

INFLUENCIA DE LOS EVENTOS CLIMATICOS EL NIÑO Y LA NIÑA EN LA COMUNIDAD DE CHAETOGNATHA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL OCÉANO PACÍFICO COLOMBIANO

Xiomara Franchesca GARCÍA DÍAZ* ; Lucia Maria de Oliveira GUSMÃO;

Yimmy HERRERA

Departamento de Oceanografía, Universidade Federal de Pernambuco

*E-mail: xiofra@yahoo.com

Resumen - Buscando determinar posibles indicadores biológicos de los eventos climáticos El Niño y la Niña, fueron analizadas la composición, abundancia y distribución de los chaetognatos de las aguas superficiales del océano Pacífico colombiano ($6^{\circ}16'00''N$ - $1^{\circ}18'00''N$; $77^{\circ}27'00''W$ - $84^{\circ}00'00''W$). Los organismos fueron colectados durante 5 cruceros oceanográficos realizados entre los años 1998 y 2000 (mayo-junio/1998; octubre/1998; mayo/1999; mayo-junio/2000 y noviembre-diciembre/2000) mediante arrastres superficiales horizontales con una red de plancton estándar de 65 μm de ojo de malla. La abundancia y distribución de los chaetognatos fue relacionada con temperatura, salinidad, clorofila-*a*, circulación superficial del mar y nutrientes disueltos (amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato), variables obtenidas simultáneamente en los cruceros oceanográficos. Para determinar posibles bioindicadores se realizó un diagrama de dispersión y un análisis de agrupamiento (Cluster). Se identificaron 19 especies, de las cuales las más abundantes fueron *Sagitta enflata*, *S. hexaptera*, *S. regularis* y *S. zetesios*. Se consideró a *Pterosagitta draco* como una especie potencialmente indicadora del evento climático El Niño y a *Sagitta minima* del evento La Niña, en el Pacífico colombiano. La clorofila-*a* indicó indirectamente, la mayor disponibilidad alimentaria para los chaetognatos durante el periodo La Niña. La relación entre la salinidad y la distribución de las especies, permitió determinar a *Pterosagitta draco* y *Sagitta pacifica* como especies de aguas oceánicas y *Sagitta bedoti* y *S. robusta* de aguas costeras del océano Pacífico colombiano.

Palabras clave: zooplancton, bioindicadores, biomasa fitoplanctónica, nutrientes, circulación superficial.

INFLUENCE OF “EL NIÑO” AND “LA NIÑA” CLIMATIC EVENTS ON THE CHAETOGNATH COMMUNITY OF COLOMBIAN PACIFIC OCEAN SURFACE WATERS

Abstract - As to identify possible biological indicators of climatic events such as El Niño and La Niña, the chaetognath composition, abundance and distribution in Colombian Pacific ocean surface waters ($6^{\circ}16'00''N$ - $1^{\circ}18'00''N$; $77^{\circ}27'00''W$ - $84^{\circ}00'00''W$) was analyzed. The organisms were collected during five oceanographic expeditions performed between 1998 and 2000 (El Niño: May-June/1998 and October/1998; La Niña: May/1999, Normal: May-June/2000, and November-December/2000) through horizontal and surface hauls using a standard net of 65 μm mesh size. Abundance and distribution of the chaetognath community were related to temperature, salinity, chlorophyll-*a*, surface circulation and dissolved nutrients (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, and silicate), obtained simultaneously during the expeditions. Possible bioindicators were determined using dispersion diagrams (explain) and cluster analysis. Nineteen species were identified, and the most abundant were *Sagitta enflata*, *S. hexaptera*, *S. regularis* and *S. zetesios*. One potential indicator of El Niño in the Colombian Pacific was *Pterosagitta draco* and of La Niña was *Sagitta minima*. Chlorophyll-*a* indicated indirectly the high trophic availability for chaetognaths during the La Niña event. The analysis of salinity ranges showed that *Pterosagitta draco* and *Sagitta pacifica* occurred in oceanic waters and *Sagitta bedoti* and *S. robusta* in coastal waters.

Key words - Zooplankton, bioindicators, phytoplanktonic biomass, nutrients, superficial circulation.

INTRODUCCIÓN

El filo Chaetognatha es un grupo destacado dentro de la comunidad zooplanctónica marina. Es predador activo de numerosos invertebrados y larvas de peces y, a su vez, es parte de la dieta de algunos peces considerados de alto interés comercial. Por esta razón cumple un papel ecológico importante en las redes tróficas y puede constituir un buen indicador de potencial pesquero (Boltovskoy, 1981). Este filo también es comúnmente usado como indicador hidrobiológico, debido a la estrecha relación existente entre su distribución y las masas de agua, su significativa abundancia en los ecosistemas marinos y su simplicidad taxonómica (Pierrot-Bults & Chidgey, 1988).

Numerosos trabajos enfocados en la distribución y abundancia de los chaetognatos y su relación con las características oceanográficas, sustentan su utilización como indicadores biológicos. La distribución de especies como *Sagitta enflata*, *S. hexaptera*, *S. pacifica* y *Pterosagitta draco*, es aparentemente independiente de las variaciones ambientales, por lo cual son consideradas de carácter euritípico (Bieri, 1957, 1959; Sund & Renner, 1959; Sund, 1961, 1964; Alvarino, 1961, 1976; Boltovskoy, 1981; Pierrot-Bults & Chidgey 1988; Casanova, 1999). Sin embargo, existe un numeroso grupo de especies estenotípicas, cuya distribución está relacionada con los movimientos de corrientes, temperatura del agua y concentración salina.

El océano Pacífico colombiano posee características climatológicas, geológicas e hidrológicas que caracterizan la composición faunística de sus ecosistemas. El conocimiento de la biodiversidad y su relación con las condiciones ambientales es una de las principales herramientas para describir los ecosistemas en condiciones normales y detectar alteraciones por causas naturales o antropogénicas. La manifestación de estas alteraciones, tanto en el océano como en la atmósfera, trae consigo consecuencias en el medio natural, generando en muchas ocasiones impactos socioeconómicos sobre los países afectados (IDEAM, 2002).

El evento El Niño - Oscilación del Sur - (ENOS) es un fenómeno atmosférico-oceánico que afecta, entre otros, a los países localizados en la franja del Pacífico sureste con una periodicidad de 2 a 7 años (Arntz & Fahrbach, 1996). La fase cálida del ENOS, denominada El Niño, se caracteriza por traer consigo el calentamiento de las masas de agua, el hundimiento de la termoclina y el aumento del nivel del mar, frente a las costas norte del Perú, Ecuador y sur de Colombia (Mauna De Los Reyes, 1994). La fase fría del ENOS conocida como La Niña corresponde a la ocurrencia de aguas sub-superficiales y superficiales frías en los sectores central y este del océano Pacífico tropical (García & Hernández, 2000).

El Centro de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP) es un instituto de investigación oceanográfica que tiene dentro de sus objetivos estudiar las condiciones oceánicas, biológicas e hidrológicas del Pacífico Colombiano y, adicionalmente, monitorear la ocurrencia

de los eventos climáticos El Niño y La Niña en esa área, como parte del proyecto ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno El Niño) realizado en conjunto por los países del Pacífico oriental suramericano. Dentro de este proyecto, el estudio de la distribución y composición del filo Chaetognatha y su relación con las variables fisicoquímicas y ambientales, amplían el conocimiento existente sobre la biota zooplanctónica del Pacífico colombiano.

MATERIAL Y MÉTODOS

TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las estaciones de colecta hacen parte de una red de trabajo utilizada semestralmente por el Centro de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP) para la realización de las expediciones PACÍFICO-ERFEN (Figura 1). La red estuvo localizada entre las latitudes 1°18'00" y 6°18'00" Norte y longitudes 77°27'00" y 84°00'00" Oeste y comprende un total de 38 estaciones en las cuales fueron colectados datos fisicoquímicos (temperatura, salinidad y nutrientes) y fueron realizadas colectas biológicas (plancton y clorofila-*a*).

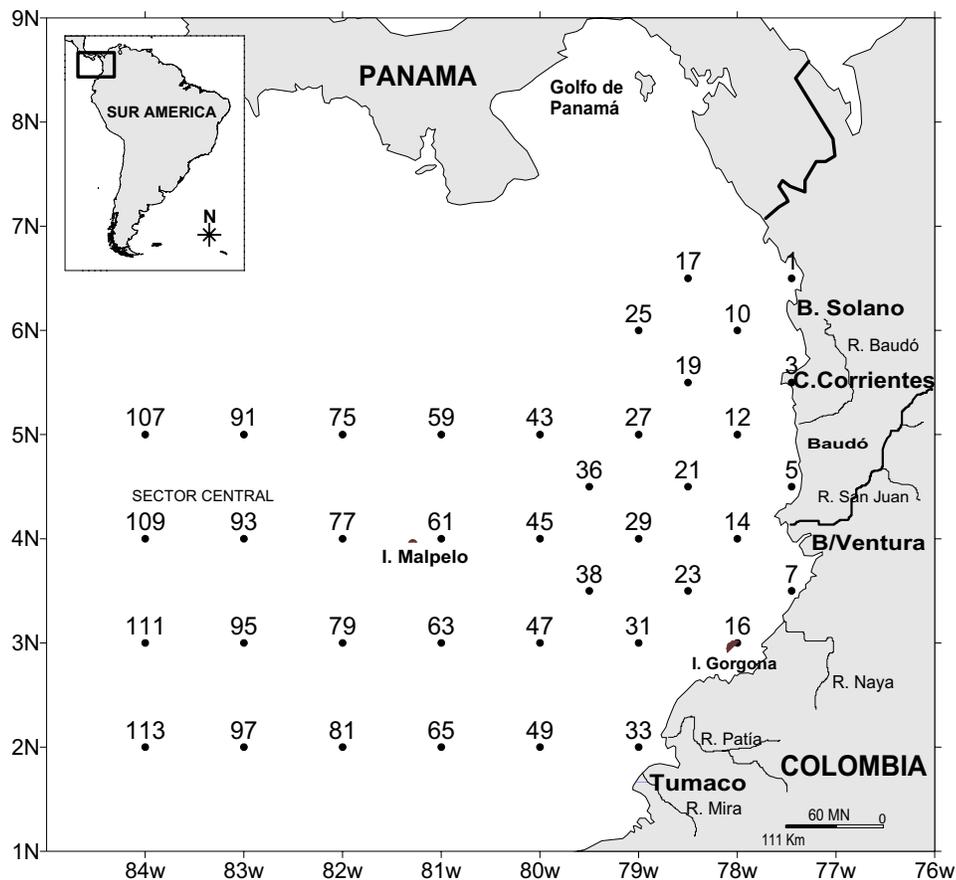


Figura 1 - Estaciones de colecta de las expediciones oceanográficas realizadas entre 1998 y 2000 en el océano Pacífico colombiano.

En este trabajo se analizaron las muestras correspondientes a 5 expediciones oceanográficas PACÍFICO-ERFEN (Mayo 9 - Junio 3/1998; Octubre 16 – 29 / 1998; Mayo 6 - 25 / 1999; Mayo 9 - Junio 1 / 2000 y Noviembre 19 - Diciembre 6 / 2000). Para la obtención de los parámetros fisicoquímicos temperatura y salinidad superficial, fue utilizado un CTD (marca Seabird Electronics tipo SEACAT 19-01). Para la determinación de clorofila-*a* y nutrientes se tomaron muestras de agua superficial con una botella Niskin de 5 litros de capacidad. La determinación de las concentraciones de clorofila-*a*, amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), ortofosfato (PO_4^{3-}) y silicato (SiO_3^{2-}), se basaron en las metodologías de Strickland & Parsons (1968).

Las muestras de plancton fueron colectadas con una red cónica estándar de 1,2 m de longitud, 50 cm de diámetro de boca, y malla de 65 μm , con un flujometro (Marca Khalsico) adaptado en la boca de la red. Los arrastres fueron horizontales y superficiales realizados en forma circular a una velocidad de 3 nudos durante 10 minutos. Las muestras fueron preservadas con formalina al 10% neutralizada con tetraborato de sodio.

Los resultados de circulación superficial del mar, para cada periodo, fueron realizados utilizando el método de las corrientes de densidad desarrollado por Sandstrom & Helland-Hansen (1903) con base en la teoría de la circulación de Bjerkness. Con esta información se elaboraron gráficas de topografía dinámica en el programa SURFER ®8.

En laboratorio, los quetognatos fueron separados de las muestras para la realización del conteo e identificación de los individuos. Se determinó la densidad (ind 1000m⁻³), abundancia relativa (%) y frecuencia de las especies encontradas en cada estación y periodo de muestreo. Con la información obtenida, fueron determinados los índices de riqueza (Hill), diversidad (Shanon-Wiener) y de equitabilidad (Pielou). Se calculó el índice de especificidad ($H'_2 = -\sum(\text{Pi} \cdot \text{Log}_2 \text{Pi})$; $\text{Pi} = n_2/N$; n_2 : número de individuos de cada especie por periodo, N : número total de individuos por periodo) para determinar especies estenotípicas (especies con distribución limitada) y euritípicas (especies con amplia distribución) (Ramirez, 1999). Fue realizado un análisis de agrupamiento (Cluster) con el método de *Weighted Pair-group Method, Arithmetic Average* (WPGMA) y coeficiente de Bray-Curtis como índice de similaridad utilizando el programa NTSYS ®2.1.

RESULTADOS

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

La temperatura superficial del mar presentó valores superiores a la temperatura promedio del océano Pacífico colombiano (OPC) en mayo de 1998 ($\bar{x} = 29,6$; $DS = 0,4$; $N = 17$) y conservó valores cercanos a la media (27 a 27,4°C) en los otros muestreos (Fig 2a). Esas altas

temperaturas encontradas en mayo de 1998 indicaron la intrusión de aguas calidas por la región oeste del OPC. En los meses posteriores, fueron observadas las menores temperaturas en el extremo sureste del OPC y las mayores en el extremo noroeste.

La distribución de la salinidad superficial presentó un patrón de valores que diferenció tres franjas paralelas a la línea de costa: una franja costera próxima a la línea de costa (24-30 UPS), una de aguas intermedias (30-32 UPS) y una región de aguas oceánicas (32-36 UPS). En los muestreos realizados en el primer periodo del año (entre mayo y junio de 98/99/00), el gradiente de salinidad fue pequeño con variaciones poco marcadas entre aguas oceánicas y costeras, generando salinidades medias altas para esos periodos (Fig 2b). Por el contrario, en los muestreos realizados en el segundo período del año (oct/98 y nov-dic/00), el gradiente fue más amplio (Fig 2b) debido al patrón de precipitaciones en el OPC (Régimen monomodal, con menores precipitaciones en el segundo semestre del año). Durante mayo de 1999 se observó un aumento atípico en las precipitaciones causado por el evento La Niña, que modificó el patrón de salinidad ($\bar{x} = 31,6$; DS = 1,8; N = 20).

Las mayores concentraciones superficiales de nitrato (valores superiores a $1\mu\text{mol L}^{-1}$) fueron registradas en los dos muestreos de 1998, durante el mes de mayo en aguas oceánicas y durante octubre en aguas intermedias (Fig 2c). Durante los otros cruceros analizados, las concentraciones fueron bajas con valores entre 0,1 y $1\mu\text{mol L}^{-1}$.

Las concentraciones de nitrito fueron predominantemente bajas, con valores entre 0,01 y $0,6\mu\text{mol L}^{-1}$ (Fig 2d). Las mayores concentraciones fueron encontradas durante mayo de 1999 en todo el OPC durante la ocurrencia del evento climático La Niña ($\bar{x} = 5,2$; DS = 6,8; N = 20).

Las concentraciones de amonio en el OPC oscilaron entre 0,1 y $0,8\mu\text{mol L}^{-1}$ (Fig 2e). Sin embargo, durante mayo de 1998 y mayo de 2000, se encontraron las concentraciones mas elevadas de todo el periodo de muestreo con valores superiores a $1\mu\text{mol L}^{-1}$ (Fig 2e).

Las concentraciones de fosfato fueron predominantemente bajas en todo el periodo de muestreo, con valores entre 0,1 y $0,9\mu\text{mol L}^{-1}$ (Fig 2f). De la misma forma que la concentración de amonio, las mayores concentraciones fueron encontradas durante mayo de 1998 y mayo de 2000, en las áreas oceánica e intermedia respectivamente.

Las concentraciones de silicato oscilaron entre 0,1 y $80,74\mu\text{mol L}^{-1}$ en todo el periodo en estudio (Fig 2g). Las mayores concentraciones fueron encontradas en el sector intermedio del OPC durante mayo de 1998 y en el sector oceánico durante mayo de 2000, con valores superiores a $60\mu\text{mol L}^{-1}$.

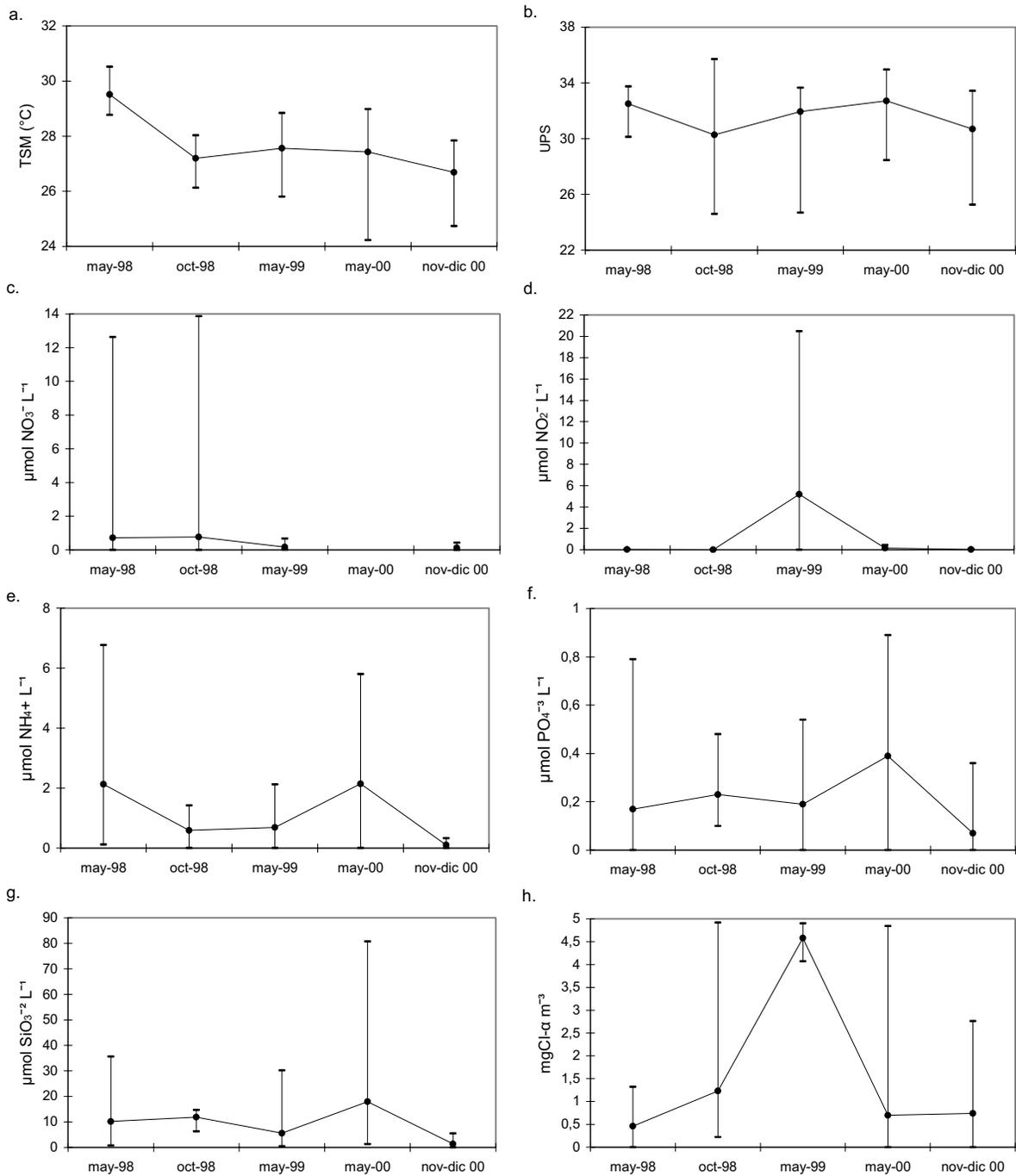


Figura 2 - Valores máximos, mínimos y promedio de las variables oceanográficas superficiales del océano Pacifico colombiano en los cinco periodo durante 1998 y 2000. 2a Temperatura (°C). 2b Salinidad (UPS). 2c Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$). 2d Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$). 2e Amonio ($\mu\text{mol L}^{-1}$). 2f Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$). 2g Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$). 2h Clorofila-a (mg m^{-3}).

Las concentraciones superficiales de clorofila-a oscilaron entre 0 y $4,92 \text{ mgCl-a m}^{-3}$ (Fig 2h). De forma general, en las épocas de bajas temperaturas, se observaron sectores de altas concentraciones en frente de la Ensenada de Tumaco y la Isla Gorgona (Figura 1), y bajas

concentraciones en el resto del OPC. Este patrón fue modificado únicamente en mayo de 1999, en el cual se presentaron altas concentraciones en todo el OPC ($\bar{x} = 4,58$; $DS = 0,23$; $N = 20$).

Los mapas de la circulación superficial del mar permitieron determinar de forma general, un movimiento ciclónico localizado principalmente en el norte del área de estudio, el cual cambió su posición longitudinal dependiendo de la época de muestreo (Figura 3). El único periodo en el que no se evidenció este patrón de circulación fue en octubre de 1998 (evento La Niña), donde se observó principalmente la formación de movimientos anticiclónicos (Figura 3b).

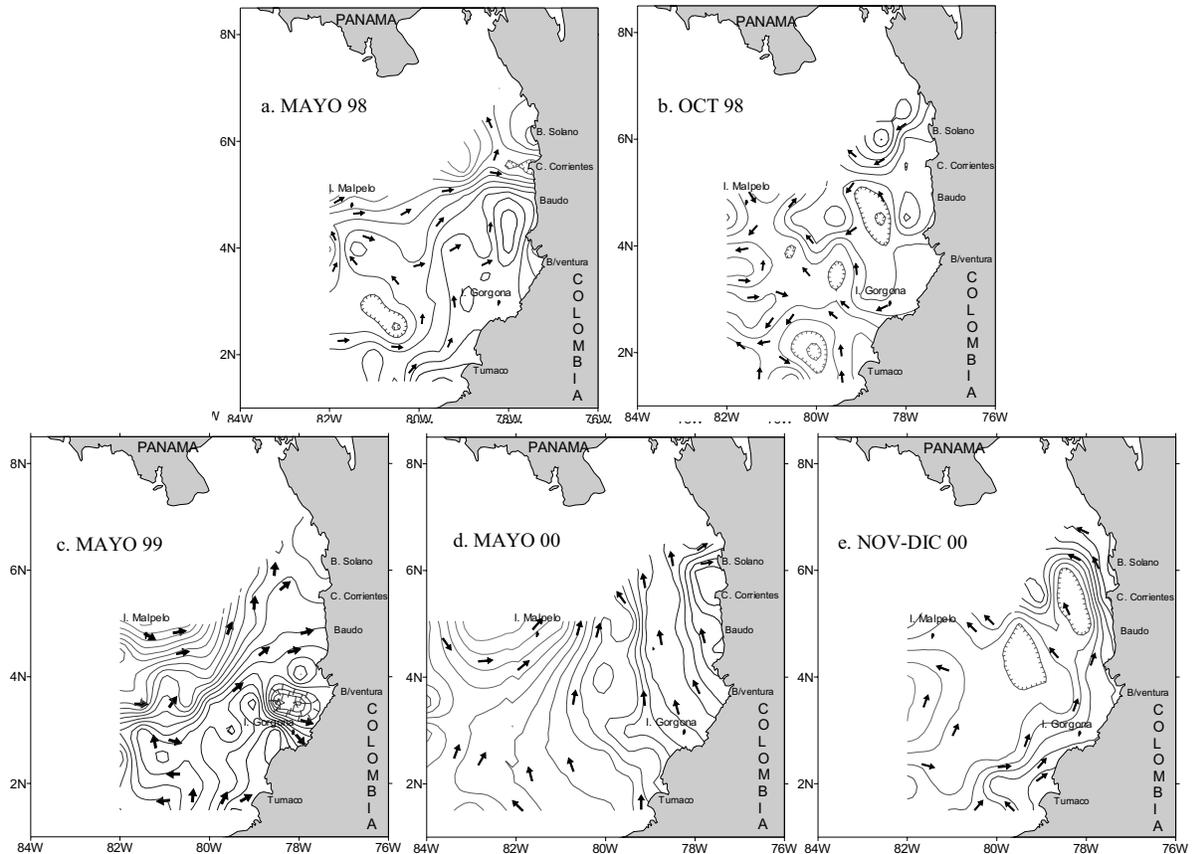


Figura 3 - a-e Circulación superficial del mar obtenida para los muestreos de 1998 a 2000 realizados en el océano Pacífico colombiano, basada en alturas dinámicas con referencia de 500 db.

COMUNIDAD DE CHAETOGNATHA

Se identificaron en total 19 especies de quetognatos en las aguas superficiales del OPC. Durante el único muestreo realizado bajo condiciones El Niño (mayo 1998) se encontraron 11 especies, dentro de las cuales *Sagitta enflata* y *S. pulchra* alcanzaron los mayores valores de abundancia (Tabla 1). Durante la ocurrencia del evento La Niña, los Quetognatos estuvieron representados por 15 especies en octubre de 1998 y por 13 en mayo de 1999 (Tabla 1).

Las especies dominantes durante ese periodo fueron *S. enflata* e *S. hexaptera*. Durante el periodo de condiciones normales (mayo y nov-dic 2000), se encontró el mayor número de especies con mayor abundancia de *S. enflata* y *S. zetesios*. Además de esas dos especies, las especies con mayores dominancias fueron *S. neglecta* y *S. regularis* en mayo y *S. robusta* en nov-dic de 2000. De acuerdo con lo observado, *S. enflata* fue una especie frecuente y abundante en el OPC, independientemente de las variaciones ambientales ocurridas durante el periodo de muestreo.

S. pulchra, *S. regularis*, *S. hexaptera*, *S. zetesios*, *S. robusta* y *S. neglecta* fueron especies que aunque fueron encontradas con abundancias relativas inferiores a las alcanzadas por *S. enflata*, obtuvieron valores representativos en algunas de las épocas de muestreo (Tabla 1). La abundancia relativa de *S. pulchra* fue favorecida durante condiciones El Niño, *S. hexaptera* durante La Niña e *S. zetesios*, *S. robusta* y *S. neglecta* durante condiciones normales.

Tabla 1 - Abundancia relativa (AR) y frecuencia (F) de las especies del filo Chaetognatha encontradas en las aguas superficiales del Pacífico colombiano, durante las colectas realizadas entre los años de 1998 y 2000.

ESPECIES CHAETOGNATHA	COD.	mayo / 98		oct / 1998		mayo / 99		mayo / 2000		nov – dic / 2000	
		El Niño		La Niña		La Niña		-		-	
		AR (%)	F (%)	AR (%)	F (%)	AR (%)	F (%)	AR (%)	F (%)	AR (%)	F (%)
<i>Sagitta enflata</i>	Sen	32,6	82	28,85	70	41,1	100	29,48	95	34,30	100
<i>Sagitta hexaptera</i>	She	4,98	24	11,27	41	11,34	90	1,28	41	6,39	72
<i>Sagitta pacifica</i>	Spa	6,08	24	8,56	26	7,3	55	0,69	5	6,00	11
<i>Sagitta bedoti</i>	Sbe	7,18	29	9,29	33	7,69	70	0,03	3	0,16	6
<i>Sagitta regularis</i>	Sre	7,18	24	4,89	15	7,47	65	10,47	73	6,35	67
<i>Sagitta zetesios</i>	Sze	3,31	12	1,34	7	1,22	10	18,08	82	14,65	100
<i>Kronhitta pacifica</i>	Kpa	4,97	24	2,69	11	1,33	15	0,47	45	1,46	44
<i>Pterosagitta draco</i>	Pdr	6,08	24	2,82	11	2,12	25	1,60	14	-	-
<i>Sagitta pulchra</i>	Spu	11,6	47	7,59	33	10,2	80	0,10	9	-	-
<i>Sagitta decipiens</i>	Sde	9,39	29	4,12	11	2,14	25	-	-	-	-
<i>Sagitta peruviana</i>	Spe	6,63	24	7,89	33	7,06	50	-	-	-	-
<i>Sagitta minima</i>	Smi	-	-	4,04	15	0,47	10	-	-	-	-
<i>Kronhitta subtilis</i>	Ksu	-	-	1,27	4	0,56	10	-	-	0,06	11
<i>Sagitta bipunctata</i>	Sbi	-	-	1,33	7	-	-	0,10	9	0,07	11
<i>Sagitta robusta</i>	Sro	-	-	4,05	19	-	-	5,10	55	10,06	89
<i>Sagitta ferox</i>	Sfe	-	-	-	-	-	-	6,50	45	3,12	33
<i>Sagitta friderici</i>	Sfr	-	-	-	-	-	-	4,10	50	6,12	83
<i>Sagitta neglecta</i>	Sne	-	-	-	-	-	-	17,80	50	9,35	89
<i>Sagitta tasmanica</i>	Sta	-	-	-	-	-	-	1,10	23	0,15	17
Juveniles no identificados	juv	-	-	-	-	-	-	3,10	36	1,76	67
TOTAL ESPECIES	19	11		15		13		15		14	

La diversidad específica del filo Chaetognatha (Figura 4) presentó bajos valores en todo el periodo de estudio ($<2 \text{ bits}^{-1}$). Las menores diversidades fueron encontradas durante mayo de 1998 en condiciones El Niño. Se observó un incremento en los muestreos de octubre de 1998 y mayo de 1999 durante condiciones La Niña. En condiciones normales, la diversidad disminuyó durante el primer periodo del año y aumentó en nov-dic, donde se observaron los valores máximos. Los valores de equitabilidad presentaron el mismo patrón que los valores de diversidad, oscilando entre 0 en las estaciones en que dominó una única especie y 0,73 en las estaciones en que las abundancias relativas fueron más equitativas (Figura 4).

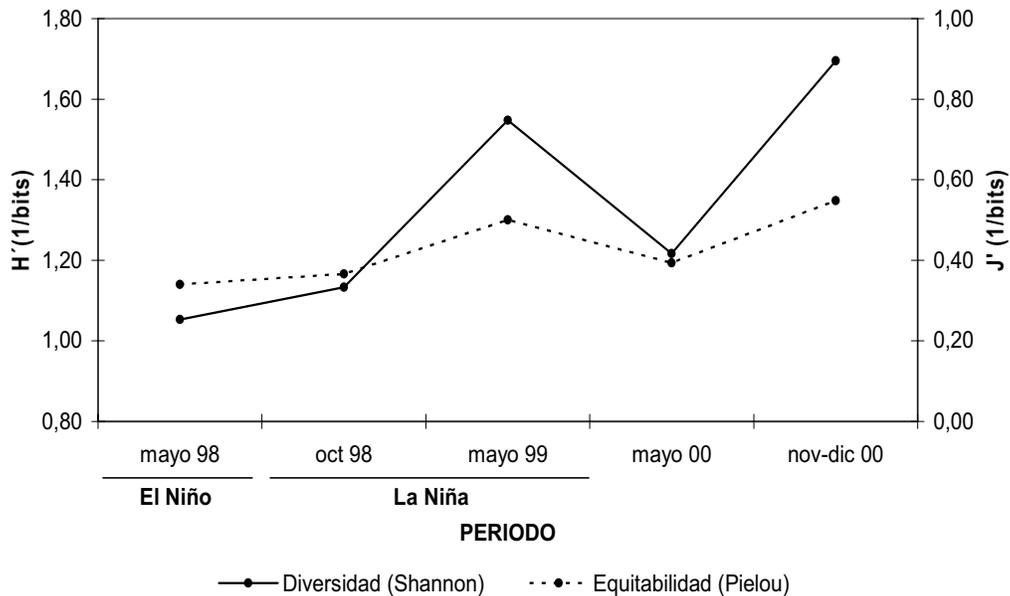


Figura 4 - Valores de Diversidad (H') y Equitabilidad (J') por periodo de muestreo de las especies de chaetognatos encontradas en las aguas superficiales del Pacífico colombiano entre 1998 y 2000.

El análisis de agrupamiento (Cluster) de las especies (coeficiente de similitud de 92%) permitió determinar la formación de tres grupos (Figura 5). El Grupo I fue formado por las especies *Pterosagitta draco*, *Kronhitta pacifica* y *S. decipiens*, *S. bipunctata* y *S. minima*. El Grupo II estuvo formado por *S. enflata*, *S. hexaptera*, *S. pulchra*, *S. pacifica*, *S. bedoti*, *S. peruviana*, *S. regularis*, *S. robusta*, *S. zetesios*, *S. neglecta*, *S. ferox* y *S. friderici*. El Grupo III agrupó dos especies: *S. tasmanica* y *Kronhitta subtilis*.

El diagrama de dispersión entre el índice de Especificidad (H'_2) de las especies encontradas en el periodo comprendido entre 1998 y 2000 y el número de muestras en las cuales cada especie se presentó, permitió determinar de forma general el carácter euritípico y estenotípico de los chaetognatos y explicar la agrupación observada en el cluster (Figura 6).

De acuerdo con los resultados, *S. enflata* fue la especie con características euritípicas mas marcadas, al encontrarse con altas abundancias en 93 de las 103 muestras colectadas. Las especies *S. hexaptera*, *S. regularis* e *S. zetesios* presentaron altas abundancias en aproximadamente la mitad de las muestras colectadas (42 a 56), considerándolas también de carácter euritípico. Por el contrario, las especies *Pterosagitta draco*, *S. decipiens*, *S. bipunctata*, *S. minima*, *S. ferox*, *S. tasmanica* y *Kronitta subtilis*, presentaron una clara tendencia estenotípica al presentarse en pocas muestras. De acuerdo con lo establecido por Ramirez (1999), las posibles especies indicadoras, serian las que se encuentran en pocas estaciones con altas abundancias, por lo tanto, las especies que reúnen estas características son: *Pterosagitta draco* e *S. decipiens*.

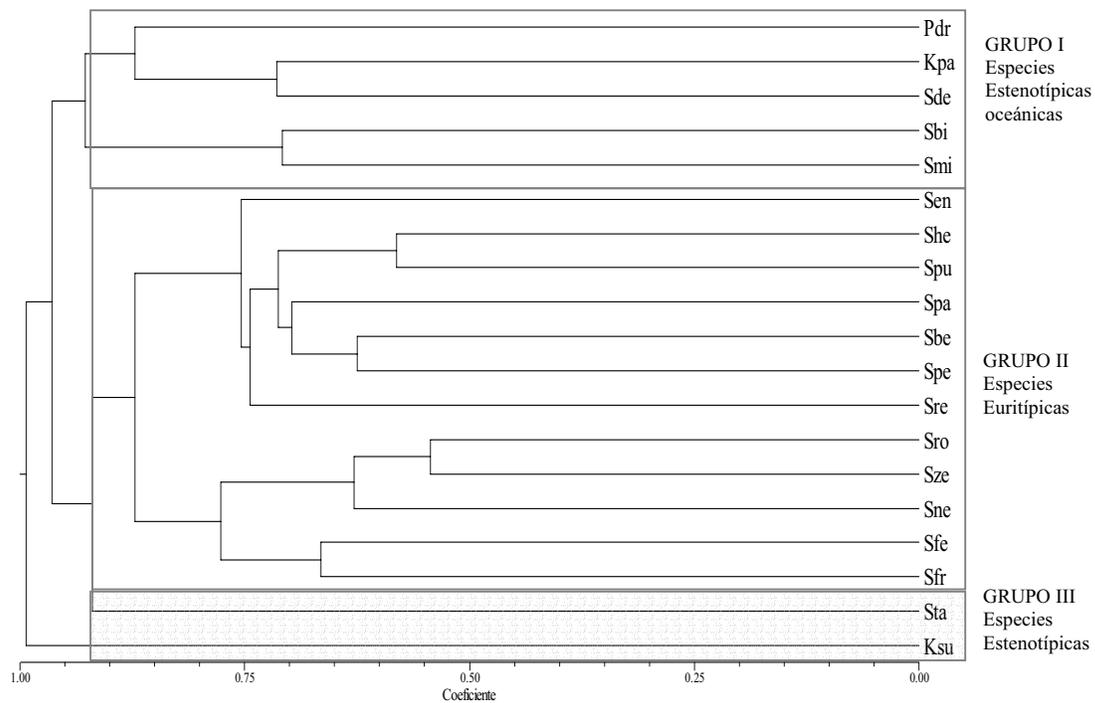


Figura 5 - Análisis de agrupamiento (Índice de similaridad de Bray Curtis) de las especies del filo Chaetognatha encontradas en las aguas superficiales del océano Pacífico colombiano (OPC) entre 1998 y 2000 (Valor cofenético, $r = 0,77$).

Comparando el análisis de agrupamiento y en el diagrama de especificidad, podemos observar que los Grupos I y III corresponden a las especies consideradas Estenotípicas, y dentro del Grupo II se encuentran las especies consideradas Euritípicas (Figura 5 y 6). Las únicas especies que presentaron diferencias fueron: *K. pacifica* (Grupo I) que en el diagrama de especificidad no fue considerada ni Estenotípica ni Euritípica, y *S. ferox* (Grupo II) que fue considerada Estenotípica.

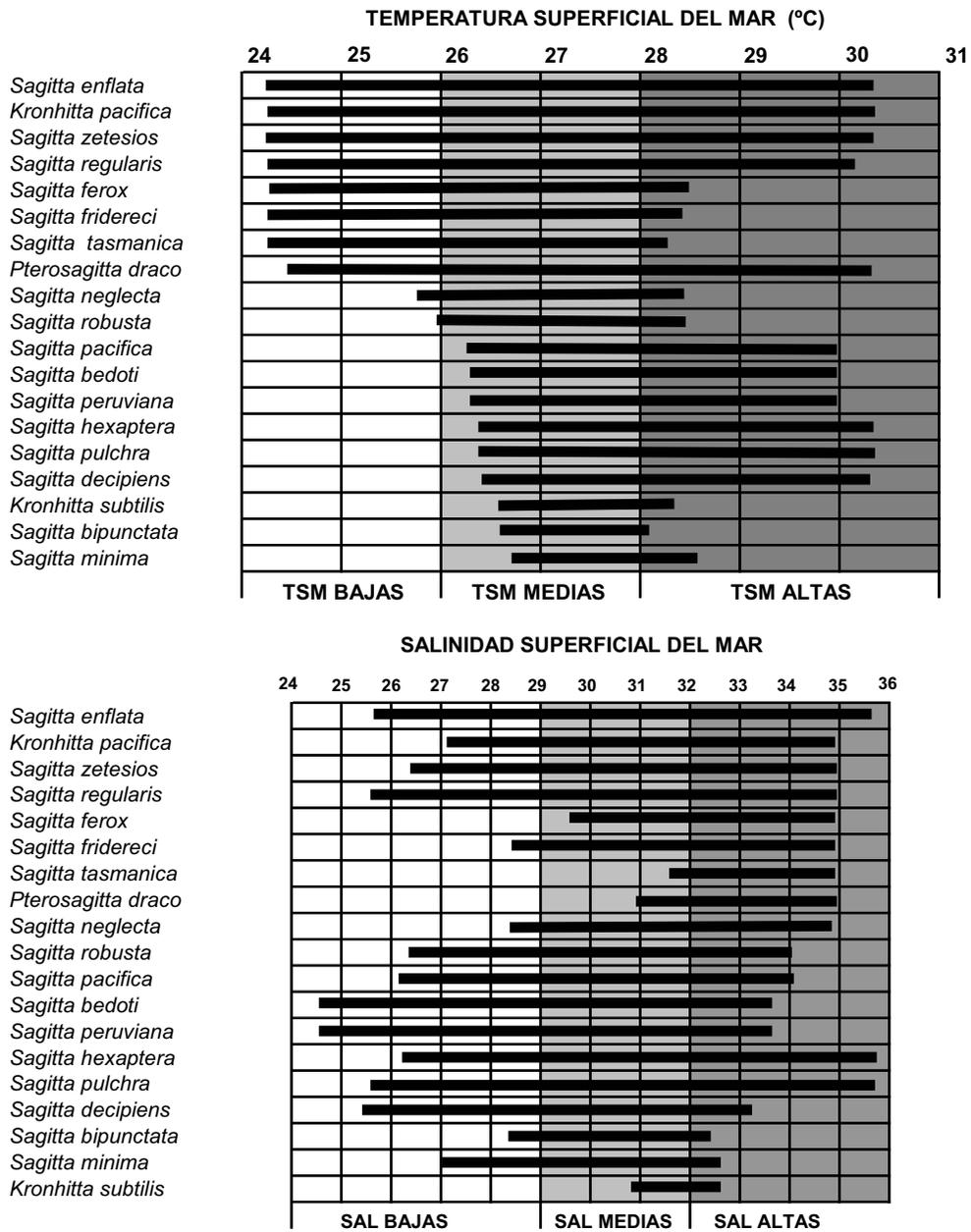


Figura 7 - Rangos de temperatura (a-arriba) y salinidad (b-abajo) superficial dentro de los cuales se encontraron las especies del filo Chaetognatha encontradas en el océano Pacifico colombiano, durante colectas realizadas entre 1998 y 2000.

DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales del OPC entre 1998 y 2000 alternaron entre varios períodos climáticos. El evento El Niño ocurrió entre marzo de 1997 y finalizó en abril de 1998, siendo unos de los eventos de mayor intensidad de los últimos años. Posteriormente, fue observado un evento La Niña entre junio de 1998 que se mantuvo hasta el primer semestre de 1999 (Camacho, Pineda, Medina, Quiceno & Tchansév, 2000; IDEAM, 1998a, 1998b). Posteriormente, no fue

observado ninguno de los dos eventos climáticos, pudiéndose considerar un periodo de condiciones normales.

Cada evento presentó variaciones en la temperatura superficial del mar determinadas principalmente por la hidrodinámica del OPC. La salinidad superficial, la concentración de clorofila-*a* y de nutrientes, fueron variables que estuvieron asociadas al régimen anual de precipitaciones.

EL NIÑO

El periodo bajo condiciones El Niño se caracterizó por altas temperaturas superficiales en todo el OPC relacionadas, principalmente, con el patrón de circulación superficial. Por el sector oeste del OPC, entre las latitudes 3 y 5°N, se observó el ingreso de un flujo de agua (Figura 7a), que presentó temperaturas superiores a 27,8°C. Este ingreso de aguas cálidas estuvo relacionado con el fortalecimiento de la Contracorriente Norte Ecuatorial durante la fase cálida del ENOS, causado por la disminución en la intensidad de los vientos alisios del sureste (IDEAM, 1998a).

Las concentraciones de amonio fueron altas durante este periodo. El amonio es la forma dominante del nitrógeno cuando no se presenta una mezcla vertical de aguas, concordando con la ausencia de surgencias debido al fortalecimiento de la Contracorriente Norte Ecuatorial (Arnzt & Fahrback, 1996). La utilización de proteínas como reserva energética en ausencia de alimento por parte de los organismos heterótrofos (Ryley & Chester 1989), también puede indicar la relación observada entre altas concentraciones de amonio y bajos valores de clorofila-*a*, siendo el amonio producto de las excretas de los organismos, y la clorofila-*a* indicadora de la abundancia fitoplanctónica.

LA NIÑA

Durante el periodo bajo condiciones La Niña, la circulación superficial del OPC no fue un factor determinante de las variables oceanográficas. Según Wirtky (1965) las aguas frías del extremo sureste del OPC son producto de la influencia de la Corriente Costera del Perú sobre el límite sur de la Contracorriente Norte Ecuatorial, que forma la Corriente de Colombia. Sin embargo, la corriente costera del Perú se encuentra con dos barreras físicas importantes que impiden su influencia en la Ensenada de Panamá. La primera es el perfil costero de América del sur, desplazando sus aguas en dirección del Pacífico central (Aproximadamente a los 15° de latitud sur) antes de alcanzar aguas colombianas. La segunda es el desplazamiento oeste-este de la Contracorriente Norte Ecuatorial. Por esta razón los valores de temperatura durante este periodo fueron semejantes a los observados en condiciones normales.

Sin embargo, las concentraciones de clorofila-*a* fueron altas en todo el OPC (>4mg m⁻³), lo que en otros periodos es observado solamente en áreas de afloramientos locales. Teniendo en

cuenta que en el Pacífico este, concentraciones superiores a 1mg m^{-3} indican áreas de alta productividad (Forsbergh & Joseph, 1964), esta condición sería considerada atípica en aguas ecuatoriales. Las regiones en el OPC en las que son comúnmente observadas estas concentraciones son la zona costera, como resultado del aporte de nutrientes de origen fluvial y alrededor de islas por surgencia topográfica (Riley & Chester, 1999). El incremento de los valores mensuales medios de precipitación, principalmente en el litoral norte y centro del OPC, favoreció la mayor descarga de nutrientes provenientes de los diversos ríos que desembocan en el litoral, favoreciendo el proceso de fertilización de las aguas. Este sería un proceso que solamente influenciaría aguas costeras, por lo cual las altas concentraciones encontradas en aguas oceánicas pudieron ser causadas por procesos químicos de regeneración de nutrientes o procesos físicos de turbulencia que contribuyeron con la mezcla de aguas profundas y superficiales durante este periodo.

CONDICIONES NORMALES

En la mayoría del OPC Las temperaturas medias fueron características durante este periodo (26 a 27,9°C). Bajas temperaturas fueron observadas en el extremo sureste del OPC y altas en el sector noreste. Las concentraciones de Clorofila-*a* probablemente estuvieron relacionadas con la hidrodinámica y topografía locales, observando los sectores de mayor concentración en frente de la Ensenada de Tumaco en mayo y en el sector de la Isla Gorgona en nov-dic de 2000.

Durante este período se puede observar más claramente el desplazamiento de la Corriente de Colombia, con un ingreso de aguas con bajas temperaturas y altas salinidades por el extremo sur. El gradiente de salinidad muestra altas salinidades en la franja costera y bajas en la región oceánica, asociado al régimen de pluviosidad. Dos sectores con altas concentraciones de clorofila-*a* fueron observados frente a la Ensenada de Tumaco y la Isla Gorgona.

CONDICIONES CLIMÁTICAS VS. CHAETOGNATHA

Se observó una relación directa entre las concentraciones de clorofila-*a* y la concentración de nitrito, observándose altos valores de estas variables durante condiciones La Niña y bajos durante El Niño. Fue observada una relación inversa entre TSM, salinidad y Clorofila-*a* con la concentración de los nutrientes amonio, fosfato y silicato. Bajas concentraciones de nutrientes son encontradas cuando altas densidades de fitoplancton los utilizan en los procesos metabólicos (Ryley & Chester, 1989). La disminución en la concentración de silicio es el resultado del crecimiento de la comunidad fitoplanctónica, principalmente de diatomáceas (Longhurst & Pauly, 1987). Entre los compuestos nitrogenados utilizados para la síntesis de proteínas por el fitoplancton, el amonio es el de mayor asimilación

(Arnzt & Fahrbach, 1996) y, por el contrario, el nitrito no es utilizado preferiblemente por esta comunidad.

La concentración de clorofila es uno de los principales indicadores de biomasa fitoplanctónica y por lo tanto de producción primaria en los océanos. Por esta razón, una alta disponibilidad de fitoplancton genera condiciones tróficas favorables para el zooplancton herbívoro y para los niveles tróficos subsecuentes. La dieta principal de los quetognatos son los copépodos (considerados componente dominante del plancton), los que a su vez se alimentan básicamente de fitoplancton y microzooplancton (Casanova, 1999). Por lo tanto, la concentración de clorofila-*a* puede ser un indicador indirecto de la disponibilidad alimentar para consumidores secundarios como los quetognatos, siendo el periodo La Niña el que generó mejores condiciones para herbívoros y predadores.

Entre las 19 especies de quetognatos encontradas, 7 se presentaron indiferentemente en todos los periodos de muestreo. Entre ellas *S. hexaptera*, *S. pacifica* y *S. bedoti* se encontraron relacionadas con áreas de altas concentraciones de clorofila-*a* y nitrito. *S. enflata* a pesar de ser la especie dominante y con mayor frecuencia en el área, se encontró mejor representada en aguas con temperaturas y salinidades altas. *S. enflata* es una especie epiplanctónica tropical-subtropical (Casanova, 1999) que, de acuerdo con los rangos de temperatura y salinidad, podría ser considerada euritérmica, eurihalina y de amplia distribución en el OPC.

P. draco es una especie epiplanctónica tropical-subtropical (Pierrot-Bults & Chidgey, 1988; Casanova, 1999), considerada de amplia distribución en aguas del Atlántico mexicano (Mille & Carrillo 1999) y del OPC (Cely & Chiquillo 1993). Durante La Niña y el período normal se encontró en todo el intervalo de temperatura y principalmente en aguas con alta salinidad, por lo cual su distribución estuvo asociada a aguas oceánicas. Sin embargo, durante El Niño se observó un desplazamiento de esta especie a la región costera, debido al predominio, en todo el OPC, de aguas oceánicas con altas salinidades y a la disminución de las precipitaciones durante ese periodo. Alvaríño (1976) reportó esta especie en el litoral del OPC durante la ocurrencia de El Niño de 1966, razón por la cual su aparición en la región costera podría ser un buen indicador de la ocurrencia de un evento cálido en su fase temprana.

K. pacifica se encontró en todas las áreas de muestreo en un amplio rango de temperatura y salinidad sin un patrón definido de distribución. Sund & Renner (1959) registraron esta especie epiplanctónica ausente de la Corriente del Perú y de California, por lo que su distribución puede estar relacionada con el ingreso de la Contracorriente Norte Ecuatorial al OPC. Sin embargo, al igual que *S. decipiens* y *S. peruviana* durante El Niño, época de la mayor influencia de las aguas cálidas de la Contracorriente Norte Ecuatorial, se encontró en el sector costero sur y centro, en donde se obtuvieron las menores temperaturas.

S. peruviana se encontró en rangos de temperatura medios y de salinidad altos. Durante condiciones El Niño se registró en la zona costera; durante la Niña amplió su distribución y durante condiciones normales se ausentó del OPC. Sund (1964) describe esta especie como indicadora de aguas ecuatoriales tropicales y sugiere que su presencia en aguas peruanas, está relacionada con el ingreso hacia el sur de la Contracorriente del Perú, que desplaza aguas cálidas ecuatoriales.

S. decipiens fue observada con mayores abundancias en la zona costera sur del OPC durante El Niño; posteriormente, se encontró en todo el OPC durante La Niña y desapareció durante condiciones normales. Sin embargo, no presentó un patrón definido de distribución en el OPC.

S. regularis se presentó en todas las temperaturas y salinidades, viéndose favorecida por temperaturas medias y salinidades altas. En el océano Pacífico, es una especie raramente registrada en la Corriente del Perú y de California, por lo cual su presencia generalmente indica una intrusión de aguas de origen ecuatorial (Bieri, 1957, 1959; Sund & Renner, 1959; Sund, 1961, 1964).

S. hexaptera es una especie mesoplanctónica tropical-subtropical (Pierrot-Bults & Chidgey, 1988; Casanova, 1999), que predominó en áreas con valores medios de temperatura y fue encontrada en aguas oceánicas de alta salinidad, principalmente durante los periodos de mayor pluviosidad y durante el evento La Niña.

S. bedoti se encontró en aguas con temperaturas entre medias y altas, y con mayor abundancia en aguas con bajas salinidades exhibiendo un carácter costero, modificado únicamente durante La Niña, al distribuirse de todo el OPC. Cely & Chiquillo (1993) reportaron también esta especie en aguas costeras.

S. pacifica se presentó en todas las épocas de muestreo, distribuida en amplios rangos de temperatura y salinidad, principalmente en el sector oceánico central del OPC. En este estudio, su abundancia se vio favorecida durante condiciones La Niña. Arboleda (1988) y Cely & Chiquillo (1993) la reportaron como una especie oceánica en al OPC en periodos de condiciones normales, al igual que lo reportado en este estudio. Alvariño (1976) y Cabrera (1995) detectaron, en el OPC, el incremento en sus abundancias durante condiciones El Niño.

La abundancia relativa y frecuencia de *S. pulchra* se vio favorecida en aguas con altas temperaturas sin limitaciones por los valores de salinidad. Esta especie se encuentra mejor distribuida en el sector oeste del OPC y ausente de la región sur en donde generalmente son encontradas aguas frías, por esta razón su distribución puede estar relacionada con el ingreso de la Contracorriente Norte Ecuatorial en el OPC. Alvariño (1976) observó ese patrón de distribución durante la ocurrencia de El Niño de 1966.

Los individuos colectados de *S. tasmanica* corresponden al único reporte de esta especie en el OPC. Bieri (1959) registró a *Sagitta* sp. en aguas intermedias del Pacífico tropical como una especie probablemente correspondiente a *S. tasmanica*; Pierrot-Bults & Chidgey (1988) reportan esta especie como oceánica y epipelágica, comúnmente encontrada en el sur del océano Pacífico, por lo cual este trabajo ampliaría la distribución de esta especie a aguas tropicales.

S. ferox se relacionó con el ingreso de aguas frías por el sector sur durante condiciones normales, y se ausentó durante El Niño y La Niña. Gómez & López-Peralta (2002) reportaron esta especie durante condiciones La Niña, por lo cual su distribución puede estar relacionada con aguas de bajas temperaturas y altas salinidades.

S. neglecta y *S. friderici* se presentaron exclusivamente durante condiciones normales con distribuciones y abundancias semejantes. Se encontraron principalmente en aguas costeras, en los sectores donde fueron observados sectores de altas concentraciones de clorofila-*a*. La especie *S. neglecta* es considerada una especie ecuatorial y centro-oeste en el Pacífico y relacionada con áreas influenciadas por aguas continentales (Bieri, 1959; Cely & Chiquillo, 1993). *S. friderici* fue registrada previamente como una especie nerítica de aguas superficiales (Hossfel, 1996) y presente en aguas del Golfo de Panamá (Bieri, 1959, Sund & Renner, 1959).

S. zetesios es considerada una especie de profundidad con amplia distribución (Casanova 1999), relacionada con aguas de bajas temperaturas (Alvariño, 1976; Cely & Chiquillo, 1993). A pesar de encontrarse en todos los períodos de muestreo con amplia distribución, sus mayores abundancias estuvieron relacionadas con aguas frías oceánicas, por lo que podría pensarse que su presencia en superficie puede estar relacionada con áreas de surgencias locales.

S. robusta se encontró en aguas con bajas salinidades, distribuyéndose principalmente en el sector costero y favorecido en los periodos con mayores precipitaciones. En aguas del OPC, había sido reportada como nerítica y rara por Arboleda (1988).

S. minima fue la única especie que se presentó exclusivamente durante el evento La Niña. *S. minima* se caracteriza por ser epiplanctónica y presentar una distribución bilateral subtropical (Casanova, 1999), siendo reportada en el OPC únicamente a 100m de profundidad (Alvariño, 1976). Su presencia en aguas superficiales puede ser un indicador de los posibles afloramientos locales observados durante el evento La Niña.

S. bipunctata considerada epiplanctónica y tropical-subtropical (Bieri, 1959; Pierrot-Bults & Chidgey, 1988; Casanova, 1999), se presentó con bajos valores de abundancia y frecuencia en estaciones costeras durante El Niño y el comienzo de La Niña.

K. subtilis presentó bajas abundancias y frecuencias en todos los periodos de muestreo, mostrando ser una especie estenotípica en el OPC. Sus poblaciones se relacionan generalmente con profundidades intermedias, presentándose en superficie solamente cuando ocurren ascensos

de agua (Bieri, 1959; Sund, 1961, 1964). Su presencia en el sector oceánico durante La Niña, donde se observó un giro ciclónico generalmente relacionado con ascensos de aguas (Rodríguez & Schneider 2003) al igual que en nov-dic de 2000 en el sector costero norte, podría señalarla como una posible especie indicadora de de surgencias en el OPC.

Los resultados obtenidos permitieron determinar la modificación de la distribución y abundancia de algunas especies del filo Chaetognatha en condiciones normales, durante la ocurrencia de los eventos climáticos El Niño y La Niña.

CONCLUSIONES

Durante condiciones cálidas El Niño, las especies *Pterosagitta draco*, que en condiciones normales se presentó en aguas oceánicas, y *S. hexaptera* y *S. zetesios* de amplia distribución en todo el OPC, se desplazaron al sector costero sur del área de estudio. Este sector se caracterizó por presentar las menores temperaturas que fueron las más favorables para estas especies ante las modificaciones oceanográficas causadas por El Niño en el Pacífico colombiano.

Los índices de diversidad, equitabilidad y riqueza, ratificaron la influencia de condiciones El Niño sobre la comunidad de chaetognatos, disminuyendo el número de especies y aumentando la dominancia de especies termófilas. En condiciones La Niña y normales, los índices aumentaron, favoreciendo la equitabilidad de las especies y la presencia de especies comunes en aguas frías.

Se observaron dos especies que pueden tenerse en cuenta en futuros estudios como indicadores de El Niño y La Niña en el Pacífico Colombiano. *Pterosagitta draco*, cuya presencia en aguas costeras puede indicar la ocurrencia temprana del evento El Niño y *S. minima* que se presentó exclusivamente durante el evento La Niña.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Control de Contaminación del Pacífico, por facilitar las muestras e información para este estudio. Al Ing. Oceanólogo Alex René Pineda por la información de circulación superficial del océano Pacífico colombiano. Al Biólogo Marino Julian Uribe Palomino, a la ingeniera ambiental y oceanógrafa Ph.D. Sigrid Neumann Leitão y al oceanógrafo Ph.D. Manuel Flores por las sugerencias y aportes.

REFERENCIAS

Alvariño, A. (1976). El zooplancton del Pacífico Colombiano, las características oceanográficas y su potencial pesquero. In: *I Seminario sobre el Océano Pacífico Sudamericano* (pp.206 – 279) Cali. Colombia: Memorias.

Alvariño, A. (1961). Two new Chaetognaths from the Pacific. *Pac. Sci.* 15(1): 67-77.

- Arboleda, E. (1988). *Los quetognatos de la parte norte del Pacífico Colombiano (Cabo Marzo - Buenaventura) durante los cruceros PACÍFICO IX ERFEN VI – Mayo-Julio*. Cartagena: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). Armada Nacional. Dirección General Marítima (DIMAR).
- Arntz, W. & E. Fahrbach (1996). *El niño, experimento climático de la naturaleza*. México (D.F): Fondo de Cultura Económica.
- Bennet R. (1997). The Chaetognath fauna off Peru in 1941. *Pac. Sci.* 11: 255-264.
- Bieri, R. (1959). The distribution of the planktonic Chaetognatha in the pacific and their relationship to the water masses. *Limn. and Ocean.* 4(1): 1 - 28.
- Bieri, R. (1957). The Chaetognath fauna off Peru in 1941. *Pac. Sci.*, 11: 255-264.
- Boltovskoy, D. (Ed.)(1981). *Atlas de zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Mar del Plata, Argentina: INIDEP.
- Cabrera, A. (1995) *Variación espacio-temporal de los quetognatos de la región costera del Pacífico Colombiano* [Monografía de Graduação] Santafe de Bogotá (D. C.): Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Camacho G., Pineda R., Medina, L., Quiceno, A. & V. Tchansév (2000). *Características del comportamiento oceanográfico y fitoplanctónico durante mayo de 1999. Crucero Pacifico XXXI ERFEN XXIX*. San Andrés de Tumaco, Colombia Armada Nacional. Dirección General Marítima. Centro de Control Contaminación del Pacífico.
- Casanova, J.P. (1999). Chaetognatha. In: Boltovskoy, D. (Ed.). *South Atlantic Zooplankton* (pp.1353-1374). Leiden: Brackuys Publishers.
- Cely, J. & H. Chiquillo (1993) *Quetognatos, Sifonóforos e Hidromedusas de la region costera del Pacífico Colombiano*. [Monografía de Graduação] Santafe de Bogotá (D. C): Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Hossfeld, B. (1996). Distribution and Biomass of arrow worms (Chaetognatha) in Golfo de Nicoya and Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44 (3): 157-172.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2002). *Efectos naturales y socioeconómicos del Fenómeno del Niño en Colombia*. Bogotá (D. C): Ministerio del Medio Ambiente.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (1998a). *Condiciones ambientales en Colombia, Julio de 1998* Bogotá (D. C.): Ministerio del Medio Ambiente.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (1998b). *Fenómeno Frío del Pacífico "La Niña"*. Bogotá D. C.-Colombia: Ministerio del Medio Ambiente. <http://www.ideam.gov.co>

Forsbergh, E. (1969). Estudio sobre la climatología, oceanografía y pesquerías del Panama Bight. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.* 8 (9): 261-331.

Forsbergh, E. & J. Joseph (1964). Producción biológica en el oceano Pacífico oriental. *Bol. Com. Interam. Atun Trop.*, 8 (2): 478-527.

García, R. & E. Hernández (2000). *El Niño: Climatología, efectos y predilección*. Madrid: MAPFRE.

Gómez, M.J. & R.H. López-Peralta (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.

Longhurst, A. & D. Pauly (1987). *Ecology of tropical oceans*. San Diego: Academic Press, Inc.

Mauna de los Reyes, J. (1994). *Distribución de tunicados planctónicos y quetognatos en el Pacífico Colombiano y su relación con el fenómeno del Niño 1991-1992*. [Monografía de Graduación] Cali: Universidad del Valle.

Mille, S. & J. Carrillo (1999). Los Quetognatos (Chaetognatha) del Banco de Campeche en abril-mayo de 1986. *Rev. Biol. Trop.* 47 (1-2): 101-108.

Pierrot-Bults, A.C. & K.C. Chidgey (1988). *Chaetognatha, Synopses of the British fauna (New series)*. No. 39, Leiden: The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-sciences Association.

Riley, J.P. & R. Chester (1989). *Introducción a la química marina*. México: AGT Editor, S.A.

Rodriguez, E. & W. Schneider (2003), On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.* 30 (7): 63-66.

Rueda, C.; Beltrán-León, B.; Delgado, F. & A. Velasco (1992) *Ictioplancton de las familias Clupeidae y Engraulidae en el Pacífico Colombiano. Cruceros PEC-PELAG 1991*. Buenaventura: INPA.

Sandstrom, J. W. & B. Helland-Hansen (1903). Über die Berechnung von Meeresströmungen. *Reports on Norwegian Fishery and Marine Investigations* 2 (4): 1-43.

Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons (1968). *A practical handbook of sea water analysis*. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.

Sund, P. (1961). Algunas características de la autoecología y distribución de los quetognatos en el Pacífico Oriental Tropical. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.*, 5 (4): 306-340.

Sund, P. (1964). Los quetognatos en las aguas de la región del Perú. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.*, 4 (3): 114-216.

Sund, P. & J. Renner (1959). Los quetognatos en la expedición EASTROPIC, con apuntes sobre su posible valor como indicadores de las condiciones oceanográficas. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.*, 3 (9): 394-436.

Tchansev, V. & E. Cabrera (1998). Algunos aspectos de investigación de la formación del régimen oceanográfico del Pacífico Colombiano. *Boletín Científico CCCP*, (7): 7-19.

Wirtky, K. (1965). Corrientes superficiales del Océano Pacífico Tropical. *Bol. Com. Interam. Atun Trop.*, 9 (5): 279-304.✻