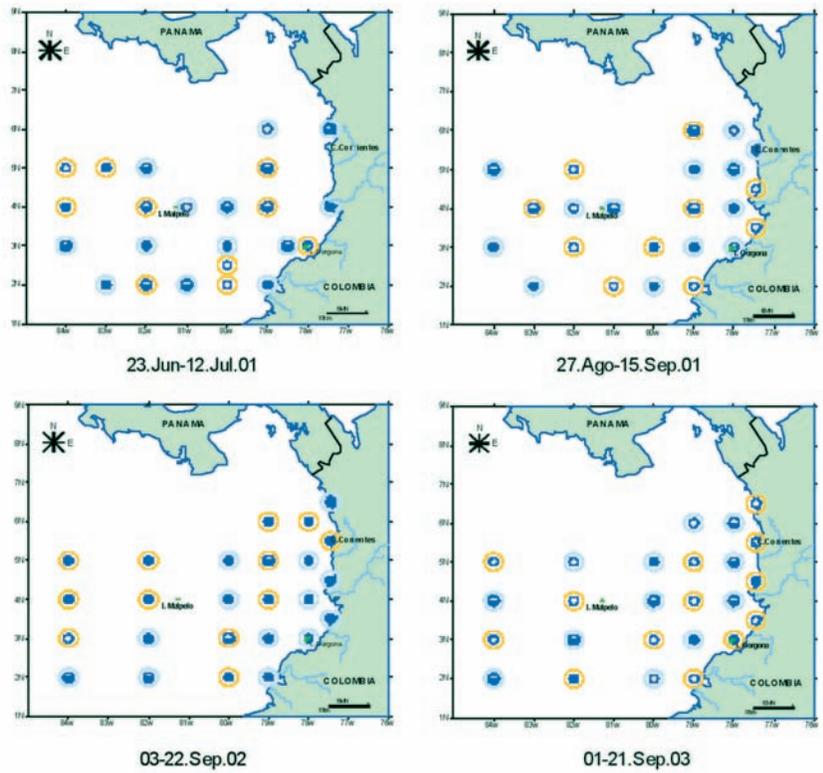


Figura 5. Abundancia de los quetognatos ( $n/100\text{ m}^3$ ) en el OPC en los cuatro periodos de estudio. ○ <math><30/100\text{ m}^3</math> ◐ 30-59/100 $\text{ m}^3$  ◑ >59/100 $\text{ m}^3$ . ◒ Día 06:00-18:00 ● Noche 18:01-05:59.

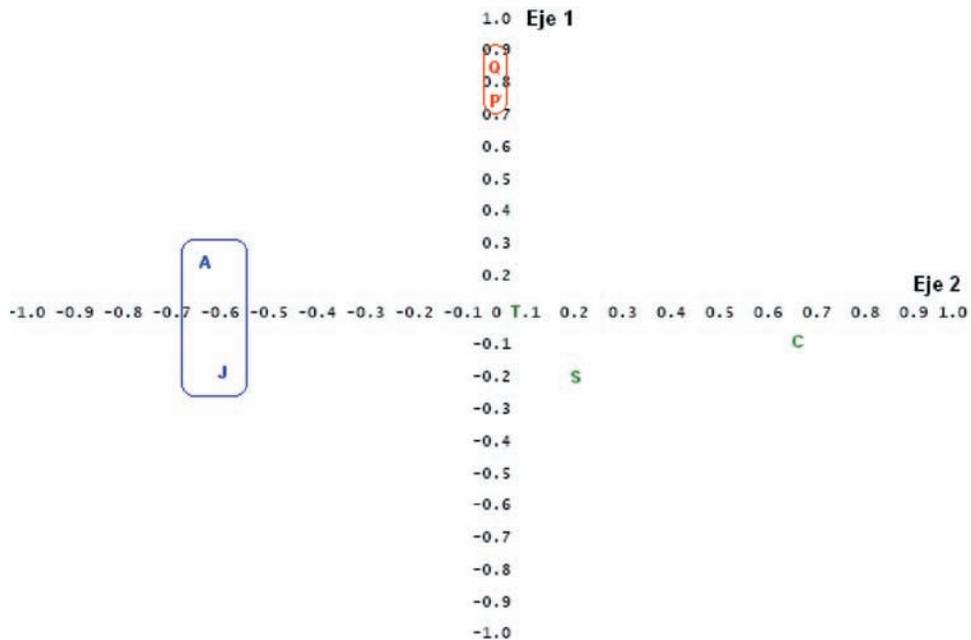


Figura 6. Grupos de factores (rojo y azul) en los dos primeros ejes en el ACP considerando los datos consolidados de los cuatro periodos de estudio en el OPC. Abundancia de quetognatos (A =adultos, J =juveniles), periodo del día (P), clorofila-a (C), salinidad (S) y temperatura (T)

Tabla II. Abundancia total de las especies de quetognatos ( $n.100\text{ m}^{-3}$ ) en los cuatro periodos de muestreo en el OPC. \*El Niño.

Taxón	Jun.23-Jul.12/01		Ago.27-Sep.15/01		Sep.03-22/02*		Sep.02-21/03		Total
	n.100m <sup>3</sup>	log(x+1)	n.100m <sup>3</sup>						
<i>Sagitta enflata</i>	175	2.2	58	1.8	1690	3.2	7	0.9	1931
<i>Sagitta hexaptera</i>	207	2.3	137	2.1	568	2.8	88	1.9	933
<i>Sagitta zetesios</i>	34	1.5	36	1.6	370	2.6	3	0.6	441
<i>Sagitta robusta</i>	133	2.1	153	2.2	134	2.1	21	1.3	422
<i>Sagitta regularis</i>	67	1.8	13	1.2	184	2.3	7	0.9	271
<i>Sagitta friderici</i>					253	2.4			253
<i>Krohnitta subtilis</i>			18	1.3	122	2.1	4	0.7	143
<i>Krohnitta pacifica</i>	1	0.3	4	0.7	115	2.1	1	0.4	122
<i>Sagitta ferox</i>					2	0.4			90
<i>Sagitta pacifica</i>	4	0.7	4	0.7	42	1.6	20	1.3	72
<i>Sagitta bipunctata</i>					60	1.8			60
<i>Sagitta serratodentata</i>	34	1.5	13	1.2	1	0.3	6	0.9	48
<i>Sagitta cf. pulchra</i>					26	1.4			26
<i>Pterosagitta draco</i>	1	0.3	2	0.5	18	1.3	1	0.4	22
<i>Sagitta neglecta</i>					11	1.1	0.04		18
<i>Sagitta bedoti</i>					2	0.4			2
Total	657		440		3598		159		4854
Media geométrica		1.2		1.2		1.4		0.8	

(Jun.-Jul.01), 32.04 día vs. 31.53 noche (Ago.-Sep.01) y 32.14 día vs. 32.08 noche (Sep.02), salvo en el periodo Sep.03 (32.21 día vs. 31.55 noche) (Figura 3)

#### Clorofila-a

La concentración de clorofila-a superficial no mostró un patrón de distribución espacial. Fue notorio su aumento en Jun.-Jul.01 ( $0.41\text{ mg/m}^3$ ) a Ago.-Sep.01 ( $0.78\text{ mg/m}^3$ ) y, sobre todo, la mayor concentración ( $1.73\text{ mg/m}^3$ ) en Sep.02, para descender abruptamente en el periodo Sep.03 ( $0.12\text{ mg/m}^3$ ) (Figura 4)

#### Abundancia de quetognatos

Los quetognatos se capturaron en todas las estaciones de muestreo en tres de las cuatro

campanas. En la primera no aparecieron en siete de las 30 estaciones, siendo su abundancia promedio la más baja ( $41/100\text{m}^3$ ), a diferencia de Sep.02 (El Niño moderado), cuando se observó el mayor promedio ( $527/100\text{m}^3$ ), que aumentó de forma notoria durante el día en la superficie ( $600/100\text{m}^3$ ), comparado con las otras tres épocas, cuando la tendencia fue a aumentar durante la noche. En Ago.-Sep.01 el promedio fue de  $64/100\text{m}^3$  y en Sep.03 de  $44/100\text{m}^3$  (Figura 5)

#### Abundancia de quetognatos vs. variables abióticas y clorofila-a

En el ACP resultaron cuatro ejes con cargas factoriales altas, de los cuales se escogieron los dos primeros, por tener las mayores cargas entre las variables consideradas. Los quetognatos, la temperatura y la salinidad superficiales no

presentaron relaciones estadísticas significativas, pero si fue clara la relación negativa entre estos organismos y la clorofila-*a*. Además, el número de quetognatos y el periodo del día se agruparon en el primer eje con valores positivos significativos (Figura 6). Es de resaltar que espacialmente se presentó simultaneidad de altas concentraciones de clorofila-*a* y de gran abundancia de quetognatos, como lo opuesto.

### Composición taxonómica

La especie más abundante y con mayor frecuencia de aparición fue *S. enflata*, seguida por *S. hexaptera*, *S. zetesios*, *S. robusta*, *S. regularis*, *S. friderici*, *Krohnitta subtilis*, *K. pacifica*, *S. ferox*, *S. pacifica*, *S. bipunctata*, *S. serratodentata*, *S. cf. pulcra*, *P. draco*, *S. neglecta* y *S. bedoti*. A diferencia de lo observado por Alvarino (1978), *S. decipiens*, *S. peruviana* y *S. minima* no se encontraron. Es de destacarse que todas las especies identificadas aparecieron en Sep.02, a diferencia de los restantes, cuando su número se redujo. Según la prueba de Kruskal-Wallis, las diferencias en las abundancias específicas generales por periodo de estudio fueron significativas ( $\alpha = 0.00024$ ;  $\chi^2 = 19.27$ ;  $Gl = 3$ ). Las medias geométricas de los logaritmos indicaron lo mismo entre los periodos El Niño moderado y un año después, pero fueron iguales en los dos periodos de 2001 (Tabla II)

### DISCUSIÓN

Las condiciones térmicas superficiales en las cuatro épocas de estudio no variaron considerablemente, en el espacio ni en el tiempo, correspondiendo a condiciones normales en el OPC (CCCP, 2002), cuando los máximos se observan cerca a la costa y los mínimos en aguas oceánicas. El hecho de que los datos de temperatura correspondieran sólo a la superficie, sin considerar la profundidad de la termoclina, puede explicar que en Sep.02 no se haya observado la influencia de El Niño moderado 2002-2003 que afectó el OPC (Devis, 2003)

La disminución de la concentración salina de sur a norte y desde el océano hacia la costa, observada en los cuatro periodos, corresponde a una distribución común en condiciones normales (CCCP, 2002). Los promedios de salinidad más elevados durante el día se explican por la mayor

evaporación en horas de luminosidad, aunque no se tienen datos al respecto, mientras que el más alto registrado durante la noche en Sep.03 posiblemente tendría que ver con afluencia de aguas de mayor salinidad.

Las concentraciones de clorofila-*a* superficial en los cuatro periodos analizados estuvieron dentro del rango de condiciones normales del OPC (CCCP, 2002). Sin embargo, también ocurrió lo observado con las abundancias de quetognatos y otros zoopláncteres, y la biomasa general de mesozooplankton (López, 2004, López et al., 2005); es decir, hubo un aumento cronológico, con el máximo en Sep.02 (El Niño moderado), para descender abruptamente en 2003.

El CCCP (2002) ha dividido el OPC en siete zonas con características distintas. La clorofila-*a* no se distribuyó de acuerdo con ellas, sino de forma muy heterogénea, en diferentes concentraciones. Teniendo en cuenta que la concentración de clorofila-*a* se considera una medida indirecta de la biomasa fitoplanctónica (Forsbergh, 1963; Clesceri et al., 2001), tal distribución corresponde a la típica del plancton en general y obedece, en primer lugar, a la hidrodinámica, que incluye procesos de transporte y retención, así como de fertilización, debidos a los aportes de nutrientes de ríos y/o a los efectos de cabo e isla que elevan la productividad primaria (Cifuentes et al., 2003). Se puede decir, entonces, que aunque en la presente prospección no se realizaron estudios al respecto, el tipo de distribución mencionada puede deberse, en particular, a la compleja hidrodinámica del OPC, como se deduce de varios trabajos (Bennett, 1963; Forsbergh, 1963; Wyrтки, 1965; Stevenson et al., 1970; Alvarino, 1978; Flóres y Rodríguez, 1992; Cantera, 1993; Tchantsev y Cabrera, 1998; CCCP, 2002; García, 2003; Uribe, 2003; Villegas, 2002, 2003a, 2003b)

La amplia distribución y abundancia de los quetognatos en el OPC ya había sido documentada (Alvarino, 1978; Pineda, 1976, 1977, 1979; Arboleda, 1988; Cely y Chiquillo, 1993; Cabrera, 1995; López, 1997; Vergara, 1999; Fonseca, 2000; Gómez y López, 2002; García, 2003; López, 2004; López et al., 2005) y corresponde a lo observado en todos los mares y océanos del mundo (Boltovskoy, 1981; Casanova, 1999). La mayor abundancia y número de especies en el periodo Sep. 03-22 de 2002 (El Niño moderado),

sugirió condiciones más beneficiosas para estos organismos; representadas, en particular, por la más alta productividad primaria y biomasa zooplanctónica, señalando una mejor oferta de alimento para el zooplancton herbívoro y carnívoro (López *et al.*, 2005), dentro del cual se cuentan los quetognatos, reconocidos como organismos muy voraces (Alvariño, 1978)

Las diferencias significativas en las abundancias por periodo (según la prueba de Kruskal-Wallis y las medias geométricas de los logaritmos) confirman lo expresado. No obstante, confrontando estos resultados (2001-2003) con la información histórica (Alvariño, 1978; Pineda, 1976, 1977, 1979; Arboleda, 1988; Cely y Chiquillo, 1993; Cabrera, 1995; López, 1997; Vergara, 1999; Fonseca, 2000; Gómez y López, 2002; García, 2003; López, 2004; López *et al.*, 2005), los quetognatos aparecen indistintamente en periodos normales, así como durante El Niño y La Niña, en densidades y distribución muy variables, lo que señala que no son útiles como indicadores de esos eventos.

Al igual que ocurrió con la clorofila-*a* y los demás grupos planctónicos (López *et al.*, 2005), no se observó una relación entre su distribución espacial y las siete zonas homogéneas en que el CCCP (2002) dividió el OPC. Estos organismos también presentaron una distribución espacial de su abundancia muy heterogénea, atribuida a las mismas razones expuestas en el caso de la clorofila-*a* y zooplancton en general (López *et al.*, 2005)

Si bien el número de estaciones día: noche no fue igual en los cuatro periodos de estudio, los mayores promedios de abundancia de quetognatos en horas de oscuridad evidenciaron desplazamiento vertical hacia la superficie, como se observó con la biomasa mesozooplanctónica (López *et al.*, 2005), lo cual se conoce hace tiempo (Cifuentes *et al.*, 2003) y se ha reportado antes en el OPC (*e. g.* López, 1984, 1997; López *et al.*, 2005), así como en otras áreas del Pacífico Oriental Tropical (Färber *et al.*, 2006)

Con excepción de Sep.02 (El Niño moderado), cuando la abundancia promedio de quetognatos aumentó en mayor medida en la superficie en el día (600/100 m<sup>3</sup>), en los demás mostró la tendencia general a incrementarse en la noche (46-88/100 m<sup>3</sup> vs. 31-36/100 m<sup>3</sup> en el día). García (2003) observó lo mismo en el OPC, entre junio y noviembre, atribuyéndolo al desplazamiento de la ZCIT hacia

el sur, lo que ocasiona nubosidad y precipitaciones altas, redundando en una menor penetración de la luz y un mejor desarrollo de la comunidad de quetognatos en las capas superficiales durante eventos El Niño y especialmente la Niña. Sobre el particular, Cifuentes *et al.* (2003) anotan que, por el fototactismo negativo, se da el descenso diurno de numerosas especies de zooplancton, comprobado por la presencia de individuos de varias especies más cerca de la superficie en días con cielo nublado que en los días despejados.

Si se tiene en cuenta la presencia en aguas superficiales de las especies mesozooplanctónicas *S. hexaptera*, *S. serratodentata* y *K. subtilis*, así como la euribatial *S. zetesios*, puede presumirse que, sumado a lo anterior, pueden existir otros factores para el aumento de quetognatos en la superficie, como el ascenso vertical de agua, común en el OPC (Villegas, 2002), que llega a originar extensas zonas de surgencia (CCCP, 2002) no caracterizadas aún.

La correlación de Kendall no fue útil, pues no se obtuvieron grados de asociación significativos, de manera que no se tuvo en cuenta. Con el ACP resultaron cuatro ejes con cargas factoriales altas, de los cuales se escogieron los dos primeros, por tener las mayores cargas entre las variables consideradas. Los quetognatos, la temperatura y la salinidad superficiales no presentaron relaciones estadísticas significativas. Se considera que esto refleja las condiciones ambientales relativamente estables en la superficie durante los cuatro periodos de muestreo y se ratifica porque especies como *S. enflata* y *S. hexaptera*, las más abundantes y más ampliamente distribuidas en el OPC, son características de tales condiciones (Alvariño, 1978). Lo anterior es similar a lo encontrado por otros autores en el área de estudio (Arboleda, 1988; Cely y Chiquillo, 1993; Cabrera, 1995; Gómez y López, 2002; Fonseca, 2000; García 2003)

Aunque se advirtió la coincidencia de alta abundancia de quetognatos y altas concentraciones de clorofila-*a* (biomasa fitoplanctónica), como también lo opuesto, estadísticamente (ACP) fue clara la relación negativa entre ambas variables. Como ya lo habían señalado López (2004) y López *et al.* (2005), se presume que esto pudo deberse a: 1. La 'exclusión animal', en la que los zoopláncteres no comparten su hábitat con el fitoplancton, desapareciendo donde éste abunda,

por ejemplo en algunas áreas de surgencia, donde la productividad primaria suele ser alta (Pipkin et al., 2001). 2. Contraposición nictimeral de hábitat. Puede suceder que la menor actividad fotosintética nocturna en superficie y la migración de algunos fitopláncteres hacia capas inferiores en el mismo periodo (Santoyo y Signoret, 1975; Smetacek, 1991; Cifuentes et al., 2003) contraste con la mayor abundancia superficial nocturna de quetognatos (Kolossova, 1972, En: Boltovskoy, 1981). 3. Relaciones tróficas indirectas. Los quetognatos son carnívoros voraces que incluyen en su dieta un amplio espectro de zoopláncteres herbívoros (Casanova, 1999), por lo que pueden abundar en ciertos lugares, en la medida que esté su alimento. García (2003) observó esto en el OPC durante los eventos La Niña de 1996 y 1998-1999, y lo atribuyó a la oferta de alimento para el zooplancton herbívoro, es decir, mayor abundancia de presas para los quetognatos.

En el ACP el número de quetognatos y el periodo del día se agruparon en el primer eje con valores positivos significativos, lo que indica que este grupo, en efecto, migra a la superficie durante la noche, como ha sido documentado ampliamente en la literatura (e. g. Boltovskoy, 1981; Casanova, 1999; Fonseca, 2000). Sin embargo, como se mencionó ya, esta relación está influenciada por otros factores como la nubosidad, pluviosidad y luminosidad (Cifuentes et al., 2003), de los que no se dispuso de datos que permitan profundizar en la discusión al respecto.

Los géneros hallados, *Sagitta*, *Krohnitta* y *Pterosagitta*, han sido reportados previamente para el OPC por varios autores y fueron compilados por García (2003), encontrando que *Sagitta* fue el más abundante, lo que coincide con lo observado en el presente estudio. Este género fue precedido de *Krohnitta* y *Pterosagitta*, a diferencia de lo observado por García (2003), quien los halló en orden inverso. Aunque Gómez y López (2002) también capturaron mayor número de ejemplares de *Sagitta*, no reportaron la presencia de *Pterosagitta* ni *Eukrohnia* en el área de estudio. Si bien el último ha sido reportado por Vergara (1999) y García (2003) para el OPC, no se presentó durante este estudio, quizás porque sus especies son batiplanctónicas e incluso tiene un representante euribatial (Casanova, 1999)

De las 25 especies registradas para el OPC

(García, 2003) se hallaron 16, lo que es considerado normal, puesto que, independientemente de las condiciones ambientales, los reportes varían entre 11 y 19 especies; las altas abundancias y mayor frecuencia de aparición de *S. enflata* y *S. hexaptera* es algo característico para el área de estudio (Alvariño, 1978; Cely y Chiquillo, 1993; Cabrera, 1995; García, 2003)

Los resultados presentes y los anteriores (García, 2003) señalan que, con excepción de *S. minima* que sólo se ha aparecido durante eventos La Niña (García, 2003), las especies de quetognatos registradas hasta ahora para el OPC no son indicadoras de eventos anómalos, debido a su aparición durante periodos normales, así como durante episodios El Niño y La Niña, en concentraciones muy variables y distribuidas espacialmente de la misma manera.

De acuerdo con Casanova (1999), las especies encontradas se pueden agrupar así: epiplanctónicas (0-200 m) (75 %): *S. enflata*, *S. regularis*, *S. friderici*, *S. robusta*, *S. bipunctata*, *S. pacifica*, *S. neglecta*, *S. ferox*, *S. bedoti*, *S. cf. pulchra*, *P. dracoy* *K. pacifica*. Mesoplanctónicas (200-500m): *S. hexaptera*, *S. serratodentata* y *K. subtilis*. Euribatial: *S. zetesios*. La presencia en aguas superficiales de especies mesozooplanctónicas, e incluso de una euribatial, es un indicativo de surgencia de aguas más profundas en el área de estudio. Aunque García (2003), López (2004) y López et al. (2005) han hecho análisis de la distribución batimétrica y superficial de las especies de quetognatos en el OPC, los resultados no son claros, debido que no se han efectuado muestreos estratificados de zooplancton y al poco conocimiento de la dinámica hidrológica del área.

## CONCLUSIONES

Las condiciones superficiales de temperatura, salinidad y clorofila-*a* en las cuatro épocas de estudio no variaron considerablemente, en el espacio ni en el tiempo, correspondiendo a condiciones normales en el OPC.

El hecho de que los datos de temperatura correspondieran sólo a la superficie, sin considerar la profundidad de la termoclina, puede explicar que en el periodo Sep. 02-23 de 2002 no se haya detectado la influencia de El Niño moderado que afectó el OPC en esa época.

El aumento cronológico de las abundancias de quetognatos, con el máximo en el periodo Sep. 03-22 de 2002, podría explicarse por mejores condiciones ambientales y disponibilidad de alimento, pese a El Niño moderado registrado en dicho periodo.

Es probable que la distribución tan heterogénea de los quetognatos, tal como ocurrió con la del resto del zooplancton y el fitoplancton, se haya debido a la compleja hidrodinámica en el OPC, que incluye procesos de transporte y retención, e incluso de fertilización, como consecuencia de los aportes de nutrientes de ríos y efectos de cabo e isla, así como el ascenso vertical de agua que origina surgencias.

Se evidenciaron desplazamientos nocturnos de los quetognatos a la superficie, propios de las migraciones circadianas que los caracterizan, pudiendo además favorecer su aumento en esa capa los procesos de surgencia, corroborado por la presencia de las especies mesozooplanctónicas: *S. hexaptera*, *S. serratodentata* y *K. subtilis*, y la euribatial *S. zetesios*.

*S. enflata* y *S. hexaptera* pueden catalogarse como especies euritípicas del OPC, por ser las más abundantes y más ampliamente distribuidas.

Excepto *S. minima*, que podría señalarse, en principio, como indicadora de eventos La Niña, las demás especies de quetognatos registradas hasta ahora en el OPC no son indicadoras de eventos anómalos, debido a su aparición durante periodos normales, así como durante episodios El Niño y La Niña, en concentraciones muy variables y distribuidas espacialmente de la misma manera.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a las campañas de campo conjuntas entre la Universidad Militar "Nueva Granada" (UMNG) y el Centro Control de Contaminación del Pacífico de la Dirección General Marítima (CCCP-DIMAR), mediante las cuales el CCCP suministró las muestras biológicas y toda la información sobre las variables consideradas para su análisis.

Se hace un especial reconocimiento a los estudiantes del Programa de Biología Aplicada de la UMNG que contribuyeron con el trabajo de laboratorio.

#### LITERATURA CITADA

Alvariño, A. 1978. El zooplancton del Pacífico Colombiano y las pesquerías. En: Mem. I Sem. Océano Pacífico Sudamericano, sep.1-5/76. Cali, Colombia, pp. 206-271.

Alvariño, A. 1985. Predation in the plankton realm; mainly with reference to fish larva. Investigaciones Marinas CICIMAR. Núm. Esp. I, (2):1-122.

Arboleda, E. 1988. Los quetognatos de la parte norte del Pacífico colombiano (Cabo Marzo-Buenaventura) durante el crucero Pacífico IX-ERFEN VI, CIOH. Cartagena, 29 pp.

Bennett, E. 1963. Un atlas oceanográfico del Pacífico Oriental Tropical, basado en los datos de la expedición EASTROPIC, octubre-diciembre de 1963. Comisión Interamericana del Atún Tropical, 8(2): 32-165.

Boltovskoy, D. 1981. Chaetognatha. En: D. Boltovskoy. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publ. Esp. INIDEP, Mar del Plata, pp. 759-791.

Cabrera, A. 1995. Variación espacio temporal de los quetognatos de la región costera del Pacífico colombiano. Bogotá, 118 pp. Trabajo de grado (Biología Marina) Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Cantera, J. 1993. Oceanografía. En: P. Leyva. Colombia Pacífico. Fondo para la Protección del Medio Ambiente „José Celestino Mutis”, Bogotá, pp. 12-23.

Casanova J. 1999. Chaetognatha En: D. Boltovskoy. South Atlantic zooplankton, Vol. 2, 869-1706. Backhuys Publishers, Leiden.

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2003.** Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. (Ed.) DIMAR. San Andrés de Tumaco: CCCP, Serie Publicaciones Especiales Vol. 1, 109 pp.

Cely, M. y E. Chiquillo. 1993. Quetognatos, sifonóforos e hidromedusas de la región costera del Pacífico colombiano. Bogotá, 78 pp. Trabajo

- de grado (Biología Marina) Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Cifuentes, J., P. Torres y M. Frías. 2003. El océano y sus recursos. V-Plancton. Fondo de Cultura Económica, México, 168 pp.
- Clarke, K. y R. N. Gorley. 2001. User Manual/ Tutorial PRIMER v 5. Plymouth Marine Lab., U. K., 91 pp.
- Clesceri, L., A. E. Greenberg y A. D. Eaton (Eds.). 2001. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation. Publs, 20th (Ed.), Washington D. C., 1325 pp.
- Devis, A. 2003. Evolución del evento El Niño 2002-2003 y efectos sobre la cuenca del Pacífico colombiano y la bahía de Tumaco. Boletín Científico CCCP, (10): 15-30.
- Färber, J., P. Fiedler, y C. Cabrera. 2006. Day-night differences in zooplankton biomass in the Eastern Tropical Pacific. Results from historical data. Book of extended abstracts, International Conference The Humboldt Current system: climate, ocean dynamics, ecosystem processes, and fisheries. Lima, Peru, Nov.27-Dec.01.06, p. 139.
- Flóres, R. y G. Rodríguez. 1992. Condiciones oceanográficas. Cruceros hidroacústicos de evaluación de peces pelágicos pequeños en el Pacífico colombiano PEC/PELAG 1991. Prog. Reg. Coop. Téc. Pes. CEE/PEC ALA/87/21, Min. Agri.-INPA, 11 pp.
- Fonseca, A. 2000. Polichaeta y Chaetognatha del Pacífico Colombiano. Cruceros oceanográficos PACÍFICO XXXIX-ERFEN XXVII/Mayo-1998; PACÍFICO XXX-ERFEN XXVIII/Octubre-1998 y PACÍFICO XXXI-ERFEN/Mayo-1999. Bogotá, 70 pp. Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Forsbergh, E. 1963. Algunas características de las variables meteorológicas, hidrográficas y biológicas en el golfo de Panamá. Comisión Interamericana del Atún Tropical, 7 (1): 55-91.
- García, X. 2003. Los quetognatos de aguas superficiales del Pacífico colombiano y su relación con algunas variables abióticas generadas por eventos climáticos El Niño y La Niña. Bogotá, 172 pp. Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Gómez, C. y R. López. 2002. Abundancia y distribución de quetognatos durante los periodos mayo-junio y noviembre de 1996 en el Pacífico Colombiano. Boletín Científico INPA, (7): 203-225.
- Hair, J., R. Anderson, W. Tatham y W. Black. 1999. Análisis multivariante. Prentice Hall Iberia, Madrid, 91 pp.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 2006. Biological Oceanography. An introduction. 2<sup>da</sup>. Ed. Elsevier, Oxford, 314 pp.
- López, C. 2004. Influencia de algunas variables fisicoquímicas y la clorofila-*a* sobre los quetognatos en el Océano Pacífico Colombiano, durante los periodos 22.Jun.-15.Jul.01, 27.Ago.-16.Sep.01, 02-23.Sep.02 y 01-21.Sep.03. Trabajo de grado, Prog. Biología Aplicada, Fac. Ciencias, Universidad Militar "Nueva Granada", Bogotá, D. C., 88 pp.
- López, R. 1984. Descripción, distribución y abundancia del ictioplancton entre 0 y 10 m de profundidad para el Pacífico colombiano. Nov.-Dic./82 (Crucero Pacífico VIII-ERFEN V). Bogotá, 231 pp. Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- López, R. 1997. Das Fischplankton der pazifischen Küstengewässer Kolumbiens, Reihe Biologie, Band 93. Tectum, Marburg, 522 pp.
- López, R. 2004. Variación espacio-temporal del mesozooplancton en el océano Pacífico colombiano durante los cruceros de la serie ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno El Niño) de 2001 y 2002. Prog. Biología Aplicada, Fac. Ciencias, Universidad Militar "Nueva Granada", Bogotá, D. C. XV Convención Científica Nacional. Mares, ríos y aguas interiores, 21-23 Oct. 04, Cartagena de Indias, www.acac.org.co.

- López, R. y C. A. Trujillo 2002. Diet composition of fish species from the southern continental shelf of Colombia. *Naga*, 25 (3&4): 23-29.
- López, R., H. J. Uribe, N. Escobar, C. A. López y D. C. Riveros. 2005. Mesozooplankton superficial del Océano Pacífico Colombiano durante los cruceros de 2001, 2002 y 2003 de la serie ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno El Niño). Inf. Final Proyecto CIAS-2003-003. Prog. Biología Aplicada, Fac. Ciencias, Universidad Militar "Nueva Granada", Bogotá, D. C., 74 pp.
- Pineda, F. 1976. Taxonomy of the Chaetognaths of the Bight of Panama. *Boletín Instituto Oceanográfico Universidad de Oriente*, 15 (2): 201-208.
- Pineda, F. 1977. Taxonomy of the Chaetognaths of the Bight of Panama. *Anales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Punta Betín*, (9): 225-240.
- Pineda, F. 1979. Seasonal Distribution of the Chaetognaths in the Bight of Panama. *Boletín Instituto Oceanográfico Universidad de Oriente*, 18 (1-2): 65-88.
- Pipkin, B. W., D. S. Gorsline, R. E. Casey, D. A. Dunn y S. A. Schellenberg. 2001. *Laboratory exercises in Oceanography*. 3rd Ed. W. H. Freeman and Company, NY, 270 pp.
- Sandoval, O. 1987. Los quetognatos: indicadores zooplanctónicos del Fenómeno El Niño. *Boletín de Lima*, (49): 17-23.
- Santoyo, H. y M. Signoret. 1975. Diversidad y afinidad del fitoplancton en un ciclo nictemeral. *En: Mem. II Simp. Lat. Ocean. Biol. U. de Oriente, Cumaná*, pp. 12-16.
- Smetacek, V. 1991. Primärproduktion der marinen Plankton-algen. *Biologie der Meere. Spektrum der Wissens. Verlag*, pp. 34-44.
- Stevenson, M., O. Guillén y J. Santoro de Ycaza. 1970. Atlas de las aguas costaneras del océano Pacífico en la América del Sur. *Serv. Ocean. Hidrog. Armada Ecuador*, 13 pp.
- Tchantsev, V. y E. Cabrera. 1998. Algunos aspectos de investigación de la formación del régimen oceanográfico en el Pacífico colombiano. *Boletín Científico CCCP*, (7): 7-19.
- Uribe, H. J. 2003. Relación entre las condiciones ambientales y la comunidad fitoplanctónica (Diatomeas y Dinoflagelados) de la Cuenca del Pacífico Colombiano (1996-2001). Bogotá, 89 pp. Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Vergara C. 1999. Quetognatos y taliáceos del Pacífico colombiano durante los meses de junio y octubre de 1996 y mayo y noviembre-diciembre de 1997. Bogotá, 98 pp. Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad Javeriana.
- Villegas, N. 2002. Evolución mensual de las corrientes verticales y zonas de surgencia en la cuenca del Pacífico colombiano-CPC. *Boletín Científico CCCP*, (9): 29-36.
- Villegas, N. 2003a. Estabilidad de las aguas del Pacífico colombiano. *Boletín Científico CCCP*, (9): 5-14.
- Villegas, N. 2003b. Variación anual del contenido de calor de la capa activa del Pacífico colombiano. *Boletín Científico CCCP*, (10): 31-42.
- Waylen, P. y G. Poveda. 2002. El Niño-Southern Oscillation and aspects of western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, (16): 1247-1260.
- Wyrtki, K. 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico Oriental Tropical. *Comisión Interamericana del Atún Tropical*, 9(5): 279-304.