

Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) en el Golfo de Tehuantepec

Annual abundance variation of *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) in the Gulf of Tehuantepec

Pedro Cervantes-Hernández¹, Blanca Sánchez-Meraz¹
Saúl J. Serrano-Guzmán¹, Alfredo Frías-Velasco¹
Sebastián Ramos-Cruz² y Adolfo Gracia³

¹ Universidad del Mar - Puerto Ángel, Distrito de San Pedro Pochutla, A. P. 47
Puerto Ángel, Oaxaca, 70902, México

² Programa Camarón del Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación
Pesquera - Salina Cruz, Oaxaca, 70680, México

³ Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM (Laboratorio de Ecología
Pesquera de Crustáceos). Apdo. Postal 70-305. México, D.F., 04510, México
e-mail: pch@angel.umar.mx

Cervantes-Hernández P., B. Sánchez-Meraz, S. J. Serrano-Guzmán, A. Frías-Velasco, S. Ramos-Cruz y A. Gracia. 2008. Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 18(3): 215-226.

RESUMEN

La variación interanual de la abundancia de reclutas (índice FR) y reproductores (índice DA) de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900), se modeló empleando a los grupos de edad relacionados con los procesos naturales de reclutamiento y reproducción en el Golfo de Tehuantepec (GT). El índice FR fue modelado con el grupo de cuatro meses y el índice DA con los grupos de seis a 11 meses. Se cuantificó la relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) y ambos índices poblacionales de 1989 a 1998, y adicionalmente, entre éstos y la concentración de Clorofila *a* (Cl_a) de noviembre 1996 a mayo 1998. En ambos intervalos, la TSM tuvo una correlación directamente proporcional con FR e inversamente proporcional con DA. En el segundo intervalo, la Cl_a fue mayor durante los máximos DA ($R = 0.5627$) y menor durante el máximo FR ($R = -0.6887$). La correlación entre la TSM y Cl_a fue de $R = -0.6452$. Entre octubre/noviembre y enero, la abundancia de reproductores fue mayor a la de reclutas. Los máximos DA coincidieron con los máximos Cl_a y los mínimos TSM durante la temporada de nortes o "tehuanos". El reclutamiento masivo al ambiente marino, se observó entre julio y agosto/septiembre, cuando las condiciones oceanográficas en el GT fueron inversas a las descritas para el índice DA. La variación interanual de la abundancia de los índices FR y DA se mantiene aún con la presencia de "El Niño" en el GT, pero su abundancia disminuye.

Palabras Clave: Reclutamiento, reproducción, camarón café, clorofila *a*, Golfo de Tehuantepec.

ABSTRACT

The annual abundance variation of recruits (FR index) and spawners (DA index) of *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) was modeled with age groups related with the natural processes of recruitment and reproduction in the Gulf of Tehuantepec (GT). The FR index was modeled using the age group of four months and the DA index with the age groups from six to 11 months. The relationships between the sea surface temperature (SST) and both population indices from 1989 to 1998 were quantified, between these and the concentration of the Chlorophyll *a* (Cl_a) from November 1996

to May 1998. In both intervals, the SST had a correlation directly proportional with FR and inversely proportional with DA. In the second interval, the *Cl_a* was greater during the two maximums abundance DA ($R = 0.5627$) and lesser during the maximum FR ($R = -0.6887$). The correlation between the SST and *Cl_a* was estimated in -0.6452 . Between October/November and January, the spawners abundance was greater than the abundance of recruits. The maximums DA agreed with maximums of *Cl_a* and minimum SST during the nortes season or "tehuanos". The massive recruitment to the marine environment was observed in July and August/September when the oceanographic conditions in the GT were inverse to described for the DA index. The annual abundance variation of the FR and DA indices remains constant with the presence of "El Niño" in the GT, but its abundance diminishes.

Key Words: Recruitment, reproduction, brown shrimp, chlorophyll *a*, Gulf of Tehuantepec.

INTRODUCCIÓN

Las pesquerías de importancia comercial y altamente productivas, se encuentran distribuidas en distintas regiones costeras del mundo, en donde la producción está asociada e influida, por diferentes procesos oceanográficos tales como las surgencias, la mezcla por mareas y la descarga fluvial (Gracia 1989; Vinogradov *et al.* 1991; Caddy & Bakun 1994).

En el Golfo de Tehuantepec (GT en adelante), el camarón es el principal recurso pesquero que se explota en el ambiente marino, dentro de la zona 90 de pesca, ubicada entre Punta Chipehua en Salina Cruz, Oaxaca ($16^{\circ}10' N$ y $95^{\circ}11' O$) y Puerto Chiapas, Chiapas ($14^{\circ}41' N$ y $92^{\circ}24' O$) (Fig. 1). Esta pesquería incide sobre cuatro especies de interés comercial: *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) "camarón café", *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) "camarón blanco", *Farfantepenaeus brevisrostris* (Kingsley 1878) "camarón cristal" y *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson 1871) "camarón azul" (Cervantes-Hernández 2008).

El GT es una región altamente productiva y de gran complejidad ecológica, debido a los altos niveles de precipitación pluvial durante la temporada de lluvias (junio a octubre) y a la presencia de una surgencia eólica en la temporada de nortes (noviembre a febrero) (Fernández-Álamo *et al.* 2000). Durante esta última temporada, el GT actúa como una bomba de nutrientes, que enriquecen las aguas superficiales, ocasionando cambios interanuales en la concentración de los nutrientes marinos (Gallegos-García & Barberán-Falcón 1998). La variación interanual de la concentración de Clorofila *a* (*Cl_a* en adelante) y la productividad primaria, favorecen la producción pesquera a través de la disponibilidad de alimento, la cual modula variados procesos biológicos, tales como: la reproducción, el crecimiento y el aumento en la supervivencia de los estadios larvarios (Picaut 1985; Churchill 2001). Fuera de la temporada de nortes, el GT se comporta como un ecosistema tropical con valores bajos en la concentración de *Cl_a* y productividad primaria (Lara-Lara *et al.* 1998).

Uno de los principales intereses de la ecología pesquera, es comprender a macro-escala los procesos oceanográficos

que condicionan los cambios en la producción, particularmente, lo referente a la variación interanual de *Cl_a* y los flujos de carbono (Malone & Roederer 1985). Debido a la dificultad técnica que representa el cuantificar en diferentes regiones oceánicas (conservando la simultaneidad en tiempo), el uso de las imágenes de satélite (color del mar), se ha extendido en el estudio de los recursos pesqueros sometidos a explotación, con el objeto de desarrollar escenarios de producción con fines de conservación y aprovechamiento (Joint & Groom 2000; Gracia 2001). Lo anterior es pertinente cuando se trata de correlacionar diferentes variables oceanográficas de años anteriores (series de tiempo georreferidas), con la variación histórica de la abundancia de una pesquería; lo que requiere que la información poblacional sea biológicamente representativa y ecológicamente confiable.

Son pocos los estudios que se han realizado en las poblacionales de camarón blanco y camarón café del GT (Cervantes-Hernández *et al.* 2006, Ramos-Cruz *et al.* 2006; Cervantes-Hernández 2008; Cervantes-Hernández *et al.* 2008), estos trabajos están orientados a describir el estado histórico de explotación que se ha realizado en el ambiente marino (entre 1989 y 1998) y en los sistemas lagunares costeros del GT (entre 1983 y 2000) (Mar Muerto, La Joya-Buenavista, Los Patos-Solo Dios, Carretas-Pereyra, Chantuto-Panzacola) (Fig. 1). En ambos casos no se tiene conocimiento de estudios enfocados a cuantificar la relación entre la variación interanual de *Cl_a*, la temperatura superficial del mar (TSM en adelante) con la producción de camarón en el GT.

Utilizando imágenes mensuales de *Cl_a* y una serie histórica georreferidas de la TSM, fueron descritas las condiciones oceanográficas que ocurrieron en el GT, durante las fechas en las cuales se modelaron los eventos máximos y mínimos de la abundancia de reclutas (FR en adelante) y reproductores (DA en adelante) de *F. californiensis*. Con base en modelos de correlación lineal múltiple, se cuantificó la relación entre la variación interanual de la TSM y la abundancia poblacional de 1989 a 1998 y de noviembre de 1996 a mayo de 1998 entre la variación interanual de *Cl_a*, la TSM y la abundancia poblacional.

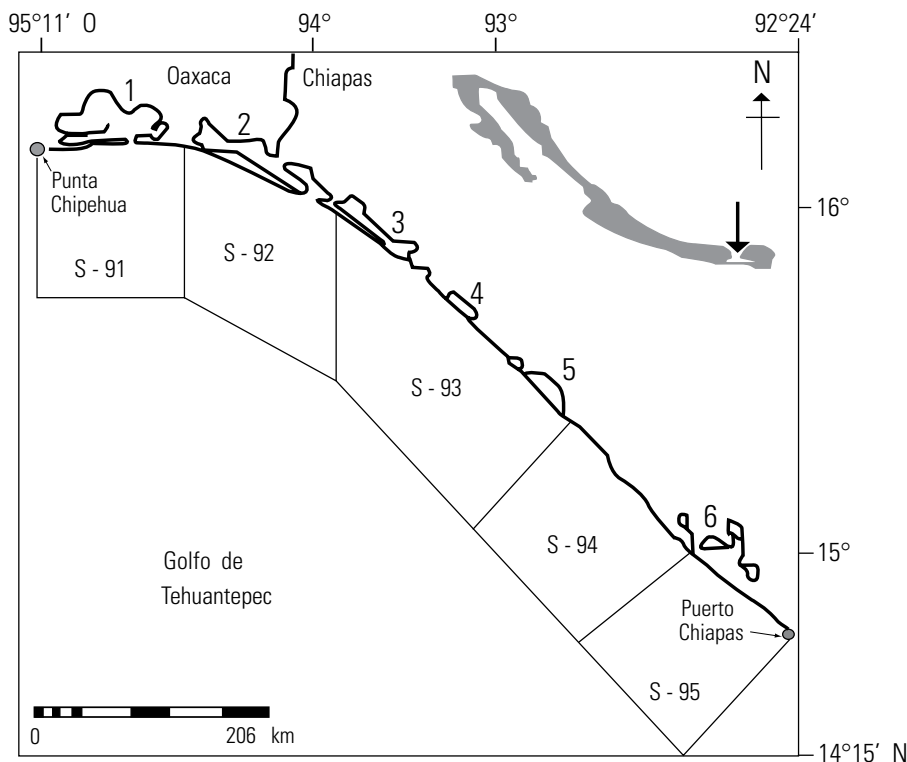


Figura 1. Localización geográfica de la zona 90 de pesca en el Golfo de Tehuantepec. S-91 a S-95 son sub-sectores. (1) Sistema Lagunar Huave, (2) Laguna Mar Muerto, (3) La Joya Buenavista, (4) Los Patos-Solo Dios, (5) Carretas-Pereyra y (6) Chantuto-Panzacola.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el análisis poblacional de *F. californiensis*, se utilizó la captura comercial clasificada por categorías (10-14, 15-20, 21-25, 26-30, 31-35, 36-40, 41-50 y 51-60 abdómenes por libra de peso), extraída de la zona 90 de pesca y registrada entre 1989 y 1998, en los puertos de Salina Cruz, Oaxaca y Puerto Chiapas, Chiapas. Esta información fue proporcionada a la Universidad del Mar, en Puerto Ángel, Oaxaca, México, por el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Salina Cruz, Oaxaca, mediante el convenio de colaboración CRIP-UMAR: 2IR043.

La captura comercial clasificada por categorías y la técnica propuesta por Gracia (1991), se utilizaron para obtener el número total de cohortes y el número total de camarones capturados mensualmente por grupos de edad. La técnica se adaptó para *F. californiensis* considerando sexos combinados, ya que la información por sexos, no estuvo disponible en los datos de la captura comercial. El proceso fue el siguiente:

1.- Bajo el supuesto de que los registros del peso de los abdómenes dentro de cada una de las categorías se distribuye normalmente $Z(0, 1)$, se estimó la probabilidad del peso de cada abdomen $P(a)$, usando el promedio y la desviación estándar que resultó en cada una de las categorías.

2.- Para cada categoría, la división del peso total entre su correspondiente sumatoria de $P(a)$, generó un factor de conversión. Este factor fue multiplicado por $P(a)$ y dividido entre la frecuencia de cada abdomen, para obtener el número total de camarones capturados por unidad de peso abdominal.

3.- Para obtener una estimación aproximada de la edad de los camarones capturados por unidad de peso abdominal, en cada una de las categorías, se emplearon los parámetros de crecimiento en talla y peso reportados por Chávez (1979) para: *F. californiensis* ($L_{\infty} = 242$ mm, $t_0 = -0.344$, $k = 0.186$ y $W_{\infty} = 220$ g).

Con base en lo anterior, se estimó el número total de camarones capturados mensualmente por grupos de edad (matriz X_{APV}). Esta matriz y la tasa de mortalidad natural estimada por Ramos-Cruz *et al.* (2006) en la fase marina de explotación para *F. californiensis* del GT entre 1989 y 1998 ($M = 0.22$ mensual), se utilizaron para desarrollar el análisis de población virtual (APV) según Pope (1972), calibrado según Seber (1982).

Del APV se obtuvo la matriz de abundancia virtual (N_{APV}), que representa el número total de camarones, que debió existir mensualmente e independientemente, en cada una de las cohortes que conformaron a la población natural de *F. californiensis*. El método propuesto por Cervantes-Hernández (2008), se utilizó

para extraer de N_{APV} dos índices: la abundancia de reclutas y la abundancia de reproductores. En apego a este autor, la variación interanual de la abundancia de reclutas, se estructuró utilizando a todas las cohortes del grupo de cuatro meses; mientras que, la abundancia de reproductores, se obtuvo mediante la adición de las cohortes pertenecientes a los grupos de seis a 11 meses. Lo anterior, se representó matemáticamente mediante las siguientes funciones:

$$FR = E_{4r}$$

$$DA = E_{6r} + E_{7r} + E_{8r} + E_{9r} + E_{10r} + E_{11r}$$

FR es la abundancia de reclutas o índice FR.

DA es la abundancia de reproductores o índice DA.

E_{qr} es la abundancia virtual del grupo de edad q en el mes r .

No se consideró la interacción de la población de *F. californiensis* con otras poblaciones naturales en el GT; sin embargo, el efecto de M en el APV, incluye las muertes ocasionadas por la depredación, la edad avanzada y las enfermedades (mortalidad denso-dependiente), además de las ocasionadas por la variación ambiental (mortalidad denso-independiente). La tasa M se consideró constante durante el periodo de explotación que se ejerció sobre cada una de las cohortes.

Los valores mensuales de la TSM (°C) entre 1989 y 1998, fueron obtenidos lo más cerca posible a las coordenadas descritas en la figura 1. Para ello, fueron utilizados los registros mensuales de las siguientes estaciones de muestreo oceanográficas: a) 768330 MX Salina Cruz, Oaxaca: 16°16' N – 95°02' O y b) 769043 MX Tapachula, Chiapas: 14°78' N – 92°38' O. Esta información fue obtenida del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration (NOAA, por sus siglas en inglés)^{1,2}

El promedio mensual de *Cl a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), se obtuvo de un grupo de imágenes de color del mar con una resolución de pixel de 9×9 km, con coordenadas mundiales latitud-longitud (Lat-Long) 90° N-S 180° E-O. Éstas fueron del tipo Ocean Color and Temperature Sensor (OCTS, por sus siglas en inglés) y Viewing Wide Field-of-View Sensor (SeaWiFS, por sus siglas en inglés). La información anterior, fue disponible únicamente para los siguientes periodos: noviembre 1996 - diciembre 1997 y enero - mayo 1998. Este material fue proporcionado por el Dr. Eduardo Santamaría-del Ángel de la Universidad Autónoma de Baja California, México (UABC, Laboratorio del Color del Océano).

Las imágenes OCTS y SeaWiFS fueron procesadas en la UABC, utilizando el programa computacional Interactive Data Language (IDL, por sus siglas en inglés) y re proyectadas al for-

mato Hierarchical Data Format (HDF, por sus siglas en inglés). Los valores mensuales de *Cl a* fueron obtenidos con base en el algoritmo de Liew et al. (2001) contenido en el módulo de reprocesamiento cuatro del programa computacional SeaWiFS Data Analysis System (SeaDAS, por sus siglas en inglés). Para los detalles del procesamiento de las imágenes OCTS y SeaWiFS referimos al lector a Frías-Velasco (2004).

Las imágenes procesadas fueron enviadas al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad del Mar en Puerto Ángel, donde se realizaron cortes para acotar la región en estudio entre los 06°08'-16°08' N y 92°00'-96°32' O, utilizando el programa Integrated Land and Water Information System (ILWIS, por sus siglas en inglés). No se obtuvieron imágenes OCTS de mayo a agosto de 1997, debido al incremento de la nubosidad en el área de estudio.

Para obtener un valor mensual representativo de *Cl a*, se procedió de la siguiente manera: en cada uno de los cortes OCTS y SeaWiFS, fueron extraídos al azar 70 valores de *Cl a*, dentro de una cobertura espacial acotada en las coordenadas 12°08'-15°50' N y 93°36'-95°12' O. Esta información se utilizó para estimar el promedio mensual en cada una de las imágenes. Este proceso se realizó con el módulo de análisis estadístico del ILWIS.

Los resultados mensuales obtenidos para ambas variables, fueron utilizados para describir las condiciones oceanográficas que ocurrieron en el GT, durante las fechas en las cuales se modelaron los eventos máximos y mínimos de la abundancia de reclutas y reproductores de *F. californiensis*. Con base en modelos de correlación lineal múltiple, se cuantificó la relación entre la variación interanual de la TSM y la abundancia poblacional de 1989 a 1998 (primer intervalo), y de noviembre de 1996 a mayo de 1998 (segundo intervalo), entre la variación interanual de *Cl a*, la TSM y la abundancia poblacional. *Cl a* no fue considerada en el primer intervalo, porque la información satelital no estuvo disponible para esos años.

RESULTADOS

A partir de la información de la captura comercial clasificada por categorías, fueron obtenidos 14 grupos de edad entre los tres y 16 meses y un total de 120 cohortes entre 1989 y 1998. La abundancia virtual de los índices poblacionales obtenida de la matriz N_{APV} fue evaluada en número de camarones $\times 10^4$.

La variación interanual de los índices poblacionales y la TSM que se obtuvo para el primer intervalo, se muestra en las figuras 2 y 3.

El índice FR tuvo máximos en: julio 1991, 1994 y 1996, agosto 1989, 1990 y 1993, septiembre 1992 y 1997, octubre 1995. Los mínimos de este índice fueron observados entre enero y febrero de cada año (Fig. 2). El índice DA fue máximo durante octubre

¹ <http://www.cdc.noaa.gov/redirects/people.html>

² http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_Smith01v1.monthly/.sst/

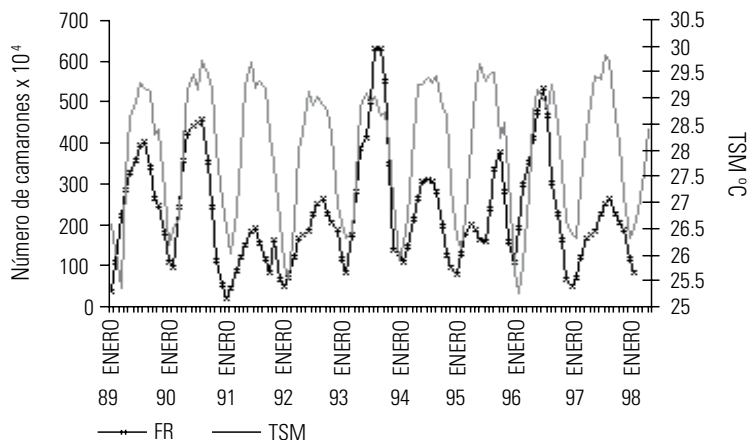


Figura 2. Variación interanual de la abundancia de reclutas de *F. californiensis* y la TSM en el Golfo de Tehuantepec, entre 1989 y 1998.

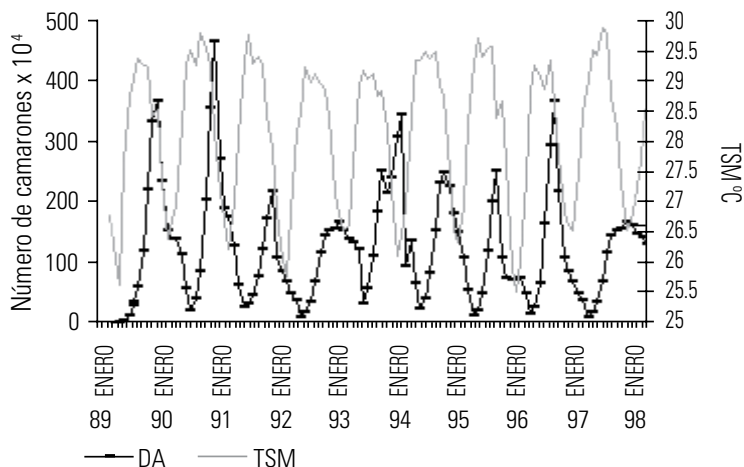


Figura 3. Variación interanual de la abundancia de reproductores de *F. californiensis* y la TSM en el Golfo de Tehuantepec, entre 1989 y 1998.

1995, 1996, noviembre 1989, 1990, 1991 y 1994, enero 1993 y 1998, febrero 1994. Los mínimos de este índice fueron observados entre mayo y junio de cada año (Fig. 3). Se observó que de julio a agosto/septiembre, la abundancia de reclutas fue mayor a la de reproductores, mientras que, de octubre/noviembre a enero, DA fue mayor que FR. Entre los índices se obtuvo una correlación inversamente proporcional de -0.8670 (Tabla 1), con un desfase de cuatro meses, entre los máximos FR y DA.

De 1989 a 1998, la TSM fue mayor durante los máximos de reclutamiento (entre 29.3 y 29.7°C) y menor durante los máximos de reproductores (entre 28.1 y 28.7°C) (Figs. 2 y 3). La TSM tuvo un correlación directamente proporcional con la abundancia de reclutas e inversamente proporcional, con la abundancia de reproductores (Tabla 1 y Figuras 4a y b).

De acuerdo con la cobertura espacial de los cortes OCTS y SeaWifs, las condiciones oceanográficas de *Cla* que se observaron en el GT de noviembre 1996 a mayo 1998 se muestran en

la figura 5, estas imágenes fueron descritas usando simultáneamente los promedios mensuales de *Cla* y la TSM contenidos en la figura 6.

La *Cla* registró un máximo en noviembre 1996 ($1.10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), que descendió gradualmente a $0.42\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en abril 1997 (de mayo a agosto de 1997, se interrumpieron los registros de color del océano) (Fig. 6b). Posterior a este último periodo, la *Cla*

Tabla 1. Correlación múltiple entre los índices poblacionales de *F. californiensis* y la TSM en el Golfo de Tehuantepec de 1989 a 1998.

Índice	DA	TSM
FR	-0.8670 $p < 0.05$	0.4280 $p < 0.05$
DA		-0.3582 $p < 0.05$

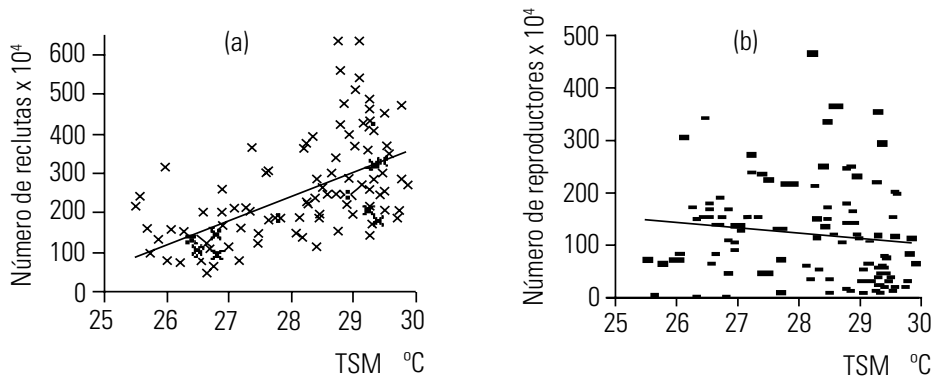


Figura 4a-b. Diagramas de dispersión y líneas de regresión entre FR-TSM (a) y DA-TSM (b) para el primer periodo de 1989 a 1998.

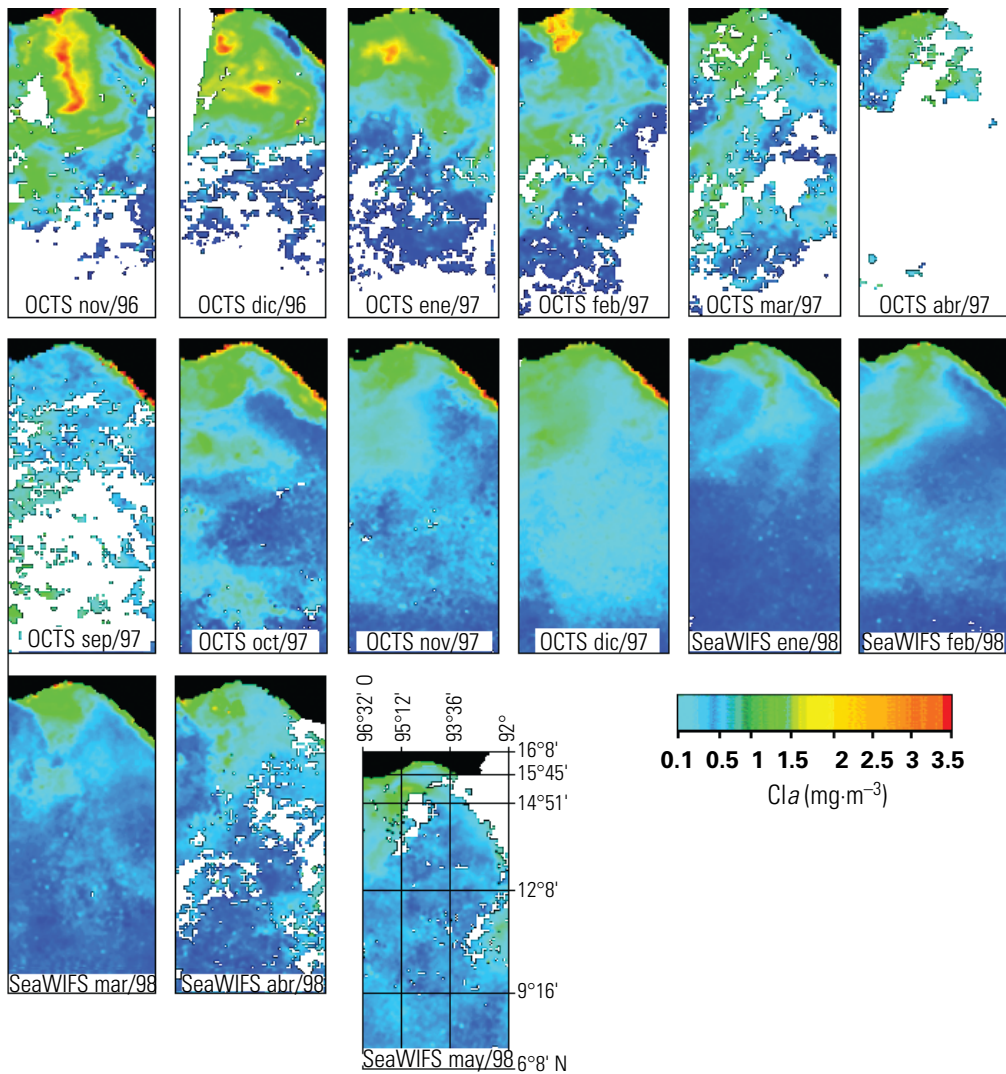


Figura 5. Cobertura espacial de los cortes OCTS y SeaWifs de Cla en el Golfo de Tehuantepec, noviembre 1996 a mayo 1998. El negro representa tierra, el blanco representa nubes.

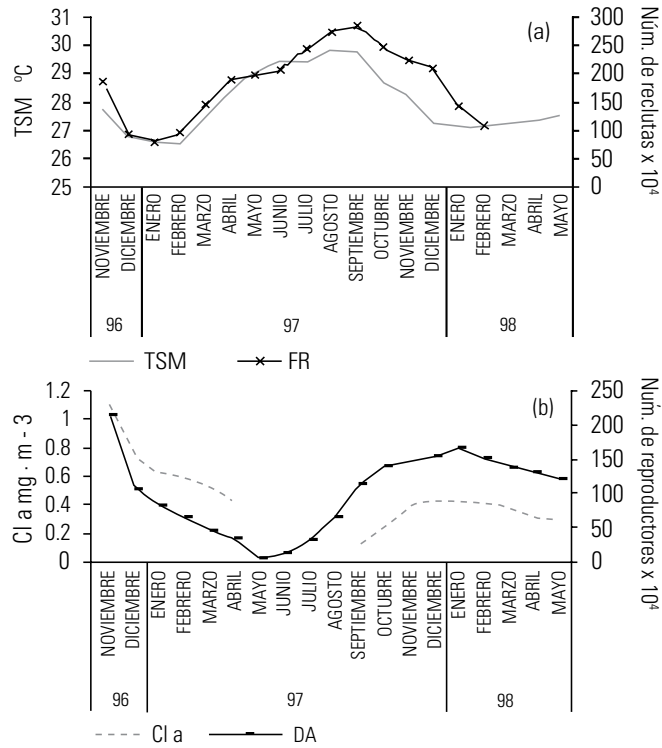


Figura 6. Variación interanual de la abundancia de reclutas (a) y reproductores (b) de *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec, en relación a los promedios mensuales de la TSM y Cla entre noviembre 1996 y mayo 1998.

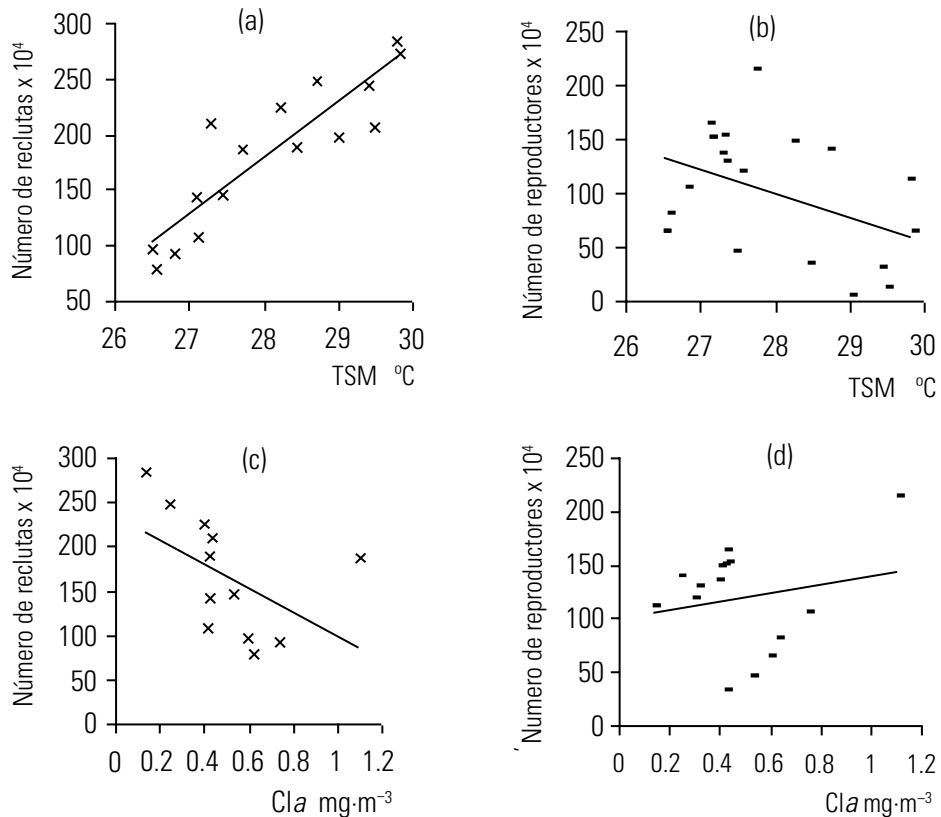


Figura 7. Diagramas de dispersión y líneas de regresión entre FR-TSM (a), DA-TSM (b), FR-Cla (c) y DA-Cla (d) para el segundo periodo de noviembre 1996 a mayo 1998.

ascendió de $0.13 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en septiembre 1997 a $0.43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en diciembre 1998. Entre enero y mayo 1998, la *Cla* descendió nuevamente de 0.42 a $0.29 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente (Fig. 6b).

Entre noviembre 1996 y mayo 1998, los registros más altos de *Cla* coincidieron con los máximos de DA y el valor más bajo de *Cla* se presentó asociado al máximo de FR (Figuras 5 y 6 a y b). La *Cla* tuvo una correlación directamente proporcional con la abundancia de reproductores e inversamente proporcional con la abundancia de reclutas (Tabla 2, Figuras 7 c y d).

En este último intervalo, la TSM y *Cla* registraron una correlación inversamente proporcional (Tabla 2, Figuras 6 a y b), la TSM tuvo una correlación directamente proporcional con FR e inversamente proporcional con DA (Tabla 2, Figuras 7 a y b). El máximo de reclutas se registró a una TSM cálida, 1°C por encima de la registrada para los máximos de reproductores (Fig. 6), lo cual es consistente con las figuras 2 y 3.

Adicionalmente, la *Cla* tuvo mayor variación interanual que la TSM entre noviembre 1996 y mayo 1998 (con coeficientes de variación estimados de: 48 y 3%, respectivamente).

Tabla 2. Correlación múltiple entre los índices poblacionales de *F. californiensis*, la TSM y *Cla* en el Golfo de Tehuantepec entre noviembre 1996 y mayo 1998.

Índice	DA	TSM	<i>Cla</i>
FR	-0.8251 $p < 0.05$	0.7748 $p < 0.05$	-0.6887 $p < 0.05$
DA		-0.5997 $p < 0.05$	0.5627 $p < 0.05$
TSM			-0.6452 $p < 0.05$

DISCUSIÓN

En el GT de 1978 a 1986, Lluch-Cota *et al.* (1997) describieron la variación interanual de la concentración de pigmentos (Clorofila *a* más feofitinas; $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), utilizando imágenes CZCS. Los autores reportaron que los pigmentos en esta región fueron altos entre octubre y abril, con máximos de noviembre a enero ($> 0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Estos resultados, son consistentes con la variación interanual de *Cla* que se obtuvo en el segundo intervalo, la cual evidenció un máximo en noviembre 1996 ($1.10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), que descendió gradualmente a $0.42 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en abril 1997. Posterior a la interrupción de los registros de *Cla*, ésta ascendió nuevamente de $0.13 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $0.43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de septiembre 1997 a diciembre 1998 y finalmente, entre enero y mayo 1998, la *Cla* descendió nuevamente de 0.42 a $0.29 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Fig. 6).

Es importante destacar que los registros de *Cla*, entre septiembre de 1997 y mayo de 1998, fueron de menor magnitud que los observados de noviembre 1996 a abril 1997 (Fig. 6). Esta diferencia en magnitud, muy probablemente ocurrió por la presencia de "El Niño" (ENSO) de mayo 1997-1998, reportado por Murtugudde *et al.* (1999). Razón por la cual, el máximo DA de enero 1998, coincidió con una menor concentración de *Cla*, en comparación con el máximo DA de noviembre 1996 (Fig. 6).

Al respecto, Frías-Velasco (2004) describió los cambios en la concentración de *Cla* en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo, durante la temporada de nortes en presencia y ausencia de eventos "El Niño". Para tal fin, fueron considerados los eventos de mayo 1997-1998 y mayo 2002-marzo 2003¹. En la temporada de nortes sin "El Niño", el autor observó la presencia de surgencias eólicas que ocurren de noviembre a febrero en el GT (Fernández-Álamo, 2000) y de octubre a abril en el Golfo de Papagayo (Lluch-Cota *et al.*, 1997). En esta temporada, fueron observados bajos niveles de *Cla* en las regiones más oceánicas y altos niveles *Cla* en las regiones de surgencia y costeras (Fig. 8). Durante la temporada de nortes en presencia de "El Niño", ambas surgencias fueron inhibidas y en su lugar, el autor observó la presencia de plumas de baja producción primaria, cuya concentración de *Cla* se reportó entre los 0.3 y $0.6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en las regiones de surgencia y costeras (Fig. 8).

Frías-Velasco (2004), indicó que la presencia de estas plumas en la temporada de nortes con "El Niño" en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo (Fig. 8), son el resultado de los incrementos en la precipitación pluvial y la descarga fluvial generados por estos eventos; lo que explica en parte, los altos niveles de nubosidad ocurridos entre mayo y agosto 1997 (segundo intervalo), situación que no permitió la obtención de imágenes OCTS.

Los resultados obtenidos en este trabajo con relación a los descritos por Frías-Velasco (2004), sugieren que en el GT durante la temporada de nortes con "El Niño", la precipitación pluvial y la descarga fluvial, estructuran el mecanismo que garantiza temporalmente, el aporte de nutrientes durante la inhibición de la surgencia eólica. Dicho mecanismo explica en parte, la diferencia observada entre los máximos *Cla* de septiembre 1997 a mayo 1998, con respecto al periodo de noviembre 1996 a abril 1997, en el que no se reportó un evento "El Niño".

El efecto de la variación interanual de *Cla* en el siguiente nivel trófico (zooplancton), se aprecia en el estudio de la densidad de copépodos realizado por Fernández-Álamo *et al.* (2000) en el GT, entre marzo y noviembre de 1978. De acuerdo a estos autores, la mayor densidad de copépodos se registró en el mes de noviembre durante la temporada de nortes o "tehuanos"

¹ <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>

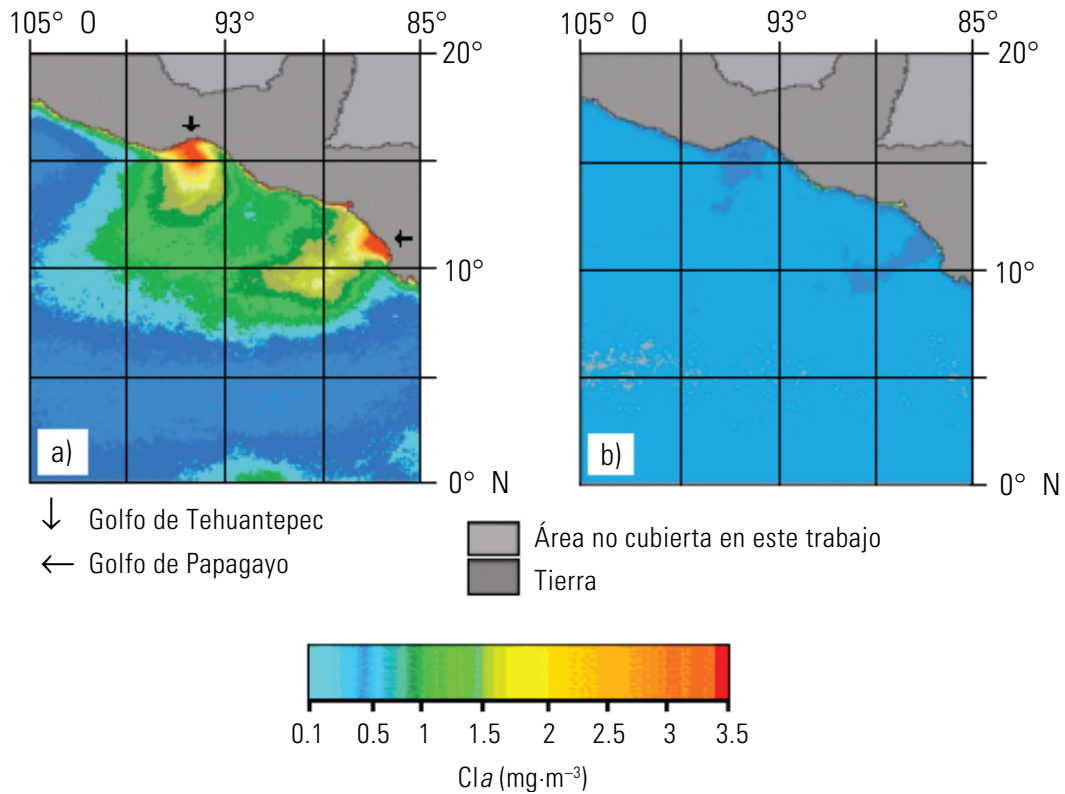


Figura 8a-b. Compuestos regionalizados de Cla en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo. a) Temporada de nortes sin "El Niño". b) Temporada de nortes con "El Niño". El negro representa tierra. Tomado y modificado de Frías-Velasco (2004).

(97.5 ind·m⁻³), mientras que, la menor densidad fue cuantificada en el mes de marzo (42.4 ind·m⁻³).

El INP (2004a), describió el patrón anual de los desoves de hembras maduras de *F. californiensis* en fase IV en el GT, de 1982 a 2002. El mayor porcentaje de desoves se registró de octubre a enero, coincidiendo con las fechas en las cuales ocurren los máximos de DA y Cla (segundo periodo). El menor porcentaje de desoves de camarón café se reportó de julio a septiembre, coincidiendo con las fechas en las que ocurren los mínimos de DA y Cla (segundo periodo) (y el máximo FR). La fase IV en los camarones del género *Penaeus*, se caracteriza por la presencia de ovarios maduros con tonalidad oscura y masa gonadal desovada (Sandoval-Quintero & Gracia, 1998).

Lo anterior sugiere, que los incrementos en la biomasa zooplactónica reportados por Fernández-Álamo *et al.* (2000), son particularmente importantes en el caso del índice DA, ya que se traducen en una mayor disponibilidad de alimento para los estadios larvarios de camarón café producto del desove (protozoa y mysis), los cuales dependen directamente para su crecimiento y desarrollo, del consumo de fitoplancton y de zooplancton; razón por la cual, la disponibilidad de alimento es crítica para la supervivencia de estos estadios, que aseguran la continuidad y magnitud de la abundancia de las cohortes que mantienen

a la población (Gracia *et al.* 1997). En el caso del índice FR, lo anterior tiene menos importancia, ya que la edad a la cual el camarón café se recluta al ambiente marino en el GT (4 meses de edad) (Cervantes-Hernández 2008), presenta hábitos alimenticios "detritívoros", que satisface alimentándose directamente del bentos (Gracia 1992); antes de esta edad, los reclutas para su crecimiento dependen de la capacidad de carga de los sistemas lagunares costeros del GT.

González-Silvera *et al.* (2004), reportaron una correlación inversamente proporcional entre la TSM y Cla a nivel de meso-escala, durante la formación de los giros ciclónicos en los Golfos de Tehuantepec ($R = -0.28, p < 0.05$) y Papagayo ($R = -0.23, p < 0.05$). Lo anterior es consistente con el valor de correlación negativo obtenido entre estas últimas variables oceanográficas (segundo intervalo), aunque de mayor magnitud ($R = -0.6452, p < 0.05$). La correlación inversamente proporcional, que se registró entre la TSM y Cla en el GT, tiene su fundamento en el afloramiento de masas agua frías y ricas en nutrientes, que genera el proceso de surgencia, por el rompimiento de la termoclina, durante la temporada de nortes. (Frías-Velasco 2004).

Los resultados obtenidos sugieren que, en el GT y particularmente durante el segundo intervalo, la estrategia reproductiva de *F. californiensis* (asociada en este caso a los máximos DA),

estuvo sincronizada con las fechas en las cuales ocurrieron los máximos de *Cl*, que coinciden con los incrementos del zooplancton durante la temporada de nortes; y por consiguiente, entre octubre/noviembre y enero, es muy probable que se incremente la probabilidad de supervivencia y dispersión de los estados larvarios. De esta manera, las generaciones principales que se generan durante estas fechas, posteriormente ingresan a los sistemas lagunares del GT, para finalmente reclutarse a la población marina entre julio y agosto/septiembre (máximos FR), cuando las condiciones oceanográficas del GT son inversas a las descritas en el caso de los máximos DA.

Esta estrategia se mantiene aún con la presencia de "El Niño", cuando el aporte de nutrientes disminuye comparativamente. Esto se observó, con base en los máximos FR y DA durante el "El Niño" de mayo 1997–1998, los cuales mantuvieron la periodicidad en la variación interanual, aunque ambos índices disminuyeron su abundancia.

El GT en el Pacífico Tropical Oriental, resulta ser un caso particular en el que la surgencia eólica modifica la variación interanual de la producción pesquera de camarón y de otras especies pelágicas de importancia comercial (Tapia-García & Gutiérrez-Díaz 1998). La producción pesquera en otras zonas de las costas mexicanas depende en gran medida del enriquecimiento de nutrientes producto de la descarga fluvial. Al respecto, Galindo-Bect *et al.* (2000) señalaron que existe una correlación positiva entre la descarga fluvial del delta del Río Grande con la producción de camarón en el alto Golfo de California, México. Para este caso, el INP (2004b) reportó una producción de 23 toneladas peso vivo entre 1994–2000.

Churchill (2001) indicó que el 80 % de la producción pesquera en el Golfo de México, se obtiene en las inmediaciones del delta del Río Mississippi, Louisiana E.U.A. El autor indicó que las especies de peces estuarino dependientes y costeros, son influidos positivamente por la pluma de producción primaria del Río Mississippi *Sciaenops ocellatus* (Linnaeus 1766), *Leiostomus xanthurus* (Lacepède 1802), *Micropogonias undulatus* (Linnaeus 1766), *Scomberomorus cavalla* (Cuvier 1829) y *Scomberomorus maculatus* (Mitchill 1815).

García y Le Reste (1986) indicaron que los efectos de la descarga fluvial sobre la producción de camarón pueden ser negativos como positivos, para este último caso, Ruello (1973) señaló que éstas estimulan el reclutamiento al ambiente marino, debido al incremento en la turbidez del agua que disminuye la tasa de mortalidad por depredación. No obstante, Gracia (2001) indicó que los efectos pueden ser en ambos sentidos (hacia el interior de las áreas de crianza y al ambiente marino), dependiendo de la intensidad y duración de las descargas fluviales y los niveles de tolerancia a la salinidad de las especies de camarón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Salina Cruz, Oaxaca, México, por facilitar la base de datos. A Eduardo Santamaría del Ángel por las imágenes OCTS y SeaWifs. Al Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration por la serie georeferida de la TSM. Así como también, agradecemos los comentarios de los revisores anónimos.

REFERENCIAS

- CADDY, J. F. & A. BAKUN. 1994. A tentative classification of coastal marine ecosystems based on dominant processes of nutrient supply. *Ocean and Coastal Management* 23 (3): 201-211.
- CERVANTES-HERNÁNDEZ P., S. RAMOS-CRUZ & A. GRACIA. 2006. Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 16 (3): 233-239.
- CERVANTES-HERNÁNDEZ P. 2008. Method to obtain indices of abundance in the population of brown shrimp from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Biología Marina y Oceanografía* 43 (1): 111-119.
- CERVANTES-HERNÁNDEZ P. M. I. GALLARDO-BERUMEN, S. RAMOS-CRUZ, M. A. GÓMEZ-PONCE & A. GRACIA. 2008. Análisis de las temporadas de veda en la explotación marina de camarones del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista Biología Marina y Oceanografía*. 43 (2): 285-294.
- CHÁVEZ, E. A. 1979. Diagnósis de la pesquería del camarón del Golfo de Tehuantepec, Pacífico Sur de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 2: 7-14.
- CHURCHILL, B. G. 2001. Fishery production and Mississippi river discharge. *Marine Fisheries* 26 (8): 17-26.
- FERNÁNDEZ-ÁLAMO, M. A., L. SANVICENTE-AÑORVE & G. ALAMEDA-DE-LA-MORA. 2000. Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, México. *Crustaceana* 73 (9): 1139-1153.
- FRÍAS-VELASCO, A. 2004. Regionalización de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes de satélite. Tesis de Licenciatura (Biología Marina), Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca. 66 p.
- GALINDO-BECT, M., E. GLENN, H. PAGE, K. FITZSIMMONS, L. GALINDO-BECT, J. HERNANDEZ-AYON & R. PETTY. 2000. Penaeid shrimp landings in the upper Gulf of California in relation to Colorado River freshwater discharge. *Fishery Bulletin* 98: 222-225.
- GALLEGOS-GARCÍA, A. & J. BARBERÁN-FALCON, 1998. Surgencia eólica. In: M. Tapia-García (Eds.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp. 27-34.

- GARCÍA, S. & L. LE RESTE. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. *Technical document of fishing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. (203): 180 p.
- GONZÁLEZ-SILVERA A., E. SANTAMARÍA-DEL-ÁNGEL, R. MILLÁN-NUÑEZ & H. MANZO-MONRROY. (2004). Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51: 587-600.
- GRACIA, A. 1989. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of Mexico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 14: 171-182.
- GRACIA, A. 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 120 : 519-527.
- GRACIA, A. 1992. Explotación y manejo del recurso camarón. *Ciencia y desarrollo* 18 (106): 82-95.
- GRACIA, A. 2001. Efecto del El Niño sobre la producción de camarón. In: Escobar, E., M. Bonilla, A. Badán, M. Caballero & A. Winckell (Eds.). *Los efectos del fenómeno El Niño en México, 1997-1998*. CONACYT, México. pp. 112-119.
- GRACIA, A., A. R. VÁZQUEZ-BADER, L. E. SHULTZ & J. A. SÁNCHEZ. 1997. *Ecología de camarones peneidos. Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX) 7: 127-144.
- INP. INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA. 2004a. Inicio de las temporadas de veda 2004 para la pesquería de camarón del Océano Pacífico Mexicano. Informe final de investigación. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca México. pp. 32-33.
- INP. INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA. 2004b. Pesca sustentable de camarón en el Golfo de California, Propuesta de reestructuración de la flota camaronera de altamar. Informe final de investigación. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca México. pp. 6-7.
- JOINT, I. & S. B. GROMM. 2000. Estimation of phytoplankton production from space: current status and future potential of satellite remote sensing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250: 233-255.
- LARA-LARA, J. R., E. G. ROBLES-JARERO, M. C. BAZÁN-GUZMÁN & E. MILLÁN-NUÑEZ. 1998. Productividad del fitoplancton. In: M. Tapia-García (Eds.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp. 51-58.
- LIEW, S. C., A. S. CHIA & L. K. KWON. 2001. Evaluating the validity of SeaWiFS Chlorophyll algorithm for coastal waters. 22nd Asian Conferencia on Remote Sensing, Singapur.
- LLUCH-COTA, S. E., S. ÁLVAREZ-BORRERO, E. M. SANTAMARÍA-DEL-ÁNGEL, F. E. MULLER-KARGER & S. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas* 23 (3): 329-340.
- MALONE, T. F. & J. G. ROEDERER. 1985. *Global Change*. Cambridge University Press. Nueva York. 300 p.
- MURTUGUDDE, R. G., S. R. SIGNORINI, J. R. CHRISTAN, A. J. BUSALACCHI, CH. R. McCLAIN & J. PICAUT. 1999. Ocean color variability of the tropical Indo-Pacific basin observed by SeaWiFS during 1997-1998. *Journal of Geophysical Research* 104 (18): 351-366.
- PICAUT, J. 1985. Major dynamics affecting the Eastern Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *CalCOFI Report* 25: 41-50.
- POPE, J. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *International Commercial Northwest Atlanta Fish Research Bulletin* 9: 65-74.
- RAMOS-CRUZ S., B. SÁNCHEZ-MERAZ, F. CARRASCO-AYUSO & P. CERVANTES-HERNÁNDEZ. 2006. Estimación de la tasa de mortalidad natural de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) y *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41 (2): 221-229.
- RUELLO, N. 1973. The influence of rainfall on the distributions and abundance of the school prawn *Metapenaeus macleayi* in the Hunter river region (Australia). *Marine Biology* (23): 221-228.
- SANDOVAL-QUINTERO, M. E. & A. GRACIA. 1998. Stages of gonadal development in the spotted pink shrimp *Penaeus brasiliensis*. *Journal of Crustacean Biology* 18 (4): 610-685.
- SEBER G.A.F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance*. Griffin, London. 340 p.
- TAPIA-GARCÍA, M. & B. GUTIÉRREZ-DÍAZ. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas. In: M. Tapia-García (Eds.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. pp. 149-162.
- VINOGRADOV, M. E., E. A. SHUSHKINA, A. E. GORBUNOV & N. L. SHASHKOV. 1991. Vertical distribution of macro and mesoplankton in the area of the Costa Rica dome. *Oceanology* 43: 231-256.

Recibido: 16 de mayo de 2006.

Aceptado: 16 de abril de 2007.