



UNIVERSIDAD DEL MAR

mare nostrum veritabile faciendum

**Fluctuaciones de la abundancia del camarón blanco
Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) en el Golfo
de Tehuantepec, en relación con la temperatura
superficial del mar y clorofila *a* cuantificadas
por percepción remota.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ciencias

con especialidad en

Ecología Marina

Presenta:

Ing. Agrón. Alejandro Llaguno Aguiñaga

Dirigido por:

M. en C. Pedro Cervantes Hernández

Puerto Ángel, Oaxaca, Febrero de 2007.

RESUMEN

Con base en una matriz de abundancia virtual de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, se obtuvieron los índices asociados a la fuerza de reclutamiento (FR) y la densidad de adultos (DA). Éstos se analizaron y correlacionaron con respecto a la temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de clorofila *a* (Cl *a*), el esfuerzo de pesca (*f*_{*i*}) y el índice multivariado de “El Niño” Oscilación del Sur (IME). Los valores de TSM se extrajeron de imágenes AVHRR y los de Cl *a* de imágenes de color del mar OCTS y SeaWiFS. Entre la TSM y FR se obtuvo un $R = -0.4506$, $p < 0.05$. Las cohortes más abundantes de la DA se observaron en septiembre (entre 28.96 y 30.50 °C), a menores temperaturas que para FR (entre 29.33 y 30.71 °C), observadas en julio (a excepción de 1997). En relación a los índices poblacionales, *f*_{*i*} tuvo una correlación no significativa ($R_{DA-f_i} = -0.0701$, $p > 0.05$), sin embargo se observó una tendencia negativa respecto a DA debido a la disposición de los periodos de veda. El índice IME se correlacionó negativamente con la concentración de Cl *a* ($R_{IME-Cl} = -0.8582$, $p < 0.05$), con los índices DA y FR ($R_{IME-DA} = -0.3282$, $p < 0.05$ y $R_{IME-FR} = -0.4532$, $p < 0.05$); mientras que con la TSM resultó positiva ($R_{IME-TSM} = 0.3779$, $p < 0.05$). La correlación de la clorofila *a* con el índice FR fue significativa ($R_{FR-Cl} = 0.8699$, $p < 0.05$), no así con DA. De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que los eventos “El Niño” y “La Niña”, ejercieron un impacto importante sobre el ambiente y la población del camarón blanco *L. vannamei* en el Golfo de Tehuantepec.

ABSTRACT

With base in a matrix of virtual abundance of white shrimp *Litopenaeus vannamei*, two population indices, called recruitment force (FR) and spawning density (DA) were obtained. These were analyzed and correlated with respect to the sea surface temperature (SST), the chlorophyll *a* (Chl *a*) concentration, the effort of fishing (*fi*) and the multivariated Index of the “El Niño” Oscillation of Sur (MEI). The values of SST were extracted of images AVHRR and the of Chl *a* concentration of images of color of sea OCTS and SeaWiFS. Between SST and FR an $R = -0.4506$ was obtained, $p < 0.05$. The cohorts more abundant of index DA were observed in September (from 28.96 to 30.50 °C), to smaller temperatures than for FR (from 29.33 to 30.71 °C), those last were observed in July (with the exception of 1997). In relation to the population indices, *fi* had a nonsignificant correlation ($R_{DA-fi} = -0.0701$, $p > 0.05$), nevertheless the tendency indicated a greater relation with DA due to disposition of the closures seasons. The Index MEI was correlated negatively with the concentration of Chl *a* and the indices DA and FR, ($R_{MEI-Cl} = -0.8582$, $p < 0.05$, $R_{MEI-DA} = -0.3282$, $p < 0.05$ and $R_{MEI-FR} = -0.4532$, $p < 0.05$); whereas, with the SST it was positive ($R_{MEI-SST} = 0.3779$, $p < 0.05$). The correlation of the chlorophyll *a* with index FR was statistical significant ($R_{FR-Cl} = 0.8699$, $p < 0.05$), not thus with DA. According with the obtained results, it was observed that the events “El Niño” and “La Niña”, exerted an important impact on the environment and the population of the white shrimp in the Gulf of Tehuantepec.

DEDICATORIAS

Al Capitán de Navío SNM (R) Rafael Chaires Desiderio y a su apreciable familia por su apoyo, guía y sobre todo su generosa amistad.

A mis hermanos Gloria, Pepe, Carmen y Lulú, los llevo en mi corazón.

A mi abue Gudelia y a toda mi familia por darme su cariño y ayudarme a crecer .

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Mar y a todos los profesores que contribuyeron en esta fase de mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca que me otorgaron.

Al profesor Pedro Cervantes Hernández por darme su confianza, por dedicarme su tiempo, por compartir conmigo sus conocimientos y sobre todo por darme su amistad.

Al profesor Saúl Serrano Guzmán por dedicar su atención y tiempo para mejorar este documento, le agradezco también sus comentarios y el afecto con el que me ha favorecido.

A mis revisores Adolfo Gracia Gasca, Mario Alejandro Gómez Ponce y Carmen Alejo Plata por depositar su confianza en mí, tener la amabilidad de revisar este documento y contribuir a mejorarlo.

A mis compañeros Rosalía, Enrique y Francisco por su amistad, complicidad y ayuda durante todos aquellos cursos de la master.

A mis amigos del béisbol, del cineclub y de todas esas parrandas que llenaron mi vida en Puerto Ángel: Alicia, Isabel, Gil, Tama, Toño, Daniel, Jaime, Brenda, Fer, Edith, Jazz, Jerzan y Ate, Mau, Noé, Diego, Chava...

A la profesora Gelia Sandoval, a los profesores Ricardo Klimek, Fabián Palacios y Jesús Madrid, por esas horas de charla y amistad.

Un especial agradecimiento a los profesores Cuitlahuac Hernández Santiago y Edgar Iván Sánchez Bernal por darme la oportunidad de ganarme el sustento en esta Casa de Estudios, por compartir sus conocimientos, darme su amistad y aguantar todos mis malos ratos.

Sin duda alguna, habré olvidado a gente muy valiosa, a quien le ofrezco mi gratitud por haberme hecho tan agradable la estancia en este lugar.

¡A todos muchas gracias!

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
HIPÓTESIS	8
OBJETIVO	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares	9
METODOLOGÍA	10
Área de estudio	10
Variabilidad climática anual e interanual	12
Recopilación y procesamiento de la información poblacional de <i>L. vannamei</i>	13
Recopilación y procesamiento de imágenes satelitales	14
Recopilación de la serie de datos para detectar la variabilidad interanual, debida al evento “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS) y “La Niña”	17
Análisis estadísticos	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
I. Análisis de las series 1992-1998	19
Correlación entre los índices poblacionales, asociado a la fuerza de reclutamiento (FR) y a la densidad de adultos (DA) de <i>L. vannamei</i>	19
Correlación del esfuerzo de pesca (<i>fi</i>) con los índices DA y FR de <i>L. vannamei</i>	19
Correlación del índice multivariado del ENOS (IME) con los índices DA y FR	23
Correlación de la temperatura superficial del mar (TSM) con los índices DA y FR	24
Correlación entre el IME, la TSM y el <i>fi</i>	27
II. Análisis de las series 1996-1998 con valores de clorofila <i>a</i>	29
Correlación de la serie de valores de clorofila <i>a</i> con los índices DA y FR	29
Correlación de los valores de clorofila <i>a</i> con el IME	31
Correlación de los valores de TSM con el IME	37

Correlación de los valores de clorofila <i>a</i> con la TSM	38
Correlación del IME con los índices DA y FR	38
Correlación de la TSM con los índices DA y FR	39
Correlación del esfuerzo de pesca (<i>fi</i>) con los índices DA y FR	40
Correlación del esfuerzo de pesca (<i>fi</i>) con el índice IME, la TSM y la Cl <i>a</i>	40
CONCLUSIONES	41
Series 1992-1998	41
Series 1996-1998 con valores de clorofila <i>a</i>	41
RECOMENDACIONES	43
LITERATURA CITADA	44
APÉNDICE A	53
El camarón blanco <i>L. vannamei</i> en el Golfo de Tehuantepec	53
Estado de salud de la población y medidas de protección	53
Ciclo de vida de camarones peneidos	55
Dinámica de poblaciones	56
La relación Stock-Reclutamiento y su estudio a través de índices poblacionales	57
Los camarones peneidos y su medio ambiente	58
APÉNDICE B	59
Importancia de la temperatura y biomasa fitoplanctónica, su estudio a través de percepción remota	59
El espectro electromagnético	63
Orbita satelital	64
Sensores de microondas	66
Sensores de color (visible e infrarrojo)	67
Sensores infrarrojos	68
Características técnicas del sensor OCTS	68
Características técnicas del sensor SeaWiFS	68
Características técnicas del sensor NOAA/AVHRR	70
APÉNDICE C	73
“El Niño Oscilación del Sur” (ENOS)	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Batimetría del Golfo de Tehuantepec, zona 90 y subzonas de captura de camarón. Modificado de: Secretaría de Marina, 1999.	12
Figura 2. Recorte de imagen satelital, base del análisis estadístico del que se obtuvo el promedio mensual y desviación estándar de $Cl a$ y TSM.	16
Figura 3. Índice IME para la variación interanual de las fases frías y cálidas. Tomado de: Wolter y Timlin, 1998.	18
Figura 4. Variación interanual de los índices de abundancia poblacional DA, FR y de f_i durante 1992-1998 (las temporadas de captura se indican en sombreado).	20
Figura 5. Esfuerzo de pesca (f_i) hacia el camarón en el Golfo de Tehuantepec durante 1983-1999. Tomado de: SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999.	21
Figura 6. Capturas totales de camarón en el Golfo de Tehuantepec durante 1983-1999. Tomado de: SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999.	22
Figura 7. Patrón de la variación de los índices DA, FR y f_i respecto al periodo de veda (sección en blanco de la gráfica) y temporada de captura (sombreado).	22
Figura 8. Variación interanual de los índices DA y FR respecto al IME, en sus fases cálidas (FC) y fases frías (FF) durante 1992-1998.	24
Figura 9. Variación interanual de los índices DA, FR respecto de la TSM durante 1992-1998.	25
Figura 10. Patrón de la variación anual de los índices DA y FR respecto a la TSM.	26
Figura 11. Variación interanual del IME -fases cálidas (FC), fases frías (FF)- y la TSM durante 1992-1998.	27
Figura 12. Variación interanual de la TSM y f_i durante 1992 -1998.	28
Figura 13. Variación interanual de los índices DA, FR y valores de clorofila a durante 1996-1998.	30
Figura 14. Variación interanual de Clorofila a con respecto a las fluctuaciones del IME en la fase cálida (FC) y fases frías (FF) en el Golfo de Tehuantepec entre 1996-1998.	32
Figura 15. Compuesto de imágenes del Golfo de Tehuantepec, TSM y $Cl a$, para el periodo de estudio 1992-1998. Las franjas azules señalan los periodos en que se reportó “El Niño”, las rosas “La Niña” y el círculo azul, la fecha en que ocurrió el Huracán Paulina (7 de octubre de 1997).	35

Figura 16. Llegada a tierra del huracán Paulina, al oeste del Golfo de Tehuantepec. Imagen NOOA-AVHRR, bandas 1, 2, 4, del día 7 de octubre de 1997.	36
Figura 17. Variación interanual de los valores de la TSM respecto al IME –fases frías (FF), fase cálida (FC)- durante 1996-1998.	37
Figura 18. Variación interanual de la clorofila <i>a</i> respecto a la TSM durante 1996-1998.	38
Figura 19. Variación interanual del IME -fase fría (FF), fase cálida (FC)-, DA y FR durante 1996-1998.	39
Figura 20. Variación interanual de la TSM, DA y FR durante 1996-1998.	40
Figura 21. Tendencias de las capturas por especies de camarón en el Golfo de Tehuantepec Tomado de: Sierra <i>et al.</i> , 2000.	54
Figura 22. Estadios y ciclo vital de camarones peneidos: (1) larvas, (2) nauplios, (3), protozoas (4) mysis, (5) postlarvas, (6) juveniles, (7) adultos, maduración y reproducción.	55
Figura 23. Principales variables medio ambientales que repercuten en el ciclo vital de <i>L.</i> <i>vannamei</i>	58
Figura 24. Curva de sobrevivencia de camarones peneidos. Tomado de: Gracia, 1992.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla I. Algunas variables ambientales involucradas en el ciclo de vida de la familia peneidae. Tomado de: García y Le Reste, 1986; Ponce-Palafox <i>et al.</i> , 1997.....	1
Tabla II. Imágenes de color del mar obtenidas para este trabajo.	14
Tabla III. Georreferencia del corte para las imágenes satelitales OCTS, SeaWiFS y AVHRR. ..	16
Tabla IV. Matriz de correlación de las variables analizadas, del periodo 1992-1998 ($\alpha < 0.05$ y $n = 65$).....	19
Tabla V. Temperaturas (en °C) y fecha aproximada en que se presentaron las cohortes más numerosas de <i>L. vannamei</i> en el Golfo de Tehuantepec.	26
Tabla VI. Periodos de veda para la captura de camarón en el Golfo de Tehuantepec. Tomado de: Sierra <i>et al.</i> , 2000.....	28
Tabla VII. Matriz de correlación de las variables analizadas, del periodo 1996-1998 ($\alpha < 0.05$, $n = 14$).....	29
Tabla VIII. Especies de camarones explotados en el Pacífico mexicano. Tomado de: Sierra <i>et al.</i> , 2000.....	53
Tabla IX. Estadios, alimento principal y comportamiento de camarones pendidos. Tomado de: Rodríguez de la Cruz y Rosales-Juárez, 1976.....	56
Tabla X. Característica espectrales de los sensores OCTS y SeaWiFS. Tomado de: Fonseca y Farias, 1987.	70
Tabla XI. Características espectrales del sensor AVHRR. Tomado de: Fonseca y Farias, 1987.	71

INTRODUCCIÓN

De las cuatro especies de camarón que son explotadas en el Golfo de Tehuantepec, el café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) y el blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) son las más importantes por su volumen de captura y demanda comercial. De acuerdo con el INP (2000), la tendencia de las capturas de ambas especies se reportó al descenso en las temporadas de pesca 1983-1984, 1987-1988, 1989-1990 y 1992-1993. A partir de la temporada de pesca 1995-1996, Sánchez-Meraz (2005) observó un aumento en las capturas de camarón café y continuó el descenso en las capturas de camarón blanco.

Durante 2002-2003, se reportaron capturas de 945 t de camarón, de éstas 50 % para el camarón café, 38 % para el blanco y 12 % de otras especies (INP, 2004). Cervantes-Hernández *et al.* (2006) evaluaron la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec entre 1960 y 2000, los autores indicaron que el óptimo de captura se alcanzó y superó desde finales de los años setentas y principios de los ochentas, lo cual sugiere, un estado de sobre-explotación de la pesquería y en mayor grado sobre la población de camarón blanco.

Los camarones de la familia penaeidae son invertebrados que habitan regiones intertropicales y subtropicales, con capacidades euri térmicas y eurihalinas. Algunos de los rangos ambientales y la afectación que éstos tienen en el ciclo de vida de esta familia, se indican en la Tabla I y Apéndice A (García y Le Reste, 1986; Sierra *et al.*, 2000).

Tabla I. Algunas variables ambientales involucradas en el ciclo de vida de la familia penaeidae. Tomado de: García y Le Reste, 1986; Ponce-Palafox *et al.*, 1997.

ESTADIO	T °C	Salinidad ‰	O ₂ mg * l ⁻¹
Larvas	25 - 30	28 - 35	5 - 7
Postlarvas	23 - 34	23 - 36	5 - 7
Adultos	26 - 32	23 - 35	5 - 7

Reyna-Cabrera y Ramos-Cruz (1998) indicaron que en el Golfo de Tehuantepec, el camarón blanco exhibe un patrón de distribución más cercano a las costas de Oaxaca y Chiapas que el camarón café. Los autores señalaron que la captura del camarón blanco se

realiza en la zona 90 del Golfo de Tehuantepec entre las tres y 20 brazas (5.5-36.6 m), mientras que la del café se desarrolla entre las 15 y 40 brazas (27.3-73.2 m).

La variación anual o interanual de la temperatura en la superficie del mar y la concentración de la clorofila ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ Cl *a*), son variables que delimitan la distribución y abundancia de los organismos (Krebs, 1985). Las variables ambientales en general tienen patrones de variación espacio temporal, que pueden ser mensuales, anuales o interanuales. Sin embargo, algunos procesos climáticos no siguen dichos patrones, tal es el caso de el evento “El Niño” (ENOS, Evento “El Niño-Oscilación del Sur”) y “La Niña” (entendida ésta última como una respuesta física que tiende a la estabilidad del sistema cuando termina el efecto de un evento “El Niño”). Al respecto, Bailey e Incze (1985) señalaron que aun cuando no existe un patrón espacio temporal en “El Niño”, su duración y magnitud afecta la distribución y abundancia de varios grupos de organismos de interés comercial. Por lo tanto, “El Niño”, la temperatura superficial del mar y la clorofila *a* deben ser incorporados en el estudio de la dinámica poblacional de especies marinas sujetas a explotación (Malone, 1971; Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1986; Gracia, 1992).

Actualmente, uno de los objetivos de la oceanografía biológica es comprender a macro-escala, los procesos asociados a los flujos de carbono en función de la variabilidad anual e interanual de la productividad primaria (Malone y Roederer, 1985). Sin embargo, debido a la dificultad técnica que representa el cuantificar esta variable en diversas regiones oceánicas (conservando la simultaneidad en tiempo), el uso de las imágenes de color del océano son una herramienta necesaria en el monitoreo de los cambios en la concentración de la clorofila *a* (Joint y Groom, 2000) (Ver apéndice C).

De acuerdo con Seijo *et al.* (1997) el manejo de un recurso pesquero es un proceso complejo que requiere la integración de su biología y ecología con los factores socio-económicos e institucionales que afectan al comportamiento de los usuarios (pescadores) y a los responsables de su administración. Según Hilborn y Peterman (1996) una de las principales fuentes de incertidumbre asociadas a la evaluación y ordenamiento de recursos en pesquerías marinas es la incertidumbre en las condiciones ambientales

futuras; por lo que es necesario, primero establecer las relaciones del recurso con las variables ambientales en las que desarrolla su ciclo de vida.

En concordancia con lo antes mencionado, esta tesis aborda el análisis de las fluctuaciones anuales e interanuales de la abundancia de adultos reproductores y reclutas del camarón blanco *L. vannamei* del Golfo de Tehuantepec, en relación con la concentración de clorofila *a*, temperatura superficial del mar y el índice multivariado del ENOS (IME), considerando el efecto por pesca, durante el periodo 1992-1998 en que se generaron registros de maquila comercial de camarón capturado en el Golfo de Tehuantepec, a través de un convenio entre la procesadora Ocean Garden y el Centro de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Salina Cruz, Oax. Todo ello con el fin de conocer las causas que han deteriorado la población de dichos organismos y que se refleja en menores capturas a cada temporada.

ANTECEDENTES

El conocimiento acumulado referente a la biología y ecología de las especies de camarones peneidos comerciales en el Pacífico mexicano, se limita a trabajos fragmentados temporal y geográficamente, por ejemplo: Rodríguez de la Cruz y Rosales-Juárez (1976); Arciniega Flores *et al.* (1998); Sepúlveda (1999); López-Martínez (2000); Hendrickx *et al.* (2002); López-Martínez *et al.* (2002); Godínez-Domínguez (2003).

Gulland y Rothschild (1984) remarcaron la importancia de establecer la relación entre reproductores y reclutas en las poblaciones de camarones. En este sentido el conocimiento existente en el Pacífico mexicano, lo constituyen los trabajos enfocados a establecer los patrones de reclutamiento y migración, destacan los de López-Guerrero (1969); Macías-Regalado (1973); Chávez *et al.* (1974); Medina-Reyna (1991); Sierra (1993); Ramos-Cruz (2000); García-Juárez *et al.* (2002) y Madrid-Vera *et al.* (2002).

Chávez (1979) realizó un trabajo con el fin de determinar el estado de explotación de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. Gracia (1989) y Carrasco-Ayuso (2005) estimaron la mortalidad total (Z) y la mortalidad natural (M) para *P. setiferus* y *L. vannamei*, mediante procedimientos basados en capturas por unidad de esfuerzo (CPUE). Cervantes-Hernández y Gracia (2003) proponen un modelo multivarido para establecer la relaciones stock-reclutamiento del camarón café en el área de Laguna Madre y Norte de Veracruz

Chávez (1979) menciona que las variables ambientales en el Golfo de Tehuantepec producen un reclutamiento permanente de camarón y la relación stock-reclutamiento (S/R) es poco perceptible. Álvarez *et al.* (1987) afirman que los efectos ambientales, normalmente interactúan con un periodo de retraso sobre la densidad de organismos de una población y sobre el crecimiento individual. Medina-Reyna *et al.* (1998) señalan que el reclutamiento de *Litopenaeus vanamei* se lleva a cabo en forma anual con dos máximos definidos (junio-septiembre y octubre-febrero) y que el reclutamiento puede ser de dos tipos: a) lagunar o estuarino y b) y litoral que sucede donde no hay bocas permanentes, lo que produce cinturones larvales neríticos.

Solana-Sansores *et al.* (1989) exploraron mediante técnicas multivariadas los valores de abundancia del número de individuos por clase de edad del camarón café *Penaeus aztecus* de las costas de Tamaulipas. Los valores obtenidos por análisis de población virtual (APV), sugirieron 22 clases de edad separados en dos grupos. Indicaron entonces que las dimensiones obtenidas correspondían al índice poblacional asociado a la fuerza de reclutamiento (FR) y el asociado a la densidad de adultos (DA).

Gracia (1991) reporta que el nivel de reclutamiento está relacionado con la abundancia de los reproductores y modificado por la influencia de variables ambientales, aunque la magnitud del reclutamiento, en gran medida está limitada por la capacidad de carga del hábitat que le sirve de área de crianza.

Pérez-Marrero *et al.* (1999) realizaron un estudio para asignar profundidades sensibles a las observaciones remotas de la temperatura superficial del mar (TSM), reportando que en aguas oceánicas con efectos de afloramiento costero (Gran Canaria y costa noroccidental de África), la temperatura derivada de imágenes del sensor AVHRR, para el patrón anual fue consistente con la correspondiente serie de mediciones *in situ* de 8 años, con un $R^2 = 0.98$ de la variabilidad explicada por el modelo de regresión hasta los 12 m aproximadamente y con una varianza media inferior a 0.5 °C hasta profundidades del orden de 30 m. Millán-Núñez *et al.* (1996) generaron algoritmos para relacionar el máximo de clorofila *a*, en profundidad con la concentración de clorofila superficial, para el Sistema de la Corriente de California.

Son varios los trabajos que utilizaron la TSM como variable principal en el pronóstico del reclutamiento y captura de especies de interés comercial, entre ellos los relacionados con la pesquería de la anchoveta en Perú y las pesquerías en la Corriente de California (Tsukayama, 1983 y Parrish *et al.*, 1981); otros donde se exponen y discuten varias estrategias en la relación entre variables hidroambientales, el comportamiento biológico-pesquero y del reclutamiento de la langosta (Pearce y Philips, 1988).

Solanki *et al.* (2001) mediante el análisis de imágenes de color del océano y temperatura superficial del mar reportaron una relación inversa y sobre posición entre la

concentración de clorofila y los rasgos de la TSM, por tanto sugiere que estos procesos físicos-bio-químicos están cercanamente acoplados.

Barocio-León (2005) realizó estimaciones de clorofila *a* y pigmentos fotosintéticos a partir de datos de imágenes de satélite para establecer variaciones espaciales y temporales de la biomasa fitoplanctónica y la productividad primaria.

El trabajo de Santamaría del Ángel *et al.* (1994) ha permitido establecer regiones biogeográficas en el Golfo de California y Frias-Velasco (2004) además establece que, en un escenario “Nortes no El Niño” en las áreas de Tehuantepec, Papagayo y Panamá la mayoría de las regiones se encuentran asociadas a efectos de surgencia provocadas por los chorros de viento. En un escenario de “Nortes-El Niño” presupone que el efecto de este último provoca el debilitamiento de las áreas de surgencia con valores bajos de Cl *a* afectando la conservatividad de las regiones.

Otros trabajos que han contribuido a caracterizar la periodicidad y magnitud de las surgencias, así como la periodicidad del evento interanual de “El Niño” en el Pacífico tropical oriental son los de: Fiedler (1992); Chávez *et al.* (1999); Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) y Gonzalez-Silveira *et al.* (2004).

Luch-Cota *et al.* (1997) definieron para el Golfo de Tehuantepec tres regiones de biomasa fitoplanctónica a partir de imágenes satelitales de color del océano, en compuestos mensuales de 1978 a 1986; la occidental considerada como oligotrófica la mayor parte del año (con picos en noviembre y diciembre debido a aguas productivas provenientes de la región central), la porción central con altas concentraciones de octubre a abril (con máximos en noviembre y enero) y por último la región oriental con aguas productivas de julio a octubre, reportando para la porción occidental concentraciones de $0.02 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ de pigmentos y de $0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ para la porción central y oriental.

Los estudios de biomasa fitoplanctónica realizados en cruceros oceanográficos durante la temporada de surgencias de enero y febrero de 1989 reportaron valores de hasta $11.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ de Cl *a* para la porción oeste y menores para la porción este y central, de 2.06 a $0.48 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ Cl *a* (Robles-Jarero y Lara-Lara, 1993).

Sánchez-Meraz (2005) estudió el efecto de “El Niño” sobre la producción de camarón café *F. californiensis* del Golfo de Tehuantepec, mediante el análisis de imágenes satelitales de TSM y el índice multivariado del ENOS (IME); las correlaciones entre los índices de abundancia poblacional como el índice de adultos reproductores (DA), el índice de reclutas (FR) y el IME fueron no significativas, sin embargo la tendencia se mostró inversamente proporcional. Por otro lado encontró correlaciones significativas entre la variabilidad interanual de la TSM y los índices de abundancia poblacional ($R_{FR-TSM} = 0.4804$, $p < 0.05$) y ($R_{DA-TSM} = 0.5996$, $p < 0.05$). Los máximos de DA ocurrieron en un nivel de temperatura ligeramente mayor (entre 29.2 y 29.8 °C) que la asociada a los máximos de FR (entre 27.2 y 28.5 °C) en sus cohortes más numerosas.

La percepción remota se presenta entonces, como una herramienta con gran potencial, que puede ayudar a entender la cercana relación que existe entre algunas variables ambientales y los procesos biológicos que se dan en el mar, debiendo entonces, utilizarla como herramienta de apoyo en el desarrollo de esquemas de explotación sostenible de los recursos pesqueros (Solanki *et al.*, 2001). En este caso el camarón es un recurso que requiere de un estudio complejo, que tome en cuenta la variabilidad ambiental en busca de su explotación racional, dada su importancia económica y social en el Golfo de Tehuantepec. Contexto dentro del que se plantea este trabajo, en el área de ecología de poblaciones de camarón.

HIPÓTESIS

En el Golfo de Tehuantepec, la abundancia del camarón café *F. californiensis* (Holmes, 1990) ha sido reportado con una correlación directamente proporcional con la concentración de clorofila *a*. Se espera obtener resultados similares en este trabajo, destacando la importancia que tiene la disponibilidad del alimento a través de la clorofila *a* en la temporada de reproducción de *L. vannamei* y en menor grado con la fuerza del reclutamiento. Así mismo, se tiene la perspectiva de una correlación significativa entre la abundancia poblacional y la temperatura superficial del mar y efectos significativos con respecto del evento “El Niño” y el esfuerzo de pesca.

OBJETIVO

Objetivo general

Analizar las fluctuaciones de la abundancia de los adultos reproductores y reclutas del camarón blanco del Golfo de Tehuantepec, en relación a la concentración de clorofila a , la temperatura superficial del mar, el esfuerzo de pesca y el índice multivariado del Evento “El Niño” Oscilación de Sur, durante el periodo 1992-1998.

Objetivos particulares

- Modelar la variación interanual de la abundancia a través de dos índices poblacionales, fuerza de reclutamiento (FR) y densidad de adultos reproductores (DA).
- Procesar y obtener la información mensual de la concentración de clorofila a (Cl a) a partir de imágenes de color del mar OCTS y SeaWIFS.
- Procesar y obtener la información mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) a partir de imágenes AVHRR.
- Obtener y analizar la correlación múltiple entre las variables FR, DA, TSM, Cl a , el Índice Multivariado de “El Niño” (IME) y esfuerzo de pesca (f_i).

METODOLOGÍA

Área de estudio

EL Golfo de Tehuantepec se localiza en la costa sur del Istmo de Tehuantepec, al sur de México entre los 14° 30'-16° 20' N y 92° 46'-96° 16' O (Figura 1). Pertenece a la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental (PTO), que se encuentra al sur de la Corriente de California (CC), al norte de la Corriente Surecuatorial (CSE) y de la Convergencia Intertropical. El flujo de masas de agua más importante es la Contracorriente Norecuatorial (CCNE) y está presente sólo una parte del año originando que la circulación marina varíe estacionalmente (Transviña-Castro y Barton, 1997).

En un ciclo anual, la CCNE inicia su formación entre mayo y julio, de agosto a diciembre presenta su máximo flujo con dirección a la línea de costa, convergiendo desde el norte con la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) cuyo flujo es del sur; durante este período, ambos flujos penetran en la región de la Corriente Norecuatorial (CNE). Entre febrero y abril, la CCNE y la CCCR no son evidentes en el Golfo de Tehuantepec (Transviña-Castro y Barton, 1997).

La región oriental del Golfo de Tehuantepec se caracteriza por ser somera y extensa en el área de la plataforma continental, a diferencia de la occidental, que es más profunda y menos extensa (Stumpf, 1975) (Figura 1).

Los vientos alisios provenientes del Hemisferio Norte se manifiestan intensamente en la región al iniciar la estación invernal, al llegar a la Zona de Convergencia Intertropical, éstos se desplazan al sur entre finales y principios de año y al norte a mediados de año. Estos desplazamientos están asociados a intensas precipitaciones pluviales, debido a la convección de los vientos. Esta dinámica atmosférica, genera dos temporadas climáticas bien definidas, la de lluvias de abril a octubre y la de secas de noviembre a marzo (Barton *et al.*, 1993). Entre octubre y abril, los vientos generan una circulación marina superficial que fluye desde el norte, hacia el sur y suroeste del Golfo.

En el sur de México la Sierra Madre se extiende con elevaciones típicas de 2000 msnm; en el Istmo de Tehuantepec su parte más estrecha mide 220 km de costa a costa, y la

Sierra en esa área tiene una interrupción de aproximadamente 40 km (Paso Chivela) con una elevación máxima de 250 msnm. Entre los meses de octubre-abril, las ondas frías que pasan a través de este paisaje (proviene del Golfo de México pero se originan en las praderas de América del Norte), al llegar a una atmósfera más cálida generan vientos intensos de descenso o de chorro conocidos como “Nortes” en el Golfo de México o “Tehuano” en la región del Golfo de Tehuantepec, con máximos de noviembre a febrero (Transviña-Castro y Barton, 1997). La influencia de los “Tehuano” se extiende cientos de kilómetros mar adentro con velocidades de entre 10 y 20 m * s⁻¹ y con rachas superiores a los 25 m * s⁻¹ (Lavín *et al.*, 1992; Barton *et al.*, 1993).

Los “Tehuano” en el Golfo de Tehuantepec, generan un desplazamiento de las masas superficiales de agua en sentido perpendicular a la línea de costa (Roden, 1961) y las aguas costeras de los extremos y del fondo (surgencia), libres del efecto del viento fluyen hacia la cabeza en el norte, para restituir el agua que está siendo arrastrada. Durante este periodo, el proceso disminuye la temperatura superficial del Golfo en el eje central de los vientos y lo separa en tres zonas: central, este y oeste (Álvarez *et al.*, 1989).

La circulación inducida por el viento en el Golfo fluye hacia el sur hasta latitudes de 12 ó 13° N donde se encuentra con la Corriente Norecuatorial, las corrientes superficiales promedian para junio-agosto una dirección de oeste a noroeste a lo largo de la costa alcanzando velocidades de 15 cm * s⁻¹ (Roden, 1961; Stumpf, 1975). Como el flujo es sinuoso se delinea un patrón en forma de S rotada 90° en sentido ciclónico y derivada de la capa discontinua de la picnoclina se origina una cordillera meridional en la mitad este y un valle en la mitad oeste. El cese de los vientos invernales restablece las corrientes costeras en su flujo promedio, durante este proceso un gran giro anticiclónico de aproximadamente 200 km de diámetro se desarrolla cerca de la costa en la parte oeste. Tomando en cuenta que el giro se ha observado en varias ocasiones cuando los vientos son abatidos, se ha propuesto la hipótesis de que el giro es una fase transitoria entre los sucesivos eventos de surgencias y la circulación restablecida en invierno (Stumpf, 1975).

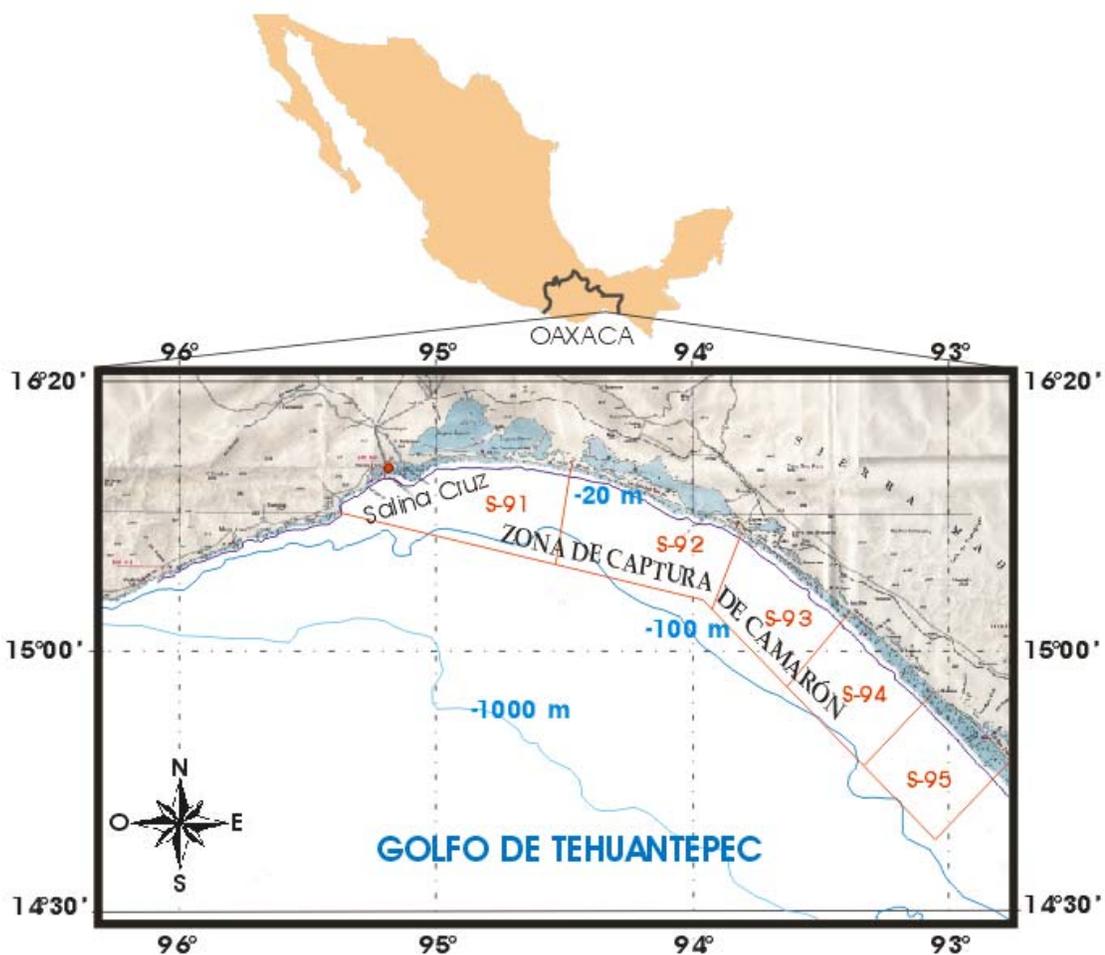


Figura 1. Batimetría del Golfo de Tehuantepec, zona 90 y subzonas de captura de camarón. Modificado de: Secretaría de Marina, 1999.

Variabilidad climática anual e interanual

En el Golfo de Tehuantepec, la variabilidad anual climática está influida principalmente por los vientos alisios, “Tehuano” y por el sistema de corrientes oceánicas del área. La variación climática interanual está determinada básicamente por eventos del tipo ENOS; los trabajos de Luch-Cota *et al.* (1997); Chávez *et al.* (1999) y Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) indican que se observa una fuerte disminución en la biomasa fitoplanctónica durante los eventos de “El Niño”, en gran medida originada por el retraso en los eventos de surgencia.

La temperatura superficial del mar en el Golfo, es la más alta de Pacífico Tropical Oriental (28-30 °C); en la época de vientos “Tehuano” va de 18 a 19 °C (Roden, 1961).

En el Golfo el área de captura de camarón se encuentra en la zona 90 y está subdividida en cinco subzonas: 91, 92, 93, 94, 95, extendiéndose desde la Bahía de Chipehua, Oaxaca hasta Puerto Madero, Chiapas (Figura 1). La captura del camarón blanco se realiza actualmente entre las tres y 20 brazas (5.5-36.4 m), mientras que la del camarón café se desarrolla entre las 15 a 40 brazas (27.3-72.8 m). En la línea de costa se encuentran marismas y lagunas costeras, sobresalen por su dimensión el Sistema Lagunar Huave en Oaxaca y el Mar Muerto, compartido entre Oaxaca y Chiapas, en estas áreas transcurre gran parte del ciclo biológico del camarón (Reyna-Cabrera y Ramos Cruz, 1988).

El análisis de sedimentos marinos del Golfo reveló que predomina la arena gruesa a limo mediano. La fracción gruesa representa del 35 al 75 % de los sedimentos a 35 brazas, decreciendo con la profundidad. Se observó que la contribución sedimentaria del continente es muy escasa (Estavillo y Campos, 1980).

Recopilación y procesamiento de la información poblacional de *L. vannamei*.

Se utilizó la matriz de abundancia virtual por grupos de edad de camarón blanco obtenida por Gallardo-Berumen (2005) y desarrollada en base al análisis de población virtual (APV) según Pope (1972). Los registros históricos del esfuerzo de pesca y maquila comercial de camarón blanco fueron proporcionados por el Centro Regional de Investigación Pesquera de Salina Cruz (CRIP-SC), Oaxaca; esta base de datos de 1992 a 1998 contiene los únicos registros de este tipo, para esta especie en la región y se obtuvieron bajo el convenio CRIP-UMAR: 2IR0403.

El APV opera con la ecuación general de captura y las funciones virtuales para estimar la abundancia (N_{t-1}) y la mortalidad por pesca (F_{t-1}) según Pope (1972). Los productos finales del APV son dos matrices, la primera de éstas modela el comportamiento histórico de la tasa de mortalidad por pesca por grupos de edad y la segunda modela la abundancia de la población natural para el total de los grupos de edad considerados (Sparre y

Venema, 1997). Se empleó la tasa de mortalidad natural (M) estimada en 0.20 mensual por Carrasco-Ayuso (2005).

A partir de la matriz de abundancia virtual obtenida mediante el APV, denominada X'_{APV} (68 cohortes x 16 grupos de edad) y de acuerdo con diversos autores (Chávez, 1979; Gracia *et al.*, 1997; Reyna-Cabrera y Ramos-Cruz, 1998) se identificaron los grupos de edad de camarón blanco más importantes, con los cuales se estructuró y modeló la variación interanual de la abundancia de los siguientes índices: la fuerza del reclutamiento (FR) basado en la edad de cuatro meses y la densidad de adultos reproductores (DA) que es el compuesto de las edades desde la primera maduración -siete meses-, hasta la edad de extinción -aproximadamente dieciséis meses-.

Recopilación y procesamiento de imágenes satelitales

Los promedios mensuales de los valores de clorofila *a* ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) se extrajeron de compuestos de imágenes de color del mar L₃ GAC (Global Area Coverage), obteniendo la media y la desviación estándar de los valores de dicha variable. Las imágenes de color que se obtuvieron para este trabajo se resumen por año y sensor en la tabla II.

Tabla II. Imágenes de color del mar obtenidas para este trabajo.

Año	Meses	Nombre del Sensor
1996	Noviembre, Diciembre	OCTS
1997	Enero-Abril, Septiembre-Diciembre	OCTS-SeaWiFS
1998	Enero-Abril, Julio-Diciembre	SeaWiFS

Las imágenes de los sensores OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) y SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor), fueron cedidas por la UABC y previamente procesadas mediante el programa Interactive Data Language (IDL) y reproyectadas a formato Hierarchical Data Format (HDF) con coordenadas mundiales latitud-longitud (lat-long) a 9 x 9 km. Los valores de la concentración de clorofila *a* están basados en el algoritmo citado en Liew *et al.* (2001), incluido en el modulo de procesamiento del programa SeaWiFS Data Análisis System (SeaDAS). Debido a la importación de las imágenes a ILWIS, los valores digitales (VD) en cada imagen fueron reclasificados a valores de Cl *a* empleado el algoritmo de Millán-Núñez *et al.* (1996).

$$[Cl\ a] = 0.03916 * \exp^{0.0274 * VD} \quad (1)$$

Los valores de TSM se extrajeron de imágenes AVHRR en compuestos mensuales L₃ GAC (Global Area Coverage), obteniendo la media y la desviación estándar de esa variable. Las imágenes fueron recopiladas de los registros históricos de la NASA, en la página: <http://podaac.jpl.nasa.gov/>

Los valores digitales (VD) en cada imagen AVHRR fueron reclasificados a valores TSM (°C) empleado el algoritmo para la serie NOAA - AVHRR “Pathfinder”:

$$^{\circ}C = (VD - 3.0) * 0.15 \quad (2)$$

A los compuestos mensuales de color del mar y TSM, se eliminaron los efectos continentales, de nubosidad y lagunares mediante el siguiente proceso:

- 1.- Aplicación de la función de reclasificación para transformar a su forma booleana los efectos antes señalados (mascara). En el caso de las imágenes de color, los VD se consideraron entre 0.02 y 12 (mg * m⁻³ Cl a). En las imágenes de TSM consistió en la sustitución de cero por aquellos valores de temperatura que se encontraron entre -4 y 16 °C y entre 38 y 40 °C, los VD que se conservaron estuvieron entre los 17 y 38 °C.
- 2.- El conjunto de las imágenes fue ecualizado con base en la aplicación de la correspondiente escala de color asociada a la concentración de Cl a y la temperatura superficial del mar. Para este efecto, fueron empleadas y aplicadas las paletas de color *pig. lut* (mg * m⁻³ Cl a) y de temperatura *sst. lut* (° C) proporcionadas por Frías-Velasco de la Universidad del Mar, Puerto Ángel.
- 3.- Al conjunto de las imágenes en escala verdadera, se les aplicó un filtro de pases bajos (median) para resaltar los valores de la variable de interés y se acotó el área de estudio entre las coordenadas descritas en la figura 2 y tabla III, mediante el programa WimSoft.

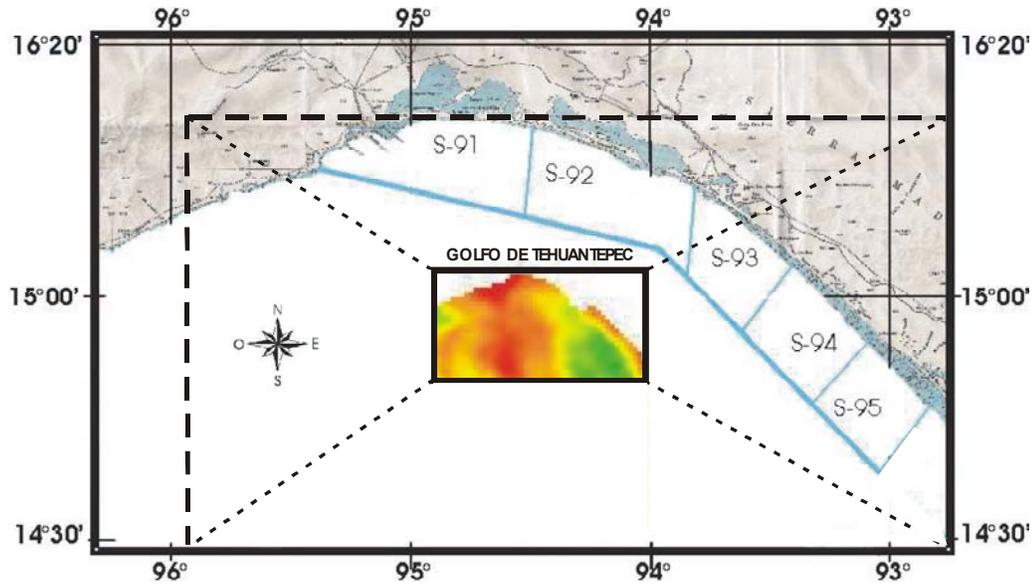


Figura 2. Recorte de imagen satelital, base del análisis estadístico del que se obtuvo el promedio mensual y desviación estándar de $Cl a$ y TSM.

En la tabla III proporciona las coordenadas del recorte satelital en la figura 2, con base en el que se realizaron los análisis estadísticos para obtener la media mensual de $Cl a$ y TSM.

Tabla III. Georreferencia del corte para las imágenes satelitales OCTS, SeaWiFS y AVHRR.

X mínima: 92° 31' 42'' O
X máxima: 95° 51' 18'' O
Y mínima: 14° 16' 55'' N
Y máxima: 16° 12' 54'' N

Los compuestos mensuales de las imágenes de TSM se compararon o calibraron mediante la distribución de χ^2 con relación a la serie TSM de Reynolds y Smith (1994) obtenida mediante la combinación de lecturas de barcos y boyas oceanográficas, además de correcciones con imágenes satelitales. En esta prueba estadística, la TSM de las imágenes AVHRR se consideró como la variable observada, mientras que la serie obtenida de la página del Boletín Integrado de Productos, Servicios y Sistemas Oceánico Globales (IGOSS, por sus siglas en inglés) http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/Reyn_SmithOiv1/monthly/.sst/, fungió como la serie esperada, con $n = 65$ datos.

Las características instrumentales y espectrales de los sensores OCTS, SeaWiFS y AVHRR se indican en el apéndice B.

Recopilación de la serie de datos para detectar la variabilidad interanual, debida al evento “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS) y “La Niña”

Para detectar la variabilidad interanual debida al evento “El Niño”, se empleó el índice multivariado del ENOS (IME) descrito por Wolter y Timlin (1998). El IME considera dentro de su análisis a seis variables: presión a nivel del mar meridional y zonal, componente del viento superficial, temperatura del aire, temperatura superficial del mar y la fracción total de nubosidad en el cielo. El índice es calculado bimestralmente con base en la técnica de componentes principales (ACP), y considera como datos de entrada la matriz de co-varianza generada entre las variables ambientales antes mencionadas.

El IME es interpretado de la siguiente manera: la fase cálida del ENOS se modela con base en valores de anomalía IME mayores a 0; mientras que la fase fría del ENOS, se asocia a valores menores a 0. Entre 0 y 1 el ENOS se considera de baja magnitud, entre 1 y 2 de magnitud media y mayor a 2 de magnitud fuerte. La misma interpretación se considera en la escala negativa para modelar la “La Niña”. La serie IME para el periodo de estudio se obtuvo de los registros históricos del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration (NOAA) en: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/table.html>.

En la serie IME se manifestaron dos anomalías cálidas, la primera entre 1992 y 1995 con un comportamiento oscilante y de acuerdo con estos autores se registraron eventos “El Niño” de magnitud media al inicio de 1992, entre abril-junio de 1993 y de octubre de 1994 a marzo de 1995 (Figura 3). En la segunda anomalía cálida (1997-1998) se destacan dos máximos, el primero entre los meses de junio-octubre de 1997 y el segundo en marzo-mayo de 1998. Cabe señalar que en 14 de los 17 meses que duró esta segunda anomalía los valores se mantuvieron por arriba de 2, registrándose un evento “El Niño” de magnitud fuerte reportado en el trabajo de Murtugudde *et al.* (1999).

En cuanto a anomalías frías, en la figura 3 se observa una de septiembre de 1995 a marzo de 1997, considerada como “La Niña” en nivel débil y el inicio de otra a partir de agosto de 1998 con valores que la caracterizaron como “La Niña” en nivel moderado.

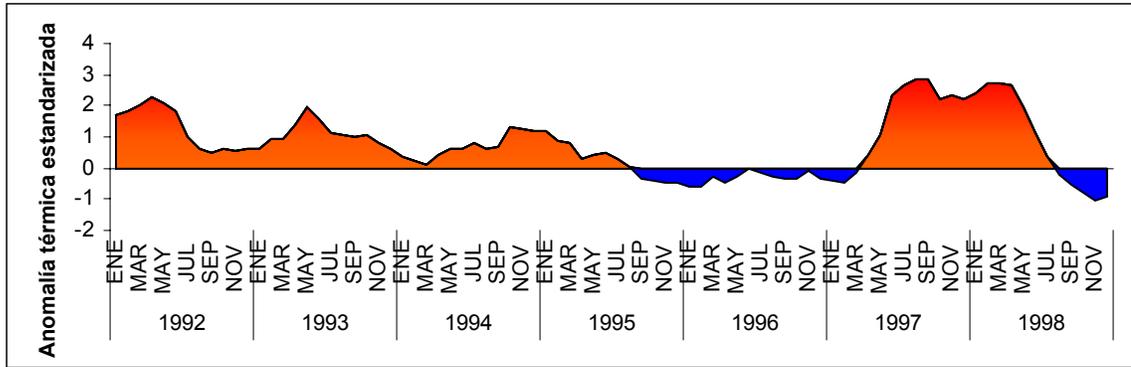


Figura 3. Índice IME para la variación interanual de las fases frías y cálidas.
Tomado de: Wolter y Timlin, 1998.

Análisis estadísticos

1. Se generó la matriz de correlación en función de la variación interanual registrada para el periodo de estudio 1992-1998, con el siguiente grupo de variables:

- Fuerza del reclutamiento observada (FR) (N° organismos)
- Densidad de adultos observada (DA) (N° organismos)
- Esfuerzo de pesca (f_i) (N° de viajes)
- Temperatura superficial del mar (TSM) (°C)
- Índice multivariado del ENOS (IME)

2. Se obtuvo el patrón de la variación anual para los índices DA, FR, TSM y f_i , mediante el subprograma de Descomposición Estacional del módulo Análisis de Series de Tiempo contenido en el programa Statistica 5.1, 1998.

3. Se generó la matriz de correlación en función de la variación interanual de las variables mencionadas en el punto 1 y los valores de clorofila a , únicamente para el periodo 1996-1998, en que se obtuvieron imágenes de color del océano (programa Statistica 5.1, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Análisis de las series 1992-1998

La matriz de correlación que se obtuvo con la interacción de las variables antes mencionadas, fue la siguiente:

Tabla IV. Matriz de correlación de las variables analizadas, del periodo 1992-1998 ($\alpha < 0.05$ y $n = 65$).

	DA	FR	TSM	<i>f</i> _i
FR	0.7372 p = 0.000			
TSM	0.0098 p = 0.938	-0.4506 p = 0.000		
<i>f</i>_i	-0.0701 p = 0.579	0.1326 p = 0.292	-0.6007 p = 0.000	
IME	-0.3282 p = 0.008	-0.4532 p = 0.000	0.3779 p = 0.002	-0.0563 p = 0.656

Correlación entre los índices poblacionales, asociado a la fuerza de reclutamiento (FR) y a la densidad de adultos (DA) de *L. vannamei*.

La variabilidad interanual entre los índices poblacionales asociados a la densidad de adultos reproductores (DA) y la fuerza de reclutamiento (FR) de *L. vannamei* resultó en una correlación directamente proporcional y significativa ($R_{DA-FR} = 0.7372$, $p < 0.05$); y explicable tomando en cuenta que provienen de la misma resultante de la reconstrucción virtual su población y que están ligados por una relación Stock-Reclutamiento.

Correlación del esfuerzo de pesca (*f*_i) con los índices DA y FR de *L. vannamei*.

En la figura 4 se observan las seis temporadas de captura que abarca este trabajo y sus respectivas temporadas de veda en alta mar. El esfuerzo de pesca en el periodo de 1992-1998 tiene una ligera tendencia a la baja, con máximos de 196 viajes al inicio y mínimos pronunciados en las temporadas 1993-1994, 1995-1996 y 1996-1997 pero que se mantuvieron sobre 100 viajes mensuales, una recuperación en la temporada 1994-1995 con 170 viajes y finalmente en la temporada 1997-1998 un repunte en los meses de enero-marzo con 175 viajes.

Así mismo se ejemplifica la evolución de los índices DA y FR con tendencia a la baja en ambos casos. Se observa un máximo del índice DA en el mes de octubre de 1993 y bajos valores en el largo periodo de marzo de 1994 a noviembre de 1995; posteriormente una recuperación en septiembre del 1996 y por último una larga tendencia negativa en el periodo 1997-1998.

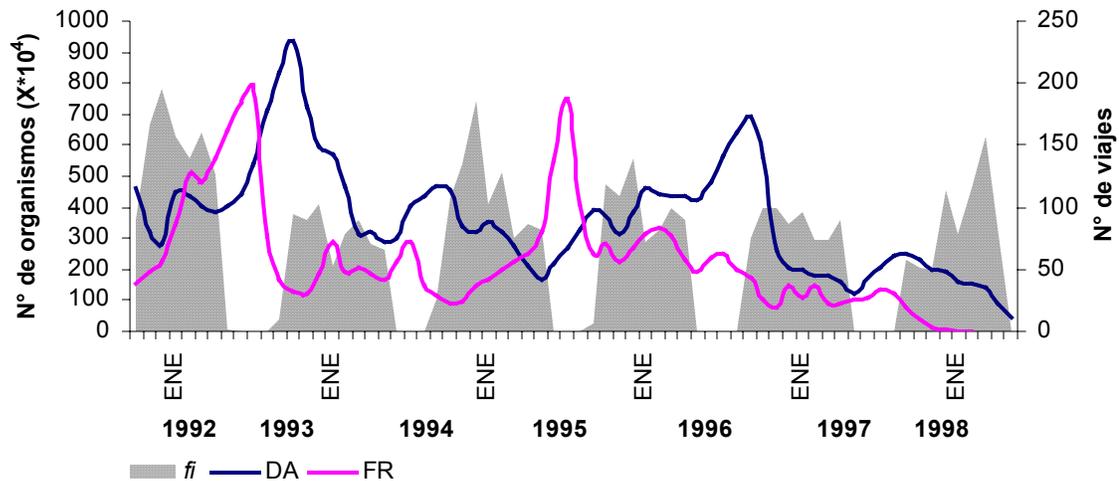


Figura 4. Variación interanual de los índices de abundancia poblacional DA, FR y de f_i durante 1992-1998 (las temporadas de captura se indican en sombreado).

El índice FR (Figura 4) indica un máximo en julio de 1993 y otro en 1995, a partir de septiembre de 1995 el índice de reclutas inicia una tendencia a la baja hasta el final del periodo de estudio.

Respecto a la evolución del esfuerzo de pesca, los índices no se correlacionaron significativamente ($R_{DA-f_i} = -0.0701$, $p > 0.05$) y ($R_{FR-f_i} = 0.1326$, $p > 0.05$). En la figura 4 se observa que la tendencia de los índices de abundancia poblacional de *L. vannamei* fueron a la baja; comparando la figura 4 con la 7, se observó que las capturas totales para Oaxaca no tuvieron esa tendencia. Sierra *et al.*, 2000 y Gallardo-Berumen (2005) indican que la biomasa capturada de camarón café *F. californiensis* se reportó en niveles estables, podemos inferir que la flota camaronera orienta en primer lugar el esfuerzo al camarón blanco, (por estar más cerca de la costa y a menor profundidad) para dirigirse posteriormente al camarón café, constituyendo la principal causa de la baja correlación observada entre los índices poblacionales de *L. vannamei* y el esfuerzo de pesca.

Por otro lado, comparando el valor de correlación, se observó que la tendencia fue positiva para $FR-fi$ y negativa para $DA-fi$; este efecto negativo del esfuerzo de pesca sobre los reproductores se debe a la disposición de los periodos de veda y al efecto de la talla de captura de los artes de pesca. Es decir, que se estuvo pescando en mayor medida tallas de más de siete meses.

Un aspecto de interés a resaltar es que Sierra *et al.* (2000) sugieren que la disminución de las capturas de camarón en Salina Cruz se debe a que ahora se reportan en otros puertos como Puerto Madero, Chiapas. Lo anterior contrastó con la revisión de los Anuarios Estadísticos de Pesca (SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999) (Figura 5 y 7) indicando que aun cuando la tendencia del esfuerzo de pesca hacia el camarón en Salina Cruz ha tenido históricamente tendencia a la baja (Figura 5), las capturas totales de camarón se han mantenido estables y aun a la alza para el periodo 1997-1999 (Figura 6). Aun cuando la flota camaronera de Chiapas se ha mantenido estable y con aparente reactivación de 1997-1999, sus capturas reportadas se observan menores que para Oaxaca.

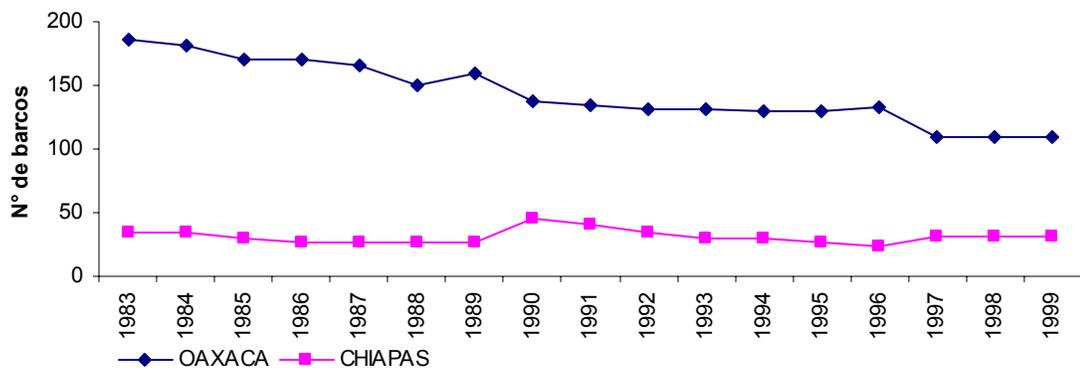


Figura 5. Esfuerzo de pesca (fi) hacia el camarón en el Golfo de Tehuantepec durante 1983-1999. Tomado de: SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999.

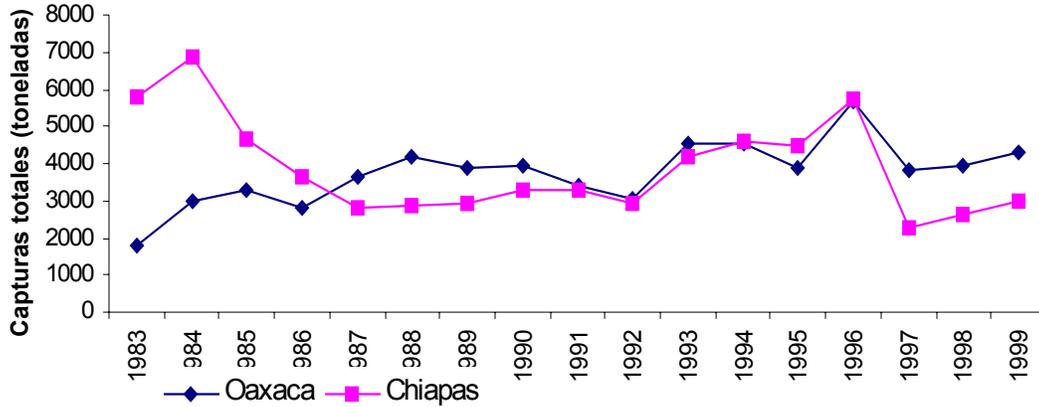


Figura 6. Capturas totales de camarón en el Golfo de Tehuantepec durante 1983-1999. Tomado de: SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999.

El patrón de densidad de adultos reproductores y fuerza de reclutamiento de *L. vannamei* y el esfuerzo de pesca (Figura 7) permitió distinguir un máximo en la densidad de adultos en el mes de septiembre y otro más pequeño en enero. Siendo que la continuidad reproductiva está ligada a los adultos, pudo inferirse que estos picos correspondían a los periodos de máxima reproducción y concordaron con lo observado por Medina-Reyna *et al.* (1998) en la laguna del Mar Muerto, es decir que existe reclutamiento de poslarvas a la laguna durante todo el año con dos máximos en junio-septiembre y octubre-febrero. En cuanto a la fracción de la población que se recluta a la pesquería (FR) se observó un máximo en junio-julio y mínimo en octubre-noviembre.

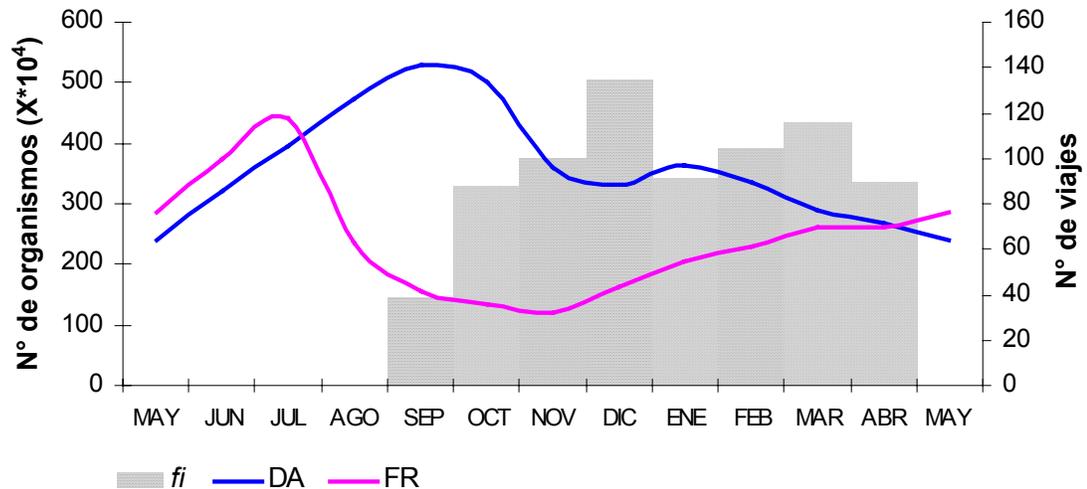


Figura 7. Patrón de la variación de los índices DA, FR y f_i respecto al periodo de veda (sección en blanco de la gráfica) y temporada de captura (sombreado).

Puede observarse también que el periodo de veda en altamar (en los sistemas lagunares no existe) protege los máximos del índice FR (junio-julio), mientras que la temporada de captura permite la explotación de los máximos del índice DA (septiembre-octubre y enero) con ello puede inferirse que no se está protegiendo a los potenciales reproductores de la especie y esta situación puede ser uno de los factores que está influyendo en su decadencia; lo anterior concuerda con lo observado por Gallardo-Berumen (2005) en el sentido de que se está sobre explotando a los reproductores.

Si se observa en la figura 7 el número promedio de viajes de 1992 a 1998, hubo una baja importante en el esfuerzo de pesca aproximadamente en el mes de enero. Este es uno de los meses en que se presenta con mayor intensidad el evento de los “Tehuano” y estaría indicando que las condiciones meteorológicas influyeron negativamente en la captura de camarón.

Correlación del índice multivariado del ENOS (IME) con los índices DA y FR

La correlación entre los índices DA, FR e IME: ($R_{\text{IME-DA}} = -0.3282$, $p < 0.05$; $R_{\text{IME-FR}} = -0.4532$, $p < 0.05$) (Tabla IV), fue inversamente proporcional y significativa.

En este sentido Sánchez *et al.* (2000), reportaron para el estudio de los efectos de “El Niño” 1997-1998 en los ecosistemas costeros marinos de Perú, inicialmente una baja concentración de nitratos debido al hundimiento de la oxiclina y nutriclina. Posteriormente se observó una baja concentración de plancton y organismos típicos de aguas ecuatoriales, sub-tropicales y tropicales. La anchoveta que tradicionalmente sostenía la pesquería de esa costa terminó por desplazarse al sur a aguas más frías y profundas. Se produjo en primer término una alteración en la biomasa fitoplanctónica que modificó la cadena trófica y además los organismos respondieron conductualmente al cambio de temperatura.

En la figura 8 en las fases iniciales o finales de las anomalías, cuando se suponen niveles débiles de “El Niño” o “La Niña”, estos coincidieron con los valores altos de los respectivos índices poblacionales, esto puede deberse a la readecuación de las condiciones físico-químico-biológicas, que organismos como el camarón aprovechan eficientemente para desarrollarse en concordancia con su estrategia de sobrevivencia

(apéndice A). Por otro lado, cuando se prolonga la anomalía o sus niveles de intensidad son muy altos los índices poblacionales decaen.

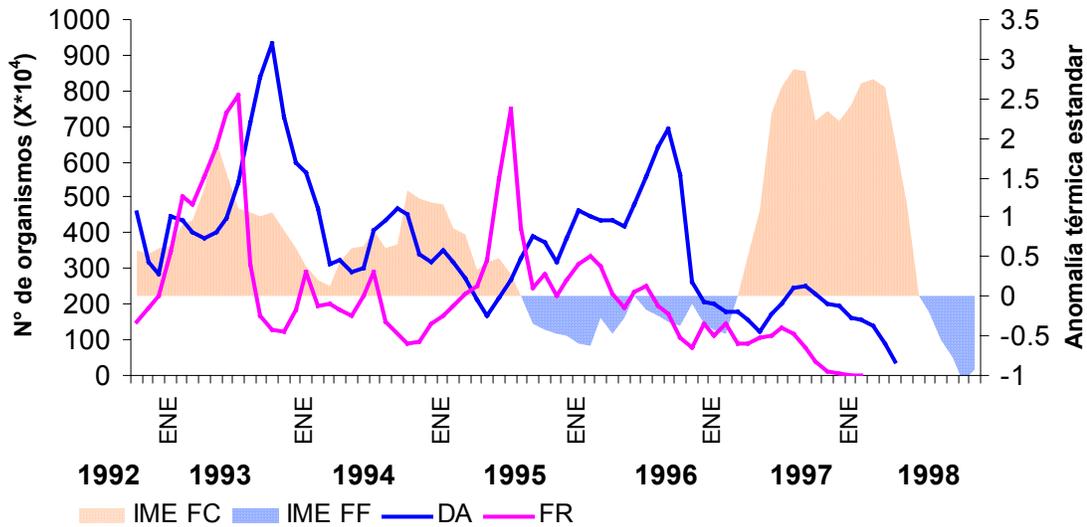


Figura 8. Variación interanual de los índices DA y FR respecto al IME, en sus fases cálidas (FC) y fases frías (FF) durante 1992-1998.

Correlación de la temperatura superficial del mar (TSM) con los índices DA y FR

La correlación fue respectivamente ($R_{TSM-DA} = 0.0098$, $p > 0.05$ y $R_{TSM-FR} = -0.4506$, $p < 0.05$), inversamente proporcional y significativa de la TSM respecto a la FR y no significativa entre la TSM y DA.

La correlación existente entre la TSM y FR puede explicarse tomando en cuenta que los reclutas son organismos que están incorporándose al mar desde la zona nerítica o cuerpos lagunares. De acuerdo con Cervantes-Hernández (2006, UMAR, comunicación personal) uno de los indicadores para salir de las lagunas es el descenso de la temperatura del agua, derivando éste de la aportación de agua desde los ríos; esta agua con gran contenido de sólidos disueltos también les acompaña a la salida de las bocanarras lagunares, dicha condición es aprovechada por el camarón para esconderse de los depredadores y para asegurarse de alimento en su condición de detritófagos. En cambio los adultos son organismos ya establecidos en el bentos, y por tanto se explica la no correlación entre TSM y DA.

La TSM en el periodo de estudio fluctuó de 27.43 a 31.21 °C rebasando los periodos óptimos de sobrevivencia y crecimiento (28 a 30 °C), con déficit de noviembre a marzo y por superávit de mayo a septiembre (Figura 9). Sin embargo nunca se rebasaron valores extremos que de acuerdo con Ponce-Palafox *et al.* (1997) fueran críticos para la población de *L. vannamei*. Como ya se mencionó, estos organismos se encuentran en aguas marinas, salobres y dulces; donde la lluvia y la evaporación expone a la especie a amplias variaciones de temperatura y salinidad.

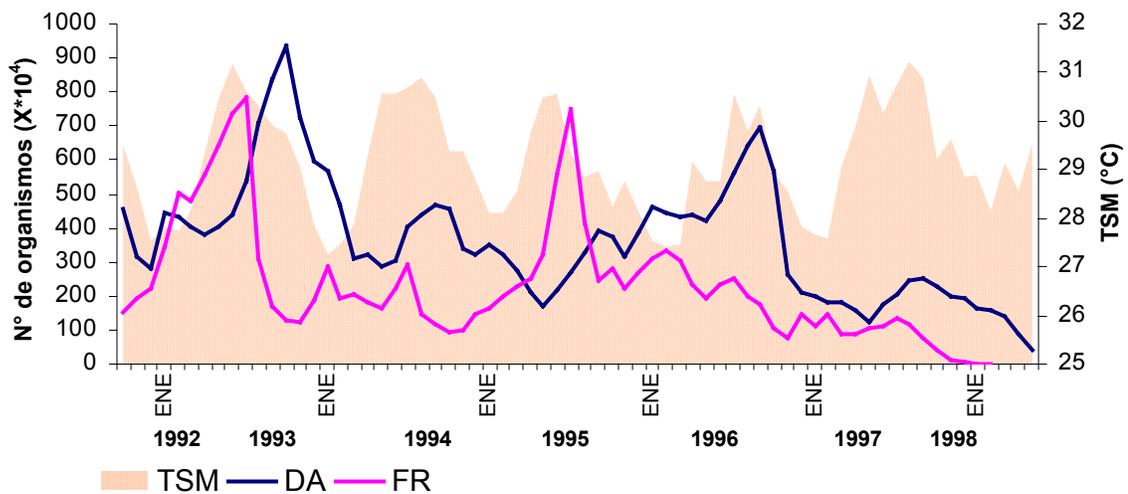


Figura 9. Variación interanual de los índices DA, FR respecto de la TSM durante 1992-1998.

La media de los valores de TSM obtenidos del procesamiento de imágenes fue de 29.17 °C, con una mínima de 27.43 °C en febrero de 1996 y máxima de 31.21 °C en agosto de 1997; al comparar la serie de TSM obtenida de las imágenes con los valores tomados del Boletín Integrado de Productos, Servicios y Sistemas Oceánicos Globales (IGOSS, por sus siglas en inglés), se obtuvo que los valores observados fueron significativamente iguales a los esperados (χ^2 calculada = 4.74, χ^2 de tablas = 83.67, gl = 64, p = 0.05).

De las cohortes más munerosas, obtenidas por los promedios mensuales de los índices DA y FR de *L. vannamei* y su relación con la TSM se obtuvo la tabla V.

Tabla V. Temperaturas (en °C) y fecha aproximada en que se presentaron las cohortes más numerosas de *L. vannamei* en el Golfo de Tehuantepec.

Temperaturas para FR	Mes-año	Temperaturas para DA	Mes-año
30.60	Julio-1993	29.93	Septiembre-1993
30.71	Julio-1994	30.50	Septiembre-1994
29.33	Julio-1995	28.96	Septiembre-1995
30.57	Julio-1996	30.33	Septiembre-1996
30.78	Julio-1997	30.89	Septiembre-1997

Los máximos del índice FR ocurrieron en el mes de julio de cada año, cuando la temperatura superficial del mar fluctuó entre 29.33 y 30.71 °C, temperaturas ligeramente superiores (excepto en 1997, Tabla V) a aquellas en que ocurrieron los máximos de la DA, en el mes de septiembre de cada año (entre 28.96 y 30.50 °C). Este hecho indica que los reclutas a la pesquería se benefician de mayores temperaturas para llegar pronto a la talla de madurez y los adultos aprovechan la creciente disponibilidad de alimento relacionadas con bajas temperaturas para reproducirse, en concordancia con la literatura (Solanki *et al.*, 2001; Parrish *et al.*, 1981; Pauly y Tsukayama, 1983; Sánchez-Meraz, 2005) y la hipótesis de este trabajo.

Para apreciar mejor la relación de la TSM respecto a los índices poblacionales DA y FR, se recurrió al patrón de variación (Figura 10), donde se observa que los valores altos de los índices poblacionales se asocian a altas temperaturas, siendo mayores los asociados al índice FR.

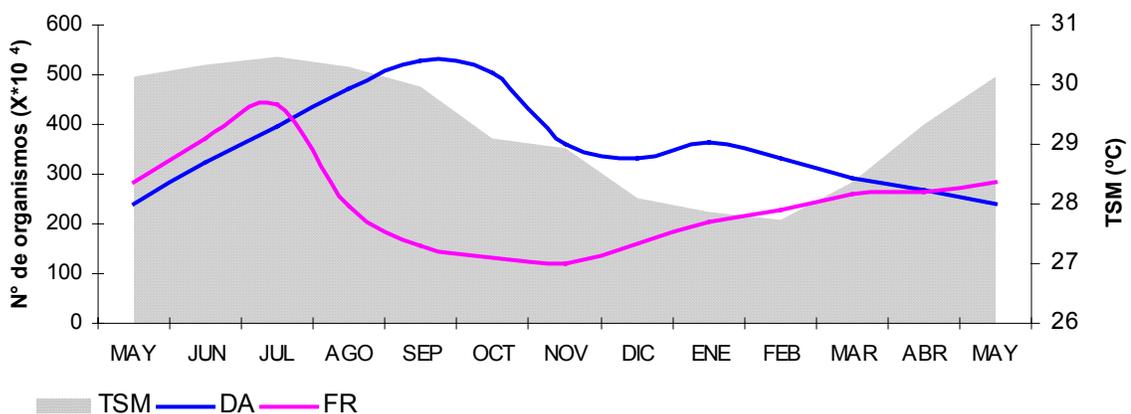


Figura 10. Patrón de la variación anual de los índices DA y FR respecto a la TSM.

Correlación entre el IME, la TSM y el *fi*.

Se obtuvo una correlación positiva y estadísticamente significativa entre los valores del índice IME con los valores de TSM extraídos de las imágenes satelitales ($R_{\text{IME-TSM}} = 0.3779$, $p < 0.05$) (Tabla IV).

La causa principal de la correlación entre el IME y la TSM es que la temperatura superficial del mar es una de las variables que se incorporan para obtener dicho índice.

La temperatura superficial del mar tiene un patrón de variación, con máximos en julio y mínimos de diciembre a febrero (Figura 10). Sin embargo el efecto de las anomalías, en la fases frías (IME FF) 1995-1996 y cálida (IME FC) 1997-1998, alteraron la distribución de la temperatura (comparadas con 1993 y 1994) (Figura 11).

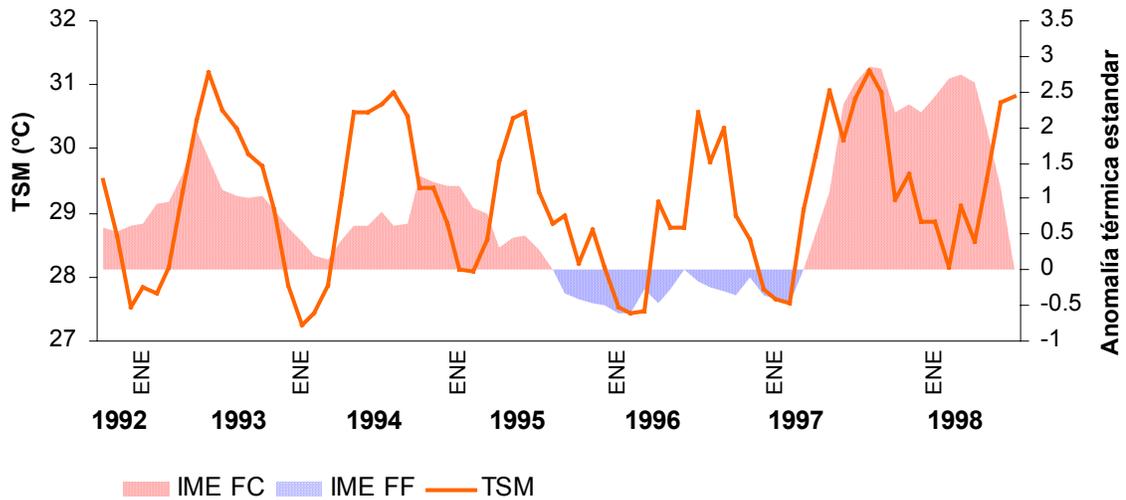


Figura 11. Variación interanual del IME -fases cálidas (FC), fases frías (FF)- y la TSM durante 1992-1998.

Entre la TSM y el *fi* la correlación fue inversamente proporcional y significativa ($R_{\text{TSM-}fi} = -0.6007$, $p < 0.05$) (Tabla IV).

Con la figura 12 se hace evidente que la correlación significativa entre la TSM y *fi* se debió a que los meses en que se abre la temporada de captura (finales de septiembre a inicios de mayo, segmentos bajo la línea negra) coincidieron con aquellos en que se enfría la superficie del mar por el efecto de los “Tehuano”. Posiblemente la productividad generada por los “Tehuano” y los aportes continentales debido a las lluvias (que se presentan de mayo a septiembre) permitan la captura de camarón hasta

mayo, aunque de acuerdo con Gallardo-Berumen (2005) prolongar hasta ese mes la captura, propicia la sobre-explotación de la especie.

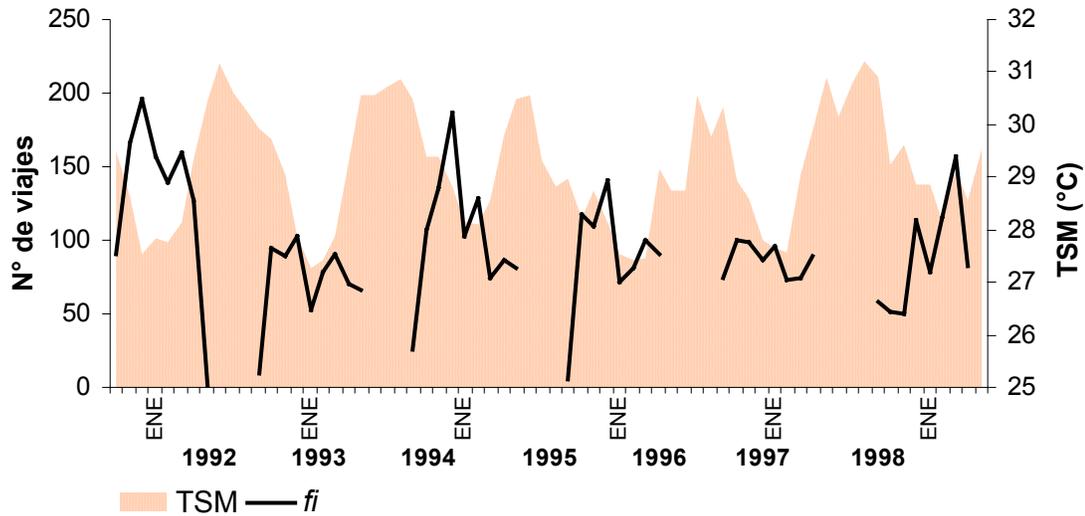


Figura 12. Variación interanual de la TSM y f_i durante 1992 -1998.

El Golfo de Tehuantepec se incluyó por primera vez en el programa de vedas de alta mar, en 1973 con el motivo fundamental de proteger el desove del camarón y desde 1980 se aplicó desde el 15 de julio al 15 de septiembre para proteger también su crecimiento. En la tabla VI se observan las fechas de veda para el Golfo de Tehuantepec durante el periodo de estudio (Sierra *et al.*, 2000).

Tabla VI. Periodos de veda para la captura de camarón en el Golfo de Tehuantepec. Tomado de: Sierra *et al.*, 2000.

AÑO	ALTAMAR	AGUAS PROTEGIDAS
1993	5 mayo - 13 septiembre	Lagunas y estuarios
1994	11 mayo - 14 septiembre	sin implementación
1995	1º mayo - 10 septiembre	de veda
1996	21 abril - 11 septiembre	
1997	26 abril - 10 septiembre	
1998	28 mayo - 20 septiembre	

A partir de 1995 se realiza la apertura o cierre de la temporada de pesca mediante acuerdos del Instituto Nacional de la Pesca con el sector social y privado en una reunión técnica, mediante el análisis de las evaluaciones poblacionales realizadas durante el periodo de veda y captura. El análisis cuantitativo inicialmente estuvo basado en el modelo de Schaefer (1954), en la versión dinámica propuesta por Hilborn y Walters (1992) utilizando datos de captura y esfuerzo. En segunda opción se utilizó el modelo

estructurado por edades de Deriso (1980), que incorpora aspectos biológicos como crecimiento, sobrevivencia y reclutamiento (Sierra *et al.*, 2000).

Actualmente el manejo de recursos pesqueros en el Golfo de Tehuantepec trata de establecer Puntos de Referencia Biológicos (PRB). El uso del modelo dinámico de biomasa en el manejo de recursos pesqueros se basa en que la Producción Excedente Máxima (PEM) se obtiene cuando la biomasa de la población se encuentra a la mitad ($B_0/2$) de lo que tendría en su condición virgen y si este nivel de biomasa se mantiene constante, entonces es posible obtener lo que se conoce como el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS). Por consiguiente, el objetivo de manejo es llevar la biomasa de la población al nivel donde la producción excedente es máxima (BPEM). Esto es, extraer sólo lo que la población produce en exceso (Sierra *et al.*, 2000).

La correlación entre el IME y f_i fue no significativa.

II. Análisis de las series 1996-1998 con valores de clorofila a

Se obtuvo la siguiente matriz de correlación para el periodo 1996-1998 en que se obtuvieron valores de clorifila a ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \text{Cl } a$).

Tabla VII. Matriz de correlación de las variables analizadas, durante el periodo 1996-1998 ($\alpha < 0.05$, $n = 14$).

	DA	FR	TSM	f_i	IME
FR	0.4607 p = 0.097				
TSM	0.2138 p = 0.463	-0.5587 p = 0.038			
f_i	-0.3549 p = 0.213	0.0155 p = 0.958	-0.2851 p = 0.323		
IME	-0.2707 p = 0.349	-0.9112 p = 0.000	0.5127 p = 0.061	0.0848 p = 0.773	
Cl a	0.4064 p = 0.149	0.8699 p = 0.000	-0.5864 p = 0.028	-0.0858 p = 0.770	-0.8582 p = 0.000

Correlación de la serie de valores de clorofila a con los índices DA y FR

La tabla VII permite observar una correlación similar a la observada en el primer análisis (Tabla IV p. 19), entre los índices poblacionales asociados a la densidad de adultos

reproductores (DA) y la fuerza de reclutamiento (FR) ($R_{DA-FR} = 0.4607$, $p = 0.097$); entre el índice FR y la clorofila la correlación fue directamente proporcional y estadísticamente significativa ($R_{FR-CI} = 0.8699$, $p < 0.05$); por último la correlación no fue significativa estadísticamente (pero importante) de DA con la clorofila a ($R_{DA-CI} = 0.4064$, $p = 0.149$).

En la figura 13 se observan los periodos en que se obtuvieron valores de clorofila, la tendencia a la baja de los índices DA y FR en el nivel más bajo de abundancia en el periodo de estudio, siguió en términos generales la tendencia a la baja de la clorofila.

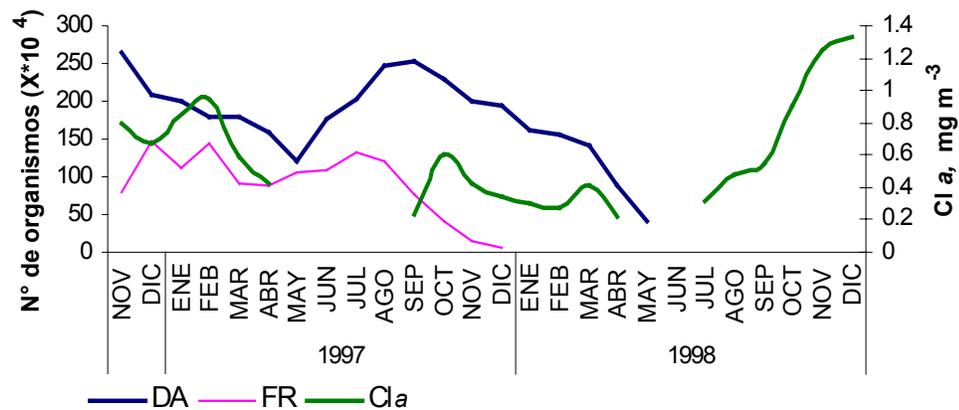


Figura 13. Variación interanual de los índices DA, FR y valores de clorofila a durante 1996-1998.

En febrero de 1997 sucedió un máximo en los valores de clorofila a ($1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) que de acuerdo con Robles-Jarero y Lara-Lara (1993), Luch-Cota *et al.* (1997) y Frías-Velasco (2004) se debió a la acción de los “Tehuano”. Con los altos valores de clorofila coincide un repunte en el índice FR; a partir de marzo los valores de clorofila inician una prolongada tendencia a la baja. Entre septiembre de 1997 y mayo de 1998 se observaron bajos valores de clorofila, con un repunte de $0.8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en octubre. Estos bajos valores coinciden con la tendencia negativa de los índices de abundancia poblacional de *L. vannamei* que los lleva a ser los más bajos del periodo de estudio.

No se dispuso de datos para relacionar el tercer periodo de valores de clorofila con los índices DA y FR (junio a diciembre de 1998).

Sánchez-Meraz (2005) analizó la fluctuación de la abundancia del camarón café en función de la variación interanual de clorofila a , las correlaciones que obtuvo entre los

índices poblacionales y la clorofila fueron: ($R_{DA-CI} = 0.65$, $p < 0.05$), ($R_{FR-CI} = -0.6789$, $p < 0.05$).

Dadas las correlaciones obtenidas en este trabajo parece ser que los adultos de camarón blanco, por su hábitat (más cercano a la costa que el café) depende en mayor medida de los alimentos arrastrados por los ríos y el detritus. Los reclutas aunque también pueden depender del alimento arrastrado por los ríos, la significativa correlación positiva indicó que son beneficiados por la biomasa fitoplanctónica

Correlación de los valores de clorofila *a* con el IME

La tabla VII indica que la correlación entre los valores de clorofila *a* y el IME fue inversa y significativa ($R_{CI-IME} = -0.8582$, $p < 0.05$).

En la figura 14 se observa el compuesto de las imágenes satelitales que se obtuvieron para clorofila *a* durante el periodo de estudio y el gráfico de sus valores promedio respecto al gráfico de las fluctuaciones del IME. Los periodos con mayores valores de clorofila *a* (en las imágenes, el verde representó baja concentración de clorofilas y entre más rojo fue mayor la concentración) coincidió con las fases frías del IME y los menores con la fase cálida. Al final de la fase cálida los valores de clorofila *a* aumentan con el tiempo al igual con la intensidad de la fase fría; en cambio el primer periodo de valores de clorofila disminuye a medida que se acerca la fase cálida “El Niño”.

Luch-Cota *et al.* (1997), Chávez *et al.* (1999), Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) y Frías-Velasco (2004) indican que en un evento “El Niño” los vientos “Tehuans” son inhibidos y por lo tanto también sus efectos en las surgencias. Magaña *et al.* (2000) reportaron que para Tehuantepec en invierno y verano la precipitación pluvial disminuye en “El Niño”; mientras que para “La Niña” la precipitación presenta valores normales o por arriba de la media. Los autores también señalan que los diferentes eventos “El Niño” han derivado en diferentes condiciones de precipitación, dependiendo de sus intensidades y duración.

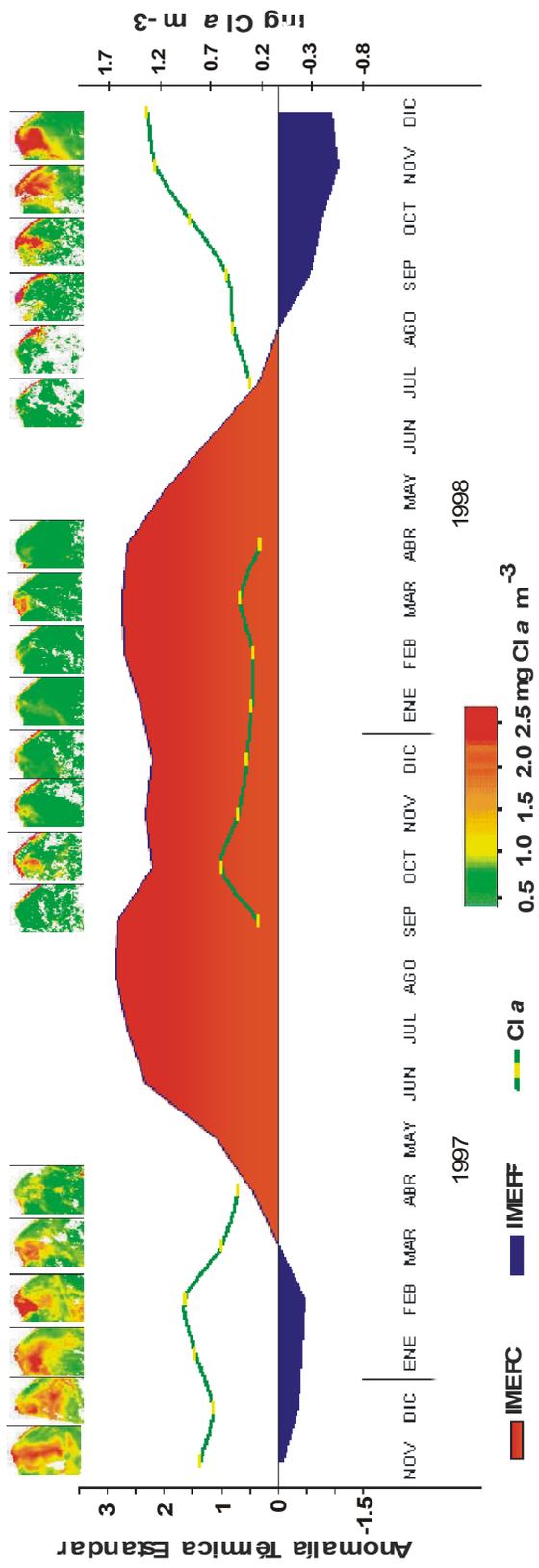


Figura 14. Variación interanual de Clorofila *a* con respecto a las fluctuaciones del IME en la fase cálida (FC) y fases frías (FF) en el Golfo de Tehuantepec entre 1996-1998.

Con base en lo propuesto por los autores antes citados, en la figura 15 se hace un análisis de la serie de imágenes satelitales, bajo el supuesto de que un evento “El Niño” o “La Niña” modifica la dinámica de los vientos y precipitación de la región, hundiendo o haciendo aflorar la nutriclina que deriva en menor o mayor producción primaria, repercutiendo en la cadena alimenticia. Los diferentes ENOS se observan marcados con barras azules “El Niño” y barras rosas “La Niña”.

En la figura 15 se observan las imágenes de TSM ordenadas por año en sentido vertical, desde 1992 hasta 1998 y ordenadas por mes en sentido horizontal. En las imágenes se observa una clara diferencia de la irradiancia ascendente (la intensidad de amarillo indica frío y la temperatura aumenta conforme aumenta la intensidad de rojo), indicando la diferencia del enfriamiento entre la zona oeste, centro y este del Golfo de Tehuantepec. De acuerdo con Robles-Jarero y Lara-Lara (1993), Trasviña-Castro y Barton (1997), Martínez-Díaz de León *et al.* (1999) la diferencia se debe a que el eje de acción del viento genera variación de temperatura respecto a los extremos del Golfo.

Respecto a la variación mostrada a lo largo del año, los autores citados señalan que de acuerdo a la temporada, el forzamiento invernal de los vientos fríos del norte o “Tehuano” promueve el desplazamiento de las aguas superficiales, hacia el centro y su consecuente sustitución por masas de agua profunda y fría, lo que provoca que disminuya la TSM, creando diferencias en los niveles de irradiancia superficial.

En cambio para la variabilidad interanual los autores coinciden en que el principal factor que induce variabilidad de la TSM son las anomalías térmicas. Comparando los diferentes años (Figura 15) por ejemplo, de septiembre de 1995 a marzo de 1997 cuando ocurrió “La Niña”, aunque ésta se consideró de gradación débil, en las imágenes de TSM se observa un fuerte enfriamiento entre diciembre y febrero, debido a la acción de los vientos. De acuerdo con Murtugudde *et al.* (1999) durante un evento “El Niño”, los vientos generan en el Pacífico dos ondas (ondas Kelvin) en dirección Oeste-Este a la altura del Ecuador, que chocan y recorren la costa; generando una acumulación de agua caliente que hace elevar el nivel del mar y profundiza la termoclina. Este efecto de calentamiento se ve incrementado por la disminución o ausencia de Nortes durante estos

eventos climáticos. Un ejemplo se observa en 1997-1998 cuando sucedió uno de los más intensos y prolongados eventos “El Niño”,

Del evento “El Niño” reportado por Wolter y Timlin (1998) de enero de 1991 a julio de 1992, en este trabajo únicamente se observan las imágenes a partir de enero de 1992 (Figura 15). Este evento alcanzó valores para la anomalía térmica de 2, con máximos en junio-julio de 1991 y fue considerado como fuerte por los autores.

Las imágenes de TSM permiten evidenciar que los “Tehuacos” fueron poco inhibidos en la fase final del evento (enero-abril de 1992), debido a que se observa el enfriamiento de la superficie del Golfo y se puede inferir que los procesos de surgencia prevalecieron. Para los meses de junio-julio se observa gran concentración de nubes que coincide con la temporada de lluvias.

Con los procesos de surgencia y precipitación propios de un año “normal” la población de *L. vannamei* alcanzó los máximos observados en julio-noviembre de 1993 (Figura 8, p. 24) y devendría en un año sobresaliente por su alto volumen de capturas (Figura 6, p. 22).

Al inicio de 1994 los índices poblacionales se incrementa, manteniéndose entre agosto y octubre posiblemente por el efecto acumulado de la apertura de la temporada de pesca y la llegada del evento “El Niño” de octubre de 1994 a marzo de 1995. Este segundo evento con anomalía térmica entre 0.8 y 1.3 fue considerado por Wolter y Timlin (*op cit.*) como moderado (Figura 8 p. 24) y se observa el poco enfriamiento en las imágenes de TSM (Figura 15).

“La Niña” promovió indirectamente las surgencias y las lluvias en su temporada de agosto del 1995 a febrero de 1997, exhibiéndose con graduación débil (valores de 0 a 0.6 en el índice IME). En la figura 15 puede observarse el enfriamiento en la TSM. Aunque no se contó con imágenes para obtener los valores de clorofila *a*, la temperatura coincidió con incrementos positivos de los índices poblacionales de camarón, que alcanzaron un máximo de 6 millones de organismos en septiembre de 1996 (Figura 8 p. 24). En este mes se abrió la temporada de captura y se logró el máximo histórico de capturas totales con más de 5000 toneladas reportadas en la zona (Figura 6, SEPESCA, 1993, 1994, 1995 y SEMARNAP, 1996, 1997, 1998, 1999).

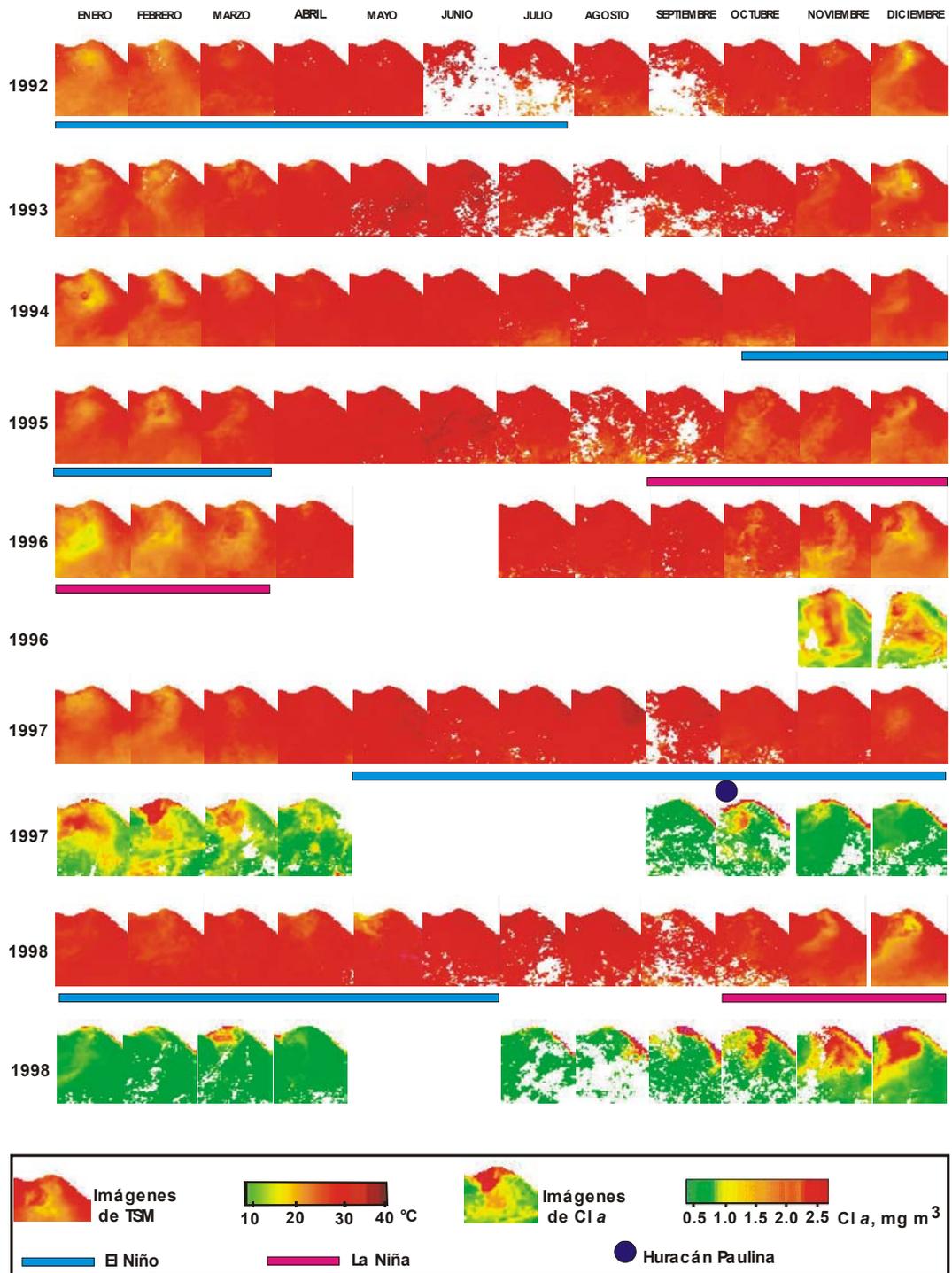


Figura 15. Compuesto de imágenes del Golfo de Tehuantepec, TSM y Cl a, para el periodo de estudio 1992-1998. Las franjas azules señalan los periodos en que se reportó “El Niño”, las rosas “La Niña” y el círculo azul, la fecha en que ocurrió el Huracán Paulina (7 de octubre de 1997).

Muy probablemente existió sobre pesca de los reproductores y los índices decrecieron fuertemente de enero a abril de 1997 (Figura 8). El año de 1997 inició con fuertes surgencias (Figura 15) y para julio-agosto de 1997 los índices empiezan a aumentar su valor, cuando ya inició el evento “El Niño” 1997-1998. A diferencia de los dos Niños anteriores, el tercer evento fue de mayor duración e intensidad (mayo de 1997 a junio de 1998 y anomalía térmica máxima de 2.8, Figura 8). No se observa disminución de temperatura en las imágenes de TSM, lo que evidencia la inhibición de los “Tehuano” y la consecuente disminución de los procesos de surgencia y proliferación de fitoplancton (Figura 15).

En septiembre, con los máximos valores del índice de reproductores (DA) se esperaba uno de los máximos en la reproducción; el 7 de octubre de 1997 tocó tierra el huracán Paulina y el área de mayor impacto fue la región oeste del Golfo de Tehuantepec (Figura 16). Cushing (1982) sugiere que los fuertes cambios interanuales que se observen en una población sujeta a pesca, parcialmente depende en las diferencias en la fuerza y dirección de los vientos, debido a que las larvas podrían ser arrastradas lejos de las regiones de alimentación.

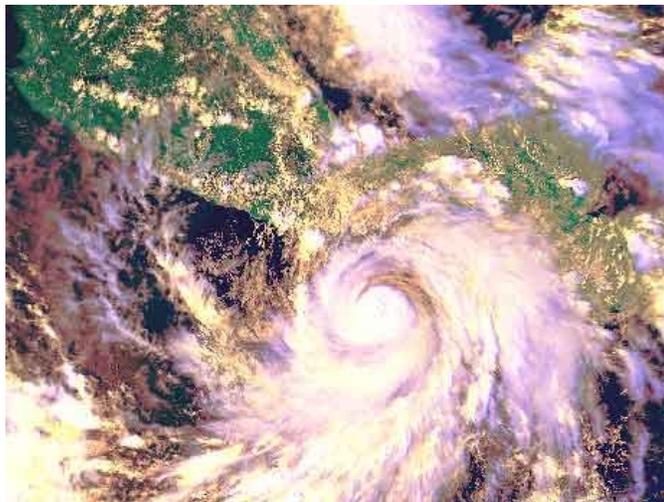


Figura 16. Llegada a tierra del huracán Paulina, al oeste del Golfo de Tehuantepec. Imagen NOAA-AVHRR, bandas 1, 2, 4, del día 7 de octubre de 1997.¹

La prolongada baja en la productividad primaria, aunado a la apertura de la temporada de pesca en septiembre y el posible arrastre de larvas a inicio de octubre debieron afectar

¹ Tomado de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/hp_s.html

fuertemente a la población de camarón blanco ya que los índices de abundancia poblacional alcanzaron el mínimo histórico del periodo de estudio (marzo-mayo de 1998).

Correlación de los valores de TSM con el IME

La correlación entre la TSM y el IME fue estadísticamente significativa ($R_{TSM-IME} = 0.5127$, $p = 0.061$), debido a que la TSM es una de las variables que componen el índice IME.

Tanto la figura 17, como en la figura 15 (p. 34) se observa la influencia del IME en fase fría (FF) y fase cálida (FC) con relación a la temperatura superficial del mar. En términos generales, la actividad de intercambio de masas de agua en la superficie durante la fase fría propicia los bajos valores de temperatura; mientras que en la fase cálida, la acumulación de agua caliente eleva los valores.

Sin embargo es evidente que la TSM fue influida por otros agentes que bien parecen ser locales. Por ejemplo, en marzo de 1997 la temperatura ya iniciaba un ascenso antes de que se declarara el evento “El Niño”, debido probablemente a la falta de viento, lo que provocó el incremento de temperatura por insolación. Para julio y agosto de 1998, aunque ya pasó “El Niño”, de acuerdo con Luch-Cota *et al.* (1997), Chávez *et al.* (1999) y Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) la probable falta de viento y la fuerte insolación mantuvieron altas temperaturas en la región del Golfo de Tehuantepec.

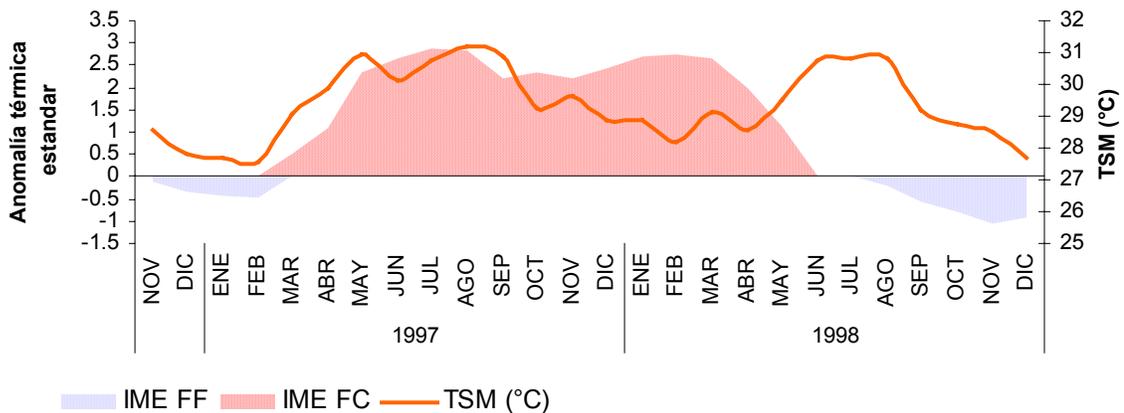


Figura 17. Variación interanual de los valores de la TSM respecto al IME –fases frías (FF), fase cálida (FC)- durante 1996-1998.

Correlación de los valores de clorofila *a* con la TSM

En la tabla VII (p. 29) se manifiesta que la correlación entre los valores de clorofila *a* y TSM, extraídos de las imágenes satelitales fue significativa e inversa ($R_{Cl-TSM} = -0.5864$, $p < 0.05$). Esta correlación concuerda con lo reportado por Sánchez-Meraz (2005) quien obtuvo una correlación significativa entre la TSM y la clorofila *a* ($R_{TSM-Cl} = -0.64$, $p < 0.05$)

En la figura 18 se observan altos valores de clorofila *a* cuando los valores de temperatura son bajos (febrero de 1997) y pequeños cuando la temperatura fue alta (febrero de 1998 hasta septiembre de 1998). Como ya se observó, la TSM estuvo correlacionada positivamente con el evento “El Niño” y anteriormente se discutió la forma en que este evento repercutió negativamente en la biomasa fitoplanctónica (Figura 15), es decir que la correlación significativa se debió a que éstas dos variables ambientales fueron influidas por un mismo evento, el ENOS. El pequeño repunte de octubre de 1997 en la clorofila, puede deberse al aporte de nutrientes por el huracán Paulina.

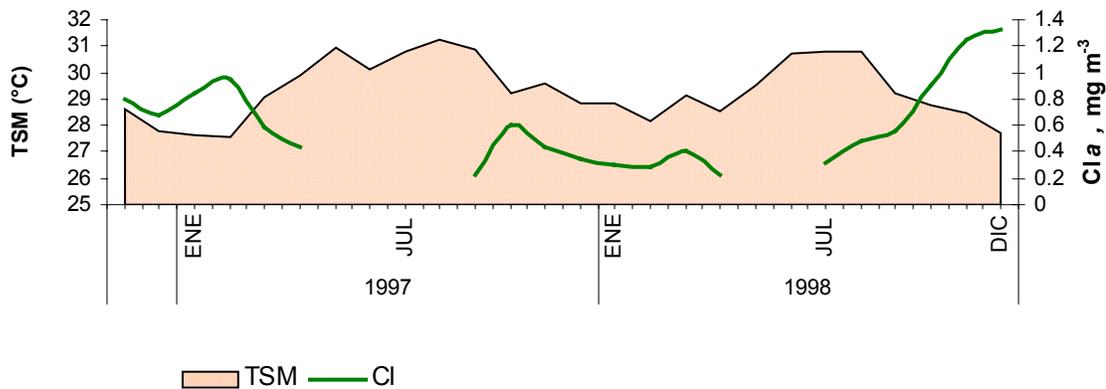


Figura 18. Variación interanual de la clorofila *a* respecto a la TSM durante 1996-1998.

Correlación del IME con los índices DA y FR

Entre el IME y DA se obtuvo una correlación negativa, no significativa ($R_{IME-DA} = -0.2707$, $p > 0.05$); el IME y FR tuvieron una correlación inversa y estadísticamente significativa ($R_{IME-FR} = -0.9112$, $p < 0.05$), es importante el hecho de que la correlación sea inversa, similar a lo obtenido para todo el periodo estudiado (Tabla IV, p.19).

Puede apreciarse en la figura 19 que la fluctuación de los índices FR y DA; van de valores altos en la fase fría del IME, a valores bajos cuando se da el cambio en la anomalía (fría a cálida); al inicio de la fase cálida los valores de los índices poblacionales aumentan (junio-agosto de 1997) en forma similar a lo discutido en el primer análisis (p. 23), la población de camarón parece aprovechar la readecuación de las condiciones ambientales para recuperarse rápidamente. Por último cuando se prolonga la anomalía o sus niveles de intensidad son muy altos los valores de los índices poblacionales decaen, y el efecto parece incrementarse con la apertura de la temporada de pesca en septiembre de 1997.

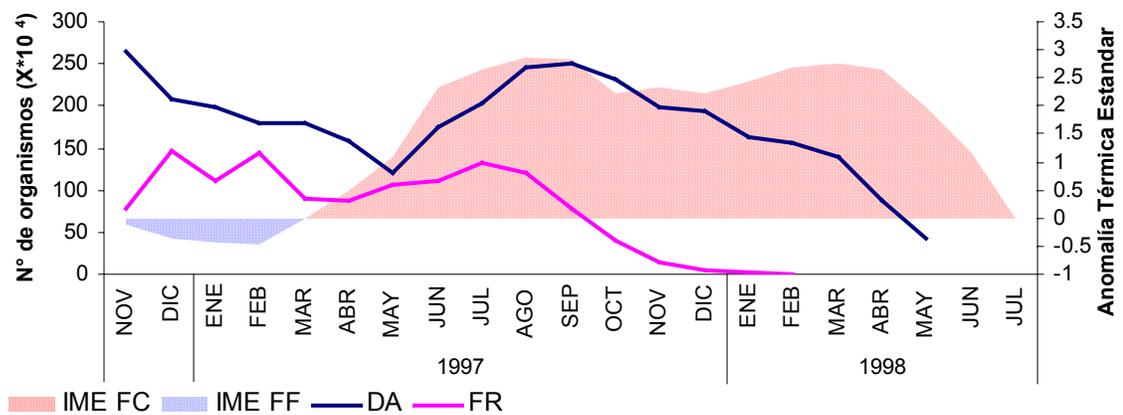


Figura 19. Variación interanual del IME -fase fría (FF), fase cálida (FC)-, DA y FR durante 1996-1998.

Correlación de la TSM con los índices DA y FR

De acuerdo con la tabla VII (p. 29) no hay correlación significativa entre la TSM y el índice poblacional DA ($R_{TSM-DA} = 0.2138$, $p > 0.05$), la TSM y el índice FR tuvieron una correlación inversa y estadísticamente significativa ($R_{TSM-FR} = -0.5587$, $p < 0.05$).

Las correlaciones para este periodo de tiempo coinciden con las observadas para todo el periodo estudiado (Tabla IV, p. 19, Figura 9, p. 25). No se observaron valores de temperatura que por si mismos pudieran afectar a las poblaciones de camarón, lo que explica la ausencia de correlación con DA. La correlación significativa e inversa entre FR y TSM, probablemente se debe a la relación existente entre el reclutamiento a la pesquería marina desde las lagunas, aprovechando el aporte de aguas con alto contenido

de material particulado –producto de la temporada de lluvias y de los procesos de alta productividad costera- para protegerse de los depredadores y alimentarse, como ya se indicó (p. 24), estos procesos evidentemente están relacionados con el enfriamiento de las capas superficiales de agua.

En la figura 20 se trató de identificar las relaciones, sin embargo, en este periodo los índices poblacionales ya fueron tan bajos que no fue posible hacerlo visualmente.

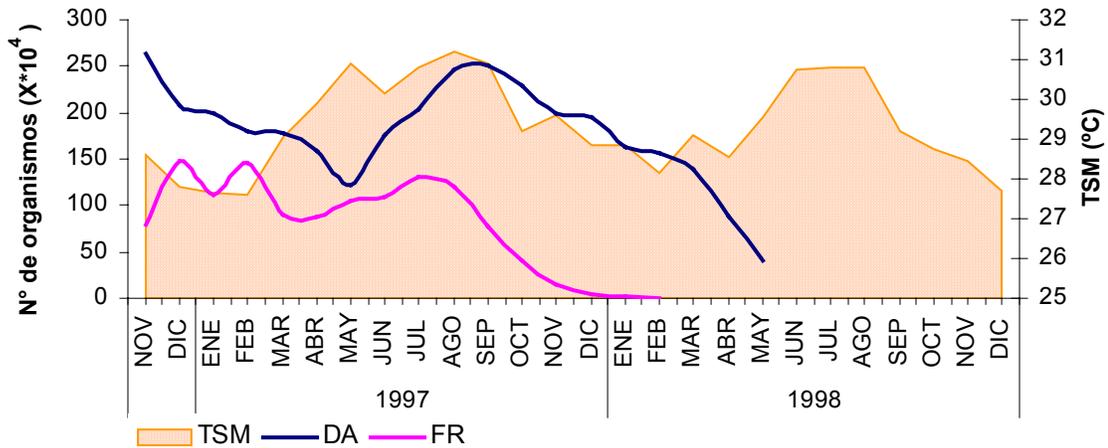


Figura 20. Variación interanual de la TSM, DA y FR durante 1996-1998.

Correlación del esfuerzo de pesca (f_i) con los índices DA y FR

No hubo correlación significativa en ambos casos ($R_{DA-f_i} = -0.3549$, $p > 0.05$) y ($R_{FR-f_i} = 0.0155$, $p > 0.05$) (Tabla VII, p. 29). Sin embargo puede apreciarse que -como en el primer apartado de resultados y discusiones el f_i está más relacionado al índice DA que con la FR por términos de selectividad de pesca.

Correlación del esfuerzo de pesca (f_i) con el índice IME, la TSM y la Cl a

En todos los casos la correlación fue no significativa ($R_{IME-f_i} = 0.0848$, $p > 0.05$), ($R_{TSM-f_i} = -0.2851$, $p > 0.05$) y ($R_{Cl-f_i} = -0.0858$, $p > 0.05$) mientras que con la clorofila a y con la TSM la correlación fue inversa, con el IME la correlación fue directamente proporcional, diferente al primer apartado para este último índice. El periodo en que se aplica el esfuerzo de pesca está definido por fechas y al coincidir con la temporada de alta biomasa fitoplanctónica f_i debería estar correlacionado con la Cl a , sin embargo, lo reducido de la base de datos en este periodo no permitió ver dicha relación.

CONCLUSIONES

Series 1992-1998

La serie de valores DA-FR, TSM-FR, TSM-*fi*, IME-DA, IME-FR, IME-TSM, se correlacionaron linealmente de forma significativa.

- Los índices poblacionales de *L. vannamei*, DA y FR se relacionaron directamente acorde con los supuestos biológicos de la relación Paternidad-Progenie.
- La TSM y la FR se relacionaron inversamente mediante una estrategia alimenticia y de protección durante su reclutamiento a la pesquería marina. Las cohortes más abundantes de la DA se observaron en septiembre (entre 28.96 y 30.50 °C), a menores temperaturas que para la FR (entre 29.33 y 30.71 °C), observadas en julio (a excepción de 1997). Este hecho indica que los reclutas a la pesquería, se benefician de mayores temperaturas para llegar pronto a la talla de madurez y los adultos aprovechan la creciente disponibilidad de alimento relacionadas con bajas temperaturas para reproducirse.
- El esfuerzo de pesca (*fi*) se relacionó inversamente con la TSM, de acuerdo con la fecha en que se abre y se cierra la temporada de captura. Con relación a los índices poblacionales, *fi* tuvo una correlación inversa y no significativa; sin embargo la tendencia inversa de la correlación hace indudable el daño a la población, debido a la ineficacia en la fecha del establecimiento de la veda y el exceso de tiempo que se permite la captura.
- El índice IME se relacionó inversamente con los índices poblacionales, haciendo incuestionable que para este periodo los sucesivos eventos atmosféricos y oceánicos afectaron a la población de *L. vannamei*.

Series 1996-1998 con valores de clorofila *a*

La serie de valores DA-FR, TSM-FR, IME-FR, IME-TSM, se correlacionaron significativamente en forma lineal, bajo los mismos criterios considerado en la primera parte del análisis.

- La correlación de la clorofila a con los índices FR y DA fue directamente proporcional, resultó coherente con la literatura revisada y la hipótesis de este trabajo.
- Los valores de TSM y el índice IME se relacionaron inversamente con respecto a la Cl a , en concordancia con la literatura revisada.

Resultó evidente el impacto negativo del establecimiento de un periodo de veda muy corto en la población de camarón blanco, que no protege su reproducción ni asegura su continuidad. Es importante resaltar las adecuadas condiciones fisico-biológicas que ofrece Golfo de Tehuantepec para el desarrollo de la población de camarón blanco, que sin embargo se han visto alteradas por eventos tipo “La Niña” y “El Niño”, poniendo en riesgo a la población al conjugarse con un esfuerzo de pesca sin control, como ya lo han descrito diversos autores.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con las anteriores conclusiones y con el fin de promover que se recupere la población de *L. vannamei*, en periodo de veda para la captura debe prolongarse al menos a todo el mes de septiembre, aprovechando la disponibilidad de alimento que va en aumento en esos meses y protegiendo la reproducción. Es necesario implementar la veda en los sistemas lagunares y estuarinos.
- Para abrir la temporada de captura es recomendable que además de evaluar los índices poblacionales, se incorporen a los modelos predictivos las variables referentes a la evolución de las condiciones ambientales y de este modo se contemplen los distintos escenarios que tendría la pesquería al implementar diferentes opciones administrativas .
- El uso de imágenes satelitales ayudó en gran medida al análisis de la población virtual de camarón blanco en su ambiente. Sin embargo es necesario incorporar toda la información posible al análisis, sobre todos de aquellos eventos que puedan influir en la serie de tiempo en estudio, con el fin de no caer en interpretaciones parciales y lineales, en problemas que por naturaleza son complejos y donde existe la influencia de diferentes variables causales.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, F., A. Gracia y L. A. Soto. 1987. Crecimiento y mortalidad de las fases estuarinas del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* Burkeroad, en la Laguna de Términos, Campeche. An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 14 (2): 207-220.
- Alvarez, L. G., A. Badan-Dangon, and A. Valle. 1989: On coastal currents off Tehuantepec. Estuarine Coastal Shelf Sci. 29: 89-96.
- Arciniega-Flores, J., V. Landa-Jaime and G. González-Sansón. 1998. Distribución y abundancia de los crustáceos estomatópodos de fondos blandos en las costas de Jalisco y Colima, México. Ciencias Marinas. 24: 169-181.
- Bailey, K. M., and L. S. Incze. 1985. El Niño and the early life history and recruitment of fishes in temperate waters. In: W. S. Wooster and D.L. Fluherty, editors. El Niño north: Niño effects in the eastern subarctic Pacific Ocean. College of Ocean and Fisheries Sciences, Washington Sea Grant Program Publication WSG-WO. University of Washington, Seattle. 85 (3): 143-165.
- Barocio-Leon, O. A., R. Millan-Nuñez, L. Santamaria-del-Ángel and A. Gonzáles-Silvera. Phytoplankton primary productivity in the euphotic zone of the California Current System estimated from CZCS imagery. Ciencias Marinas. Sometido (Octubre, 2005).
- Barton, E. D., M. L. Argote, J. Brown, P. M. Kosro, M. Lavín, J. M. Robles, R. L. Simth. A Transviña y H. S. Velez. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Oceanography. 6 (1): 23-30.
- Bernstein, R. L., 1982. Sea surface temperature estimation using the NOAA-6 advanced very high resolution radiometer. J. Geophys. Res. 87: 9455-9465.
- Botsford, L. W. 2001. Physical influences on recruitment to California Current invertebrate populations on multiple scales. ICES Journal of Marine Science. 58: 1081-1091.
- Butler, R. 1988. "GIS-Geographic Information Systems-An Introduction" In: Mapping Awareness. 2 (2): 31-34.
- Cáceres, M. y D. Arcos. 1991. Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción, Chile. Invest. Pesq. Chile. 36: 27-38.
- Carrasco-Ayuso, F. 2005. Relación stock-reclutamiento del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Oaxaca. México. 56 p.
- Cervantes-Hernández P. y A. Gracia, 2003. Modelo multivariado para establecer las relaciones stock-reclutamiento del camarón café en el área de Laguna Madre y Norte de Veracruz. Memorias del INP, 2º Foro de investigación, camarón del Pacífico, evaluación y manejo. 50-53 p.

- Cervantes-Hernández, P., S. Ramos y A. Gracia. 2006. Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. Hidrobiología. UAM-I. Aceptado, Páginas por definir.
- Cruces, R. E. 2003. Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar y la concentración de pigmentos fitoplanctónicos en la zona norte de Chile, medidos a través de sensores remotos (1997-2002). Tesis de Licenciatura, Universidad Arturo Prat. Chile. 69 p.
- Cushing, D. H. 1973. Production in the Indian Ocean and the transfer from the primary to the secondary level. *In: Zeitzschel, B. Ed. The Biology of the Indian Ocean.* Springer Verlag. Berlin. 475-486 p.
- Cushing, D. H. 1982. *Climate and Fisheries.* N. Y.: Academic Press. 373 p.
- Chávez, E. A., J. L. Castro-Aguirre, M. L. Sevilla, E. Hidalgo, M. J. Parra, A. García-Camacho, J. L. Castro-Ortiz. 1974. Estudio para determinar la época de entrada de postlarvas de camarón a las lagunas Oriental y Occidental de Oaxaca. Inf. Def. Esc. Nac. Cienc. Biol. Contrato No AC-E-73-6 Cen. Sría. de Recs. Hidr. México, D. F. 269 p.
- Chávez, E. A. 1979. Diagnóstico de la pesquería de camarón del Golfo de Tehuantepec, Pacífico sur de México. *An. Cent. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Autón. México.* 6 (2): 7-14.
- Chávez, F. P. P. G. Strutton, G. E. Friederich, R. A. Feely, G. C. Feldman, D. G. Foley, M. J. McPhaden. 1999. Biological and Chemical Response of the Equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. 286 (5447): 2126-2131
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de la teledetección espacial. Capítulo 2, Colección Monografías y Tratados GER, Ediciones Rialp, S.A. Madrid. 453 p.
- Connolly, S. R. y J. Roughgarden. 1999. Theory of marine communities: competition, predation, and recruitment-dependent interaction strength. *Ecol. Monogr.* 69: 277-296.
- Deriso, R. B. 1980. Harvesting strategies and parameter estimation for an age-structured model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 268-282.
- Estavillo, C. y J. Campos. 1980. Estudio oceanográfico del Golfo de Tehuantepec. Tomo 3. Geología. Secretaría de Marina. México. 32 p.
- Fiedler, C. P. 1992. Seasonal climatologies and variability of Eastern Tropical Pacific surface waters. NOAA Tech. Rep. NMFS 108. 65 p.
- Fiedler, P. C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 244: 265-283
- Fonseca, T. y M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Invest. Pesq. Chile.* 34: 33-46.

- 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, UMAR-Puerto Ángel, México, Oaxaca. 66 p.
- Gallardo-Berumen, I. 2005. Análisis de del sistema de vedas, sobre la explotación de recurso camarón en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Oaxaca. México. 60 p.
- García, S. y L. Le Reste. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO Doc. Téc. Pesca. 180 p.
- García-Juárez, A. R., R. Morales-Azpetia, E. Alcántara-Razo, L. Brito-Castillo y E. A. Aragón-Noriega. 2002. Migración y reclutamiento de las poblaciones de camarón en aguas marinas adyacentes e interiores del sistema lagunar de Agiabampo. Resumen, Primer Foro de Investigación de Camarón del Pacífico: evaluación y manejo. INP, Centro Regional de Investigación Pesquera, Mazatlán, Sinaloa. 19 p.
- Gaxiola-Castro, G. y S. Álvarez-Borrego. 1986. Productividad primaria del Pacífico mexicano. Primary Productivity of the Mexican Pacific, Ciencia Marinas. 12: 26-33.
- Glynn, P. W. and W. H. de Weerd. 1991. Elimination of two reef-building hydrocorals following the 1982-83 El Niño warming event. Science. 253: 69-71.
- Godínez-Domínguez, E. 2003. Ecología de las asociaciones de macroinvertebrados bentónicos de fondos blandos del Pacífico Central Mexicano. Tesis de Doctorado, Universidad de Coruña, Coruña, España. 76 p.
- Gonzalez-Silveira, A.; Santamaria-del-Angel, E., Millan-Nuñez, R. and Manzo- Monroy, H. 2004. Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific). Deep-Sea Research Part II, 51 (6): 587-600.
- Gracia, A. 1989. Relationship between enviromental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of Mexico. An Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 14: 171-182.
- Gracia, A. 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. Trans. Amer. Fish. Soc. 120: 519-527.
- Gracia, A. 1992. Explotación y manejo del recurso camarón. Ciencia y desarrollo. 18 (106): 82-95.
- Gracia, A., A. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L. E. Schultz-Ruiz y J. A. Sánchez. 1997. Ecología de camarones peneidos. Análisis y Diagnostico de los Recursos Pesqueros del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. 7: 127-144.
- Green, E., P. Mumby, A. Edwards, y C. Clark. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. Ed. UNESCO Publishing. Francia. 316 p.

- Gulland, J.A. and B.J. Rothschild 1984. Penaeid shrimps-their biology and management. Famham, Fishing News (Books). 308 p.
- Harden-Jones, F.R. 1968. Fish Migration. Edward Arnold Ltd. London. 375 p.
- Hendrickx, M. E., R. C. Brusca and G. Ramírez-Reséndiz. 2002. Biodiversity of Macrocrustaceans in the Gulf of California, México. *In: Contribuciones al estudio de crustáceos*. Ed. M.E. Hendrickx. UNAM, Mazatlán, México. I: 349-367.
- Hilborn, R. and C. J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment and management: dynamics and uncertainty. Chapman-Hall, New York. 570 p.
- Hilborn, R. and R.M. Peterman. 1996. The development of scientific advice with incomplete information in the context of the precautionary approach. *En: Precautionary Approach to Fisheries. Part 2: Scientific papers*. FAO Fish. Tech. Pap. 350 (2): 77-101.
- Instituto Nacional de la Pesca, 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable de México; Evaluación y Manejo, La Pesquería del Camarón del Pacífico, México. 1-50 p.
- Instituto Nacional de Pesca. 2004. Inicio de la temporada 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. 34 p.
- IOC, 1992. IOC-UNEP workshop on impacts of sea level rise due to global warming, Dhaka, Bangladesh, 16-19 November 1992. Intergovernmental Oceanographic Commission, Workshop Report No. 93: 125 p.
- Joint I.R. and S.B. Groom. 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.
- Kirk, J.T.O. 1983. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge. 401 p.
- Krebs. C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. Editorial Harla. México. 753 p.
- Lalli, C. y Parsons, T. 1997. Biological oceanography: An introduction. Butterworth-Heinemann. Oxford. 314 p.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: The relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish Bull.* 73: 453-462.
- Lavín, M. F., E. D. Barton, M. L. Argote, J. Brown, P. M. Kosro, M. Lavín, J. M. Robles, R. L. Simth. A Transviña y H. S. Velez. 1992: Física del Golfo de Tehuantepec. *Ciencia y Desarrollo*. 18 (103): 97-108.
- Ley de Pesca, (Diario Oficial de la Federación, 25/06/1992). Estados Unidos Mexicanos.
- Liew, S. Ch., K. H. Lim and L. K. Kwoh. 2001. Retrieval of Chlorophyll Absorption Spectra from Remote Sensing Reflectance of Turbid Coastal Waters, *Proc. 2001 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 1: 284-286.

- Lillesand, T. M. and Kiefer, R.W. 1987. "Remote Sensing and Image Interpretation". 2nd Edition. John Wiley and Sons, New York. 721 p.
- López-Guerrero, L. 1969. Estudio preliminar sobre las migraciones de postmisis de *Penaeus vanamei* Boone. FAO Fish. Rep. 57 (2): 405-415.
- López-Martínez, J. 2000 Dinámica de la pesquería del Camarón *Penaeus californiensis* en el litoral sonorense, y su relación con algunos parámetros océano-atmosféricos. Tesis de Doctorado. C. Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B. C. S. México. 174 p.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, M.O. Nevárez-Martínez, R. Morales-Aspeitia, E.A. Chávez-Ortiz and E. Alcántara-Razo. 2002. Aspectos biológicos y pesqueros del camarón de roca *Sicyonia penicillata* (Lockington, 1879) del Golfo de California. *In: Contribuciones al estudio de crustáceos*. Ed. M.E. Hendrickx. UNAM, Mazatlán, México. I: 221-231.
- Loreto, C. P. Acosta, J. A. García, A. R. García, A. Liedo, S. Ramos, A. Rosas, M. P. Toledo, E. Zárate. Madrid J. y Cisneros M. 2003. Análisis de la temporada de captura de camarón 2002-2003 en el Pacífico mexicano; criterios para el inicio de la veda en aguas protegidas y marinas. Instituto Nacional de Pesca. México. 25 p.
- Luch-Cota, S. E., S. Álvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Ángel, F. E. Müller-Karger, and S. Hernández-Vázquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*. 23: 329-340.
- Macías-Regalado, E. 1973. Estudio sobre patrones de distribución de postlarvas de camarón del género *Penaeus* durante sus movimientos entre el mar y las lagunas costeras. Informe final. Contrato de estudios No. EI-71-78 Clave LL26, Univ. Nal. Autón. México. Depto. Cienc. del Mar y Limnol. y SHR. 146 p.
- Madrid-Vera, J., D. Chávez-Herrera, H. Aguirre-Villaseñor, H. Muñoz-Rubí, V. Moreno-Borrego. 2002. Aspectos de la migración, el reclutamiento y la biomasa de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) en la bahía de Santa María la Reforma, Sinaloa. Resumen, Primer Foro de Investigación de Camarón del Pacífico: evaluación y manejo. Instituto Nacional de la Pesca, C. Regional de Investigación Pesquera, Mazatlán, Sinaloa. 19 p.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay. 2000. Escenarios físicos regionales. Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. En: C. Gay (comp.) México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program. México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S Country Studies Program. 1-24 p.
- Malone, T. C. 1971. The relative importance of nanophytoplankton and netplankton as primary producers in Tropical Oceanic and Neritic Phytoplankton Communities. *Limnol. Oceanogr.* 16: 633-639.
- Malone, T. F. and J. G. Roederer. 1985. Global change. Cambridge University Press, Cambridge. 512 p.

- Margalef, R. 1974. Ecología. Barcelona, España, Ed. Omega. 944 p.
- Martínez-Díaz de León, A., I. S. Robinson, D. Ballesteros and E. Coen. 1999. Wind driven ocean circulation features in the Gulf of Tehuantepec, Mexico, revealed by combined SAR and SST satellite sensor data. *Int. J. Remote Sensing*. 20 (8): 1661-1668.
- McClain, E. P., W. G. Pichel, C. C. Walton, Z. Ahmad, and J. Sutton. 1983. Multi-channel improvements to satellite-derived global sea-surface temperatures. *Adv. Space Res.* 2 (6): 43-47.
- McClain, Ch. R., J. R. Christian, S. R. Signorini, M. R. Lewis, I. Asanuma, D. Turk, C. Dupouy-Douchement. 2002. Satellite ocean-color observations of the tropical Pacific Ocean. *Deep-Sea Research II*. 49: 2533-2560.
- Medina-Reyna, C. E. 1991. Distribución y abundancia de las postlarvas pelágicas del género *Penaeus* (Crustácea: Decápoda) en la zona costera del Golfo de Tehuantepec durante el verano de 1990. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 103 p.
- Medina-Reyna, C. E., O. Morales-Pacheco, y H. T. Salinas-Orta. 1998. El reclutamiento de las postlarvas de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) en el Golfo de Tehuantepec: Una revisión. *Ciencia y Mar*. 5: 33-44.
- Millán-Núñez, R., S. Álvarez-Borrego and C. C. Trees. 1996. Relationship between deep chlorophyll maximum and surface chlorophyll concentration in the California Current System. *CalCOFI Rep.* 37: 241-250.
- Müller-Karger, F. E. and C. Fuentes-Yaco. 2000. Characteristics of windgenerated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *J. Geoph. Res.* 105: 1271-1284.
- Murtugudde, R.G., S. R. Signorini, J. R. Christian, A. J. Busalacchi, C. R McClain, and J. Picaut. 1999. Ocean color variability of the tropical Indo-Pacific basin observed by SeaWiFS during 1997-1998. *J. Geophys. Res.* 104 (C8): 351-366.
- Mysak, L. A. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 43: 464-497.
- Nevárez-Martínez, M. O., D. Lluch-Belda, M. A. Cisneros-Mata, J. P. Santos-Molina, M. A. Martínez-Zavala, and S. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Prog. Oceanogr.* 49: 565-580.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-002-PESC-1993, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 1993 y su modificación (D.O.F. 30/07/97).
- Norma Oficial Mexicana, NOM-009-PESC-1993, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 04 de marzo de 1994.
- Parrish, R.A., C.S. Nelson y A. Bakun. 1981. Transport mechanism and reproductive success of fishes in the California Current. *Biol. Oceanogr.* 1 (2): 175-203.

- Pauly, D. y I. Tsukayama. 1983. On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of Peruvian anchovy (*E. ringens*) from 1961 to 1979. FAO Fish. Rep. 291 (3): 987-1004.
- Pearce, A. y B. Philips. 1988. ENSO events, the Leewin current, and larval recruitment of the western rock lobster. J. Cons. Int. Expl. Mer. 44: 18-26.
- Pérez-Marrero, J., A. Cianca, R. Santana, E. Pérez-Martell, M.J. Rueda y O. Llinás. 1999. Asignación de profundidad significativa a las observaciones remotas de la temperatura superficial del mar. Revista de Teledetección. 12: 85-88.
- Ponce-Palafox, J, C Martínez-Palacios and L Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juveniles white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. Aquaculture. 157 (1-2): 107-115.
- Pope, J.G. 1972 An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF Res. Bull. 9: 65-74.
- Raimondi, P., C. M. Wilson, R. F. Ambrose, J. M. Engle, and T. E. Minchiton. 2002. Continued declines of black abalone along the coast of California: are mass mortalities related to El Niño events? Marine Ecology Progress series. 242: 143-152.
- Ramos-Cruz, S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae), en la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. Rev. Biol. Trop. 48 (4): 873-882.
- Reyes-Bonilla, H. 2001. "Effects of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, México". Bulletin of Marine Science. 69: 251-266.
- Reyna-Cabrera, I. E. and S. Ramos-Cruz. 1998. La pesquería de camarón de altamar. Cap.12, 163-178. In: M. Tapia-García (ed.) El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240 p.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith. 1994. "Improved global sea surface temperature analyses." J. Climate. 7: 929-948.
- Ripa, P. 1991. ¡Ay que Niño éste! Ciencias. 21: 3-8
- Robinson, I. S. 1985: Satellite Oceanography: An Introduction for Oceanographers and Remote-Sensing Scientists. Ellis Horwood, Ltd. 455 p.
- Robles-Jarero, E. G. and J. R. Lara-Lara. 1993. Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Journal of Phytoplankton Research. 15 (12): 1341-1358.
- Roden, G. I. 1961. On the wind driven circulation in the Gulf of Tehuantepec and its effect upon surface temperatures. Geofis. Int. 1 (3): 55-76.
- Rodríguez de la Cruz, M. C. y F. J Rosales-Juárez. 1976. El camarón del noroeste de México Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).

- Rothschild, B. J. and T. R. Osborn. 1988. Small-scale turbulence and plankton contact rates. *J. Plankton Res.* 10: 465-474.
- Sánchez, G., R. Calienes and S. Zuta. 2000. The 1997-98 El Niño and its effects on the coastal marine ecosystem off Peru. *CALCOFI Rep.* 41: 62-86.
- Sánchez-Meraz, B. 2005. Efecto de “El Niño” sobre la producción de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900), en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis de Maestría, Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Oaxaca. México. 65 p.
- Santamaría del Angel, E., S. Alvarez-Borrogo, y F. Muller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99 (C4): 7411- 7421.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter-American tropical tuna commission.* 1: 25-56.
- Schreiber, R. W. and E. A. Schreiber. 1984. Central Pacific seabirds and the El Niño Southern Oscillation: 1982 a 1983 perspectives. *Science.* 225: 713-716
- Scrosati, R. 2001. Interannual variation of the abundance of *Mazzaella cornucopiae* (Rhodophyta, Gigartinales) from Pacific Canada in relation to changes in abiotic variables. *Journal of Applied Phycology.* 13: 457-460.
- Secretaría de Marina. 1999. S.M. 600. Carta Batimétrica Costa Oeste, Punta Maldonado a Puerto Madero. Dirección General de Oceanografía Naval. S. M. México.
- Seijo, J.C.; Defeo, O.; Salas, S. 1997. Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. *FAO Documento Técnico de Pesca.* No. 368. Rome, FAO. 176 p.
- SEMARNAP. 1996. Anuario estadístico de Pesca 1995. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- SEMARNAP. 1997. Anuario estadístico de pesca 1996. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- SEMARNAP. 1998. Anuario Estadístico de Pesca 1997. Secretaría del Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- SEMARNAP. 1999. Anuario Estadístico de Pesca 1998. Secretaría del Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- SEPESCA. 1993. Anuario Estadístico de Pesca 1992. Secretaría de Pesca. México.
- SEPESCA. 1994. Anuario Estadístico de Pesca 1993. Secretaría de Pesca. México.
- SEPESCA. 1995. Anuario Estadístico de Pesca 1994. Secretaría de Pesca. México.
- Sepúlveda, M. 1999. Dinámica poblacional de los peneidos comerciales en el alto, centro Golfo de California, Topolobampo y costa occidental de la Baja California en el litoral del Pacífico mexicano. Tesis de doctorado. UNAM. 147 p.

- Sierra, R. P. 1993. Abundancia estacional de postlarvas de *P. vannamei* en la bocanarra de Tonalá Chiapas (Investigaciones del CRIP Salina Cruz, 1990-1992). Doc. Téc. CRIP Salina Cruz. Salina Cruz Oaxaca (inédito). 3 p.
- Sierra, P., C. Acosta, J. A. García, A. R. García, A. Liedo, J. M. Melchor, S. Ramos, A. Rosas, M. P. Toledo, E. Zárate. 2000. Camarón del Pacífico. *In: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México. 1-50 p.
- Sinclair, M. and T.D. Iles. 1989. Population regulation and speciation in the oceans. *J. Cons. int. Explor. Mer.* 45: 165-175.
- Sinclair M. and F. Page. 1995. Cod Fishery Collapses and North Atlantic GLOBEC. U.S. GLOBEC NEWS. U. S. March. 8: 16-20.
- Solana-Sansores, R., F. Arreguín-Sánchez, R. Castro y M. Medellín. 1989. Exploración de técnicas multivariadas para uso en el estudio de la dinámica poblacional de especies sujetas a explotación pesquera: el caso del camarón café (*Penaeus aztecus* I. 1891) del noroeste del Golfo de México. *Biol. Ocean. Venezuela.* 28 (2): 245-252.
- Solanki, H. U., R. M. Dwivedi and S. R. Nayak. 2001. Synergistic analysis of SeaWiFS chlorophyll concentration and NOAA-AVHRR SST features for exploring marine living resources. *Int. J. Rem. Sens.* 22 (18): 3877-3882.
- Soria, R., C. Ortiz, F. Islas y V. Volke. 1998. Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. Experiencias en México. Publicación especial. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México. 85 p.
- Sparre, P. and Venema, S. C. 1997. Cap. 12. La relación Stock/Reclutamiento. *In: Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual*. FAO Fisheries Technical Paper. N° 306.1. Roma. Sec. 12(2).
- Stumpf, H. G. 1975: Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *J. Phys. Oceanogr.* 5: 383-388.
- Trasviña-Castro, A. y E. Barton. 1997. Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. En: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Editado por M. F. Lavín. UGM, Monografía. México. 3: 25-46.
- Wolter, K. and M.S. Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO events. How does 1997/98 rank? *Weather.* 53 (9): 315-323.

APÉNDICE A

El camarón blanco *L. vannamei* en el Golfo de Tehuantepec

La pesquería del camarón del Océano Pacífico, es una de las más importantes en México, en 1996 se capturaron en total 60,490 t, el Golfo de Tehuantepec participó con 6,229 t y 26,901 t se obtuvieron por cultivo. En el mismo año, dicha pesquería ocupó el primer lugar en México por su beneficio económico y generación de divisas, con un valor de primera mano de \$ 3'498,318. El número de empleos generados directa o indirectamente fue de más de 37,000. Del total del camarón desembarcado en México durante 1999 (78,234 t), el litoral del Pacífico contribuyó con 60,499 t, lo que representa el 77.33 % y sólo fue superado por el atún y la sardina. Las dos regiones que destacan por el volumen de producción son, el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec, en este último se aprovechan nueve especies (Tabla VIII) cuatro de ellas constituyen más del 90 % de la captura: *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1990), *Penaeus brevirostris* (Kingsley 1878), *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson 1871) y *Litopenaeus vanamei* (Boone, 1931) (Sierra *et al.*, 2000).

Tabla VIII. Especies de camarones explotados en el Pacífico mexicano.
Tomado de: Sierra *et al.*, 2000.

Nombre científico	Autoridad	Nombre común
<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	Holmes, 1990	Camarón café
<i>Penaeus brevirostris</i>	Kingsley, 1878	Camarón cristal o rojo
<i>Litopenaeus stylirostris</i>	Stimpson, 1871	Camarón azul
<i>Litopenaeus vanamei</i>	Boone, 1931	Camarón blanco
<i>Penaeus occidentales</i>	Streets, 1871	Camarón blanco de Tehuantepec
<i>Trachypenaeus faoea</i>	Loesch y Avila, 1964	Camarón zebra
<i>Trachypenaeus pacificus</i>	Burkenroad, 1934	Camarón botalón
<i>Sicyonia penicillata</i>	Lockington, 1878	Japonés, piedra o cacahuete
<i>Xiphopenaeus riveti</i>	Bouvier, 1907	Camarón siete barbas

Estado de salud de la población y medidas de protección

En el Golfo de Tehuantepec la tendencia de las capturas de las diferentes especies de camarón han tenido diversas fluctuaciones y han presentado disminuciones en las temporadas 1983-1984, 1987-1988, 1989-1990 y 1992-1993 con una reducción notable

en 1999-2000. La especie más abundante en las capturas fue *Litopenaeus vannamei* con fluctuaciones de 1700 t a 4000 t en el periodo 1983-1996, pero su incidencia se redujo notablemente a partir de la temporada 1996-1997, de 3000 t hasta un mínimo histórico de 50 t en el periodo 1999-2000 (Figura 21) y de 14 t en 2002-2003 (Sierra *et al.*, 2000 y Loreto *et al.*, 2003).

Varias hipótesis tratan de explicar la disminución de la población de *L. vannamei*: sobre pesca, incremento en la recolección de larvas para su cultivo en granjas o la pesca artesanal que acapara el 70 % de la captura en las lagunas en estado juvenil (no se reproducen, no hay veda, no hay reglamentación de artes de pesca, al menos para el sistema lagunar Mar Muerto) (Sierra *et al.*, 2000 y Loreto *et al.*, 2003).

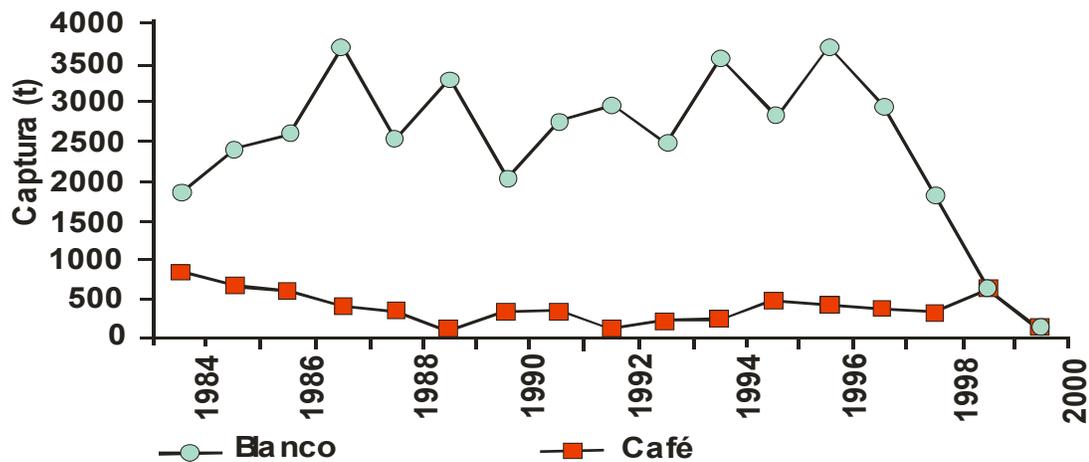


Figura 21. Tendencias de las capturas por especies de camarón en el Golfo de Tehuantepec Tomado de: Sierra *et al.*, 2000.

De acuerdo con Sierra *et al.* (2000) la captura de camarón en el Golfo de Tehuantepec se rige por la Ley de Pesca (Diario Oficial de la Federación, 25/06/92), en la que se establecen las condiciones de acceso al recurso. Hasta 1992 se mantuvo como un recurso reservado a sociedades cooperativas, para transitar hacia un esquema de permisos reglamentados. Las medidas reglamentarias actuales consideran la aplicación de vedas, restricción del esfuerzo y reglamentación de artes de pesca en los términos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993 (D.O.F. 31/12/93) y su

modificación (D.O.F. 30/07/97), así como la NOM-009-PESC-1993 (D.O.F. 04/03/94) que establece el procedimiento para determinar épocas y zonas de veda.

Ciclo de vida de camarones peneidos

Los camarones peneidos presentan dimorfismo sexual, maduran y se reproducen en mar abierto entre 15 y 60 m de profundidad; las hembras fecundadas ponen 1.000.000 de huevos demersales y después de la eclosión tienen once estadios larvales planctónicos, pasando de una fase a otra por medio de mudas: cinco nauplios, tres protozoa y tres mysis (Figura 22). La última de éstas mudas la transforma en una postlarva que ya tiene la apariencia general del adulto, pero su fórmula rostral es incompleta (López-Guerrero, 1969; García y Le Reste, 1986 y Sierra *et al.*, 2000).

Como postlarva, el camarón penetra a los estuarios y lagunas costeras gracias a las corrientes y mareas, donde virtualmente inicia su crecimiento con hábitos semibentónicos.



Figura 22. Estadios y ciclo vital de camarones peneidos: (1) larvas, (2) nauplios, (3), protozoas (4) mysis, (5) postlarvas, (6) juveniles, (7) adultos, maduración y reproducción.

Conforme crece ($30 \text{ a } 60 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$, durante la fase juvenil) se desplaza de las aguas someras de la laguna costera hacia áreas más profundas (Figura 22). Cuando alcanza 100 mm aproximadamente, sale de estos sistemas hacia el mar para completar su ciclo

reproductivo, es importante señalar que al ritmo que cambia su morfología sus requerimientos nutricionales también varían (Tabla IX) (Rodríguez de la Cruz y Rosales-Juárez. 1976).

Tabla IX. Estadios, alimento principal y comportamiento de camarones pependidos.
Tomado de: Rodríguez de la Cruz y Rosales-Juárez, 1976.

ESTADIO	ALIMENTACION PRINCIPAL	COMPORTAMIENTO
Huevo	-	Flota, tendencia a depositarse en el fondo
Nauplius	Sus propias reservas	Locomoción por antenas, planctónicas
Protozoa y Zoea	Fitoplancton	Planctónicas, natación por apéndices cefálicos
Mysis	Zooplancton	Planctónicas, natación por apéndices del tórax
Postlarvas	Zooplancton y posteriormente alimentación omnívora	Los primeros estadios son planctónicos, luego de hábitos bentónicos, natación por pleópodos.
Juveniles y Adultos	Omnívora	Bentónicos, natación por pleópodos

Dinámica de poblaciones

Sinclair y Page (1995) al referirse al colapso de pesquerías, hacen énfasis en la necesidad de profundizar en el conocimiento de los mecanismos que regulan la población, básicamente: patrón geográfico, abundancia media, variabilidad de la clase anual, procesos denso-dependientes y denso-independientes antes de tomar cualquier medida de manejo.

De acuerdo con Harden-Jones (1968); Cushing (1973); Lasker (1975); Cushing (1982); Rothschild y Osborn (1988) y Sinclair y Iles (1989) en poblaciones naturales la presencia y la abundancia de las cohortes anuales que determinan la variabilidad interanual del reclutamiento, dependen en gran medida de la disponibilidad del alimento durante las “fases críticas” (estadios larvarios) del ciclo de vida de una especie.

De acuerdo con García y Le Reste (1986) la vida de una especie explotada puede dividirse en una fase disponible y otra explotada. Para el camarón la primera se puede considerar como el periodo comprendido desde la puesta hasta la llegada a las zonas de pesca y en la segunda el periodo desde ésta hasta el fin de la vida del camarón, considerada ésta última como “reclutamiento” es decir, el proceso por el cual un grupo de

edad se integra por primera vez a la población explotable como consecuencia de la reproducción y la supervivencia (Figura 22).

La relación Stock-Reclutamiento y su estudio a través de índices poblacionales

Debido a la naturaleza de la explotación pesquera del camarón, el término reclutamiento para Gracia (1992), puede abarcar tres o cuatro etapas contempladas en función de las principales actividades de pesca:

- Reclutamiento de postlarvas. Ingreso de postlarvas y establecimiento de las primeras etapas juveniles en áreas someras de las lagunas costeras, donde pueden ser explotadas como semillas para cultivo.
- Reclutamiento de juveniles en las lagunas costeras. Incorporación de juveniles a la pesca artesanal estuarina una vez que han alcanzado tallas que los hacen vulnerables a los artes de pesca ribereña.
- Reclutamiento de juveniles a artes fijos. Durante el proceso de migración al ambiente marino son susceptibles de ser capturados por artes fijos y barreras.
- Reclutamiento a la pesquería marina (definición tradicional). Incorporación gradual a la población adulta en el ambiente marino.

El reclutamiento a cada una de éstas pesquerías constituye la base de inicio de cada etapa de explotación por lo que cada una se ve afectada por la mortalidad de las etapas de explotación que le precedieron.

Hilborn y Walters (1992) hacen énfasis en la necesidad de evaluar las poblaciones sujetas a explotación y bajo esta óptica, la relación Stock-Reclutamiento viene a ser el problema biológico más importante; entendida como la relación entre un número determinado de organismos reproductores con sus potenciales descendientes. Profundizar en el conocimiento de esta relación, nos permite establecer los límites donde las poblaciones pueden o no recuperarse, considerando el efecto combinado de la mortalidad natural (M) y esfuerzo por pesca (F). Debido a su complejidad, generalmente este tipo de análisis se basa en índices poblacionales obtenidos de muestreos por categorías comerciales de las

capturas, debido a que en ellos se refleja la evolución de la variabilidad presente en los niveles de reclutamiento y de abundancia (Gracia, 1991).

Los camarones peneidos y su medio ambiente

De acuerdo con la literatura: (Roden, 1961; Malone, 1971; Margalef, 1974; Parrish *et al.*, 1981; Pearce y Philips, 1988; Robles-Jarero y Lara-Lara, 1993; Barton *et al.*, 1993; Lalli y Parsons, 1997; Seijo *et al.*, 1997; Reyna-Cabrera y Ramos-Cruz, 1998; López-Martínez, 2000), las principales variables ambientales y bio-ecológicas que repercuten en el ciclo vital de un organismo de este tipo, que además está sujeto a explotación puede resumirse en la siguiente figura (Figura 23).

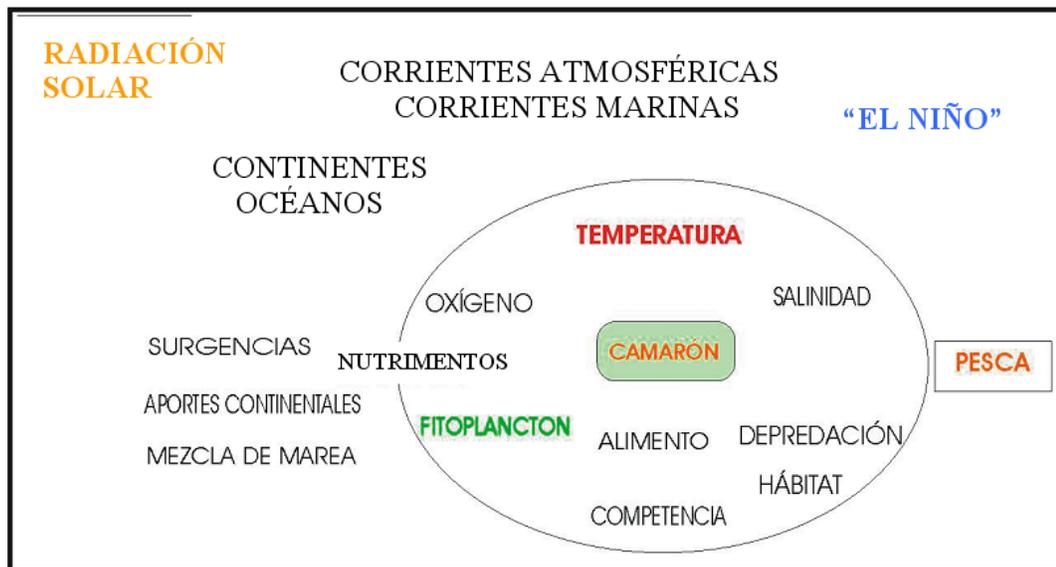


Figura 23. Principales variables medio ambientales que repercuten en el ciclo vital de *L. vannamei*.

APÉNDICE B

Importancia de la temperatura y biomasa fitoplanctónica, su estudio a través de percepción remota

Lalli y Parsons (1997) indican que la temperatura en el agua del mar tiene valores de 2 a 30 °C, aunque existes valores extremos su distribución y variación están fundamentalmente ligadas a las corrientes oceánicas, la profundidad y las variaciones en la radicación solar. De esta forma, la temperatura repercute de acuerdo a su distribución y periodicidad en la fisiología y reproducción de los organismos, en un intervalo que va de óptimo a extremo y que depende del tipo y etapa del ciclo de vida de cada organismo.

La temperatura superficial del mar (TSM) a gran escala es medida por radiómetros térmicos, uno de ellos es el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) que comenzó a operar en 1978 a bordo de los satélites de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), realizando los mapas de distribución de la temperatura, capturando únicamente la información de los primeros milímetros de la superficie del agua (Green *et al.*, 2000), esta característica que ha representado hasta hoy su mayor limitante es abordada por Pérez-Marrero *et al.* (1999) quien considera que la temperatura teledetectada es representativa de una capa superficial, de propiedades físicas bastante homogéneas debido a los eventos de mezcla turbulenta.

Robles-Jarero y Lara-Lara (1993) observaron que el forzamiento invernal de los vientos influye en la TSM, repercutiendo en la composición y productividad primaria del fitoplancton en el Golfo de Tehuantepec. El fitoplancton es la base de la cadena trófica en el océano, por tanto su calidad (relacionada con la tasa de asimilación y flujo de carbono a través de la cadena trófica, que dependen a su vez de la razón área/volumen de las células y definen su eficiencia fotosintética) y cantidad son limitantes para los organismos que se alimentan de él (Malone, 1971), como el camarón en sus primeras fases de crecimiento. Gracia (1992) menciona que son críticas las primeras fases para la sobrevivencia de estos organismos y que se refleja en una curva como exponencial negativa (Figura 24).

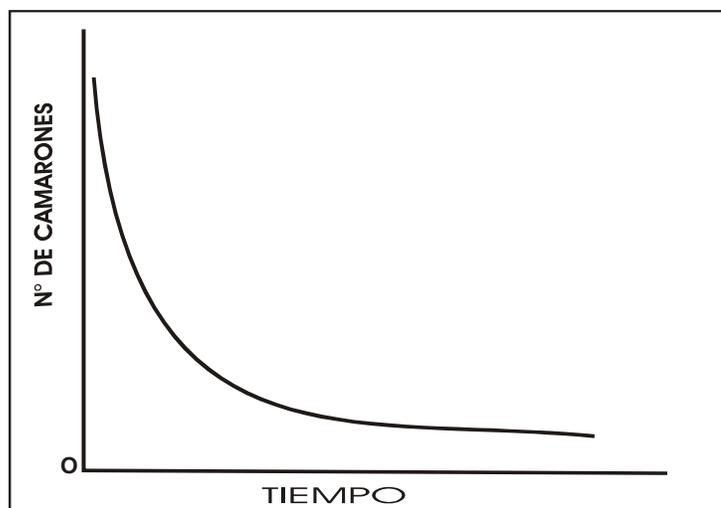


Figura 24. Curva de supervivencia de camarones peneidos. Tomado de: Gracia, 1992.

A nivel mundial la mayor producción pesquera está confinada a regiones costeras y asociado a tres procesos de enriquecimiento de nutrientes: surgencias costeras, mezcla de marea y escurrimiento continentales incluyendo descargas de ríos; una consecuencia directa de este enriquecimiento es la producción de fitoplancton, que se puede estimar como productividad primaria (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1986).

Se han hecho estimaciones de clorofila *a* y pigmentos fotosintéticos a partir de datos de imágenes de satélite en varias partes del mundo. Se ha hecho evidente que su distribución espacial está condicionado por variables como movimientos de las masas de agua, intensidad, disponibilidad lumínica, afloramientos de agua subsuperficial, aportes de origen continental entre otros (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994).

Definición de percepción remota

La percepción remota puede definirse como el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos, mediante mediciones a distancia, sin un contacto material con los mismos, sin embargo no únicamente se refiere a los procesos que permiten obtener una imagen desde el aire o espacio, sino también su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación (Soria *et al.*, 1998).

En 1960 la NASA (National Administration Space and Aeronautic) puso en orbita el primer satélite de la serie TIROS, pionero en la observación meteorológica. Luego en 1972 concibe un proyecto dedicado a la cartografía y evaluación de recursos naturales y puso en orbita el primer satélite de la serie ERTS (Earth Resources Technology Satellite); este proyecto bautizado como LANDSAT (Land Satellite) puso en orbita el segundo satélite en 1975, que resultó como el más fructífero en las aplicaciones civiles de teledetección (Butler, 1988).

La combinación de los datos preliminares y el conocimiento científico que permitió la explotación de los datos obtenidos mediante satélites, dio como resultado el desarrollo de sensores diseñados específicamente para observar el océano. Los datos producidos por altímetros y radiómetros de microonda dieron credibilidad e ímpetu a la creación de satélites que aplicaron esta tecnología (IOC, 1992). Las mediciones de color desde aviones mostraron la eficacia de tales sensores para medir las concentraciones de clorofila cerca de la superficie. Los sensores infrarrojos produjeron mediciones útiles de temperatura superficial del mar (IOC, 1992).

Éstas diversas capacidades fueron reunidas cuando Estados Unidos y en un periodo de 4 meses durante 1978 lanzó una tríada de satélites que cambió de manera radical la forma en que los científicos observaron el océano. En junio fue lanzado el Seasat, en octubre el TIROS-N y el Nimbus-7, estos colectivamente transportaban sensores que abarcaban toda la gama de posibles aplicaciones de la observación del océano desde el espacio. Esta segunda generación de satélites fue extraordinariamente exitosa y produjo datos que validaron a los satélites como herramientas útiles para la oceanografía (Butler, 1988).

El Seasat, a pesar de su corta vida de sólo 99 días, demostró la utilidad de un altímetro para medir el geoide marino dentro de unos pocos metros, para inferir la variabilidad a gran escala de las corrientes oceánicas y para determinar la altura de olas; el escaterómetro de viento produjo mediciones de velocidad de viento oceánico equivalentes a 20000 observaciones desde buque por día; el Scanner de multifrecuencia produjo también datos de velocidad del viento y contenido de vapor de agua en la atmósfera; el Radar de Apertura Sintética (RAS) produjo imágenes libres de nubes mostrando características de la superficie del mar entre las que se incluían la

manifestación superficial de ondas internas, surgencias y patrones de lluvia (Robinson, 1985).

Los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) forman parte del programa POES (Polar Operational Environment Satellite) desarrollado Por la NASA en cooperación con la agencia NOAA, Francia y el Reino Unido. Desde 1978 han lanzado satélites que denominan con una letra antes y un número después. Así el NOAA-K, lanzado en 1998 pasó a denominarse NOAA-15 y continúan una nueva serie de satélites con mejoras tecnológicas que permiten el trabajo en zonas nubosas, obtener la temperatura de la tierra y el canal adicional 3ª, mejora la capacidad de discriminación entre nieve, hielo y nubes. Se distinguen varios modelos de este instrumento: El AVHRR/1 (NOAA-6, -8, -10), el AVHRR/2 (NOAA-7, -9, -11, -12, -14) y el AVHRR/3 (NOAA-15, -16, -17) estos tres últimos son los únicos activos en la actualidad..

Hoy día, la teledetección o percepción remota, es considerada como una ciencia aplicada, y como tal, muy dependiente del estado de desarrollo tecnológico existente en cada momento, conjugando en ella aspectos muy variados, como óptica y sensores de detección, vehículo que los sustenta, sistema de transmisión, equipos de tratamientos, y se restringe a medios y métodos que utilizan la radiación electromagnética como medio de detección y medición de las propiedades de un objeto (Soria *et al.*, 1998).

Los componentes básicos de un sistema de percepción remota corresponden a la escena, el sensor y el tratamiento de la información, los cuales se incluyen en los siguientes elementos:

- Fuente de energía, que supone el origen del flujo energético detectado por el sensor.
- Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua, que reciben la señal de la fuente energía y que es emitida o reflejada de acuerdo a sus características físicas.
- Sistema sensor, compuesto por el sensor propiamente y la plataforma que lo sustenta.
- Sistema de recepción, en donde es recibida la información transmita por el sensor.

- Interprete, el cual analiza la información normalmente en forma visual y/o digital.
- Usuario final, quien es el encargado de analizar el fruto de la interpretación.

Para que la percepción remota sea posible, es necesario que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. Los tres elementos de un sistema de percepción remota son: el sensor, el objeto observado y el flujo energético, el que permite poner a ambos en relación (Soria *et al.*, 1998). Las tres formas de adquirir información a través de un sensor remoto son por medio de la reflexión, emisión y emisión-reflexión (Chuvienco, 1990).

El flujo energético entre la superficie terrestre y al sensor, constituye una forma de radiación electromagnética, característica que se ha explicado por dos teorías: a) como haz ondulatorio y b) como una sucesión de unidades discretas de energía o fotones con una masa igual a cero (actualmente se ha demostrado que la luz puede comportarse de acuerdo a ambos planteamientos) (Soria *et al.*, 1998).

Ésta energía se puede describir por dos elementos: F (frecuencia) y λ (longitud de onda), dado que:

$$C = F * \lambda \text{ (C = velocidad de la luz)}$$

La cantidad de energía de un fotón es: $Q = h * F$

Donde Q es la energía radiante de un fotón (J), F es la frecuencia y h es la constante de Planck (6.6×10^{-34} J/s). A mayor λ menor energía y a mayor F, mayor energía.

El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es una sucesión de λ continua, pero existen una serie de bandas donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar, la organización de dichas bandas de λ o F se llama espectro electromagnético. Las λ más cortas se miden en μm y las más largas en cm o m; éstas últimas se designan también por su frecuencia (GHz) (Lillesand y Kiefer, 1987).

Resulta conviene destacar una serie de bandas espectrales, que corresponden a las empleadas más frecuentemente en percepción remota:

- Espectro visible: radiación que puede percibir el ojo humano, en el se distinguen 3 bandas elementales:

Azul (0.4-0.5 μm)

Verde (0.5-0.6 μm)

Rojo (0.6-0.7 μm)

- Infrarrojo (IR) cercano (0.7-1.3 μm): también llamado IR reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse mediante películas especiales. Puede discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- IR medio (1.3-8 μm): aquí se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- IR lejano o térmico (8 a 14 μm): incluye la porción emisiva del espectro terrestre.
- Microonda (a partir de 1 mm): tipo de energía muy transparente a la cubierta nubosa.

Orbita satelital

La órbita teórica de un satélite es una elipse. En el caso de satélites ambientales esta elipse se considera un círculo con la tierra como centro. Las órbitas se describen como:

- Ecuatoriales: Con una órbita en el plano del ecuador.
- Polar: Con una órbita en el eje de la tierra.
- Semipolar: Con una órbita oblicua al eje de la tierra.

La mayoría de los satélites de comunicación tienen una órbita ecuatorial, mientras que los de observación terrestre la tienen polar o semipolar. Las polares se prefieren para ver zonas longitudinales a la luz del día o en la noche.

La inclinación de la órbita (i) se define como el ángulo formado por el plano orbital y el plano ecuatorial. Las órbitas semipolares pueden ser de dos tipos: prógrada, en la que la órbita se mueve en la misma dirección que la rotación de la tierra (i es menor a 90°) y retrógrada, donde la órbita se mueve en la dirección contraria a la rotación de la tierra (i es mayor a 90°).

El punto en el cual el satélite cruza el ecuador se conoce como punto nodal. El nodo ascendente es el punto nodal en el cual el punto del satélite que se dirige al norte cruza el

plano ecuatorial y viceversa. Dos tipos de órbita son descritos por los satélites de observación de cobertura completa de la tierra. La órbita geosincrónica y la órbita heliosincrónica (Chuvienco, 1990).

Órbita geosincrónica: Tienen alturas de hasta 3600 Km. Los satélites en ellas se mueven en la misma dirección de la tierra y su velocidad está ajustada para mantener su posición sobre un punto determinado de la superficie terrestre. Cuando un satélite geosincrónico se coloca en el plano ecuatorial ($i = 0$), se le llama satélite geoestacionario. Éstos no pueden observar la tierra a latitudes mayores de 80° , son capaces de registrar toda su área de cobertura (1/3 de la superficie de la tierra) cada 30 minutos. La gran área de visión y el corto período de repetición los hacen muy útiles para estudios meteorológicos y oceanográficos. Las principales ventajas de un satélite geosincrónico son:

- Tienen la mayor frecuencia de observación de un punto sobre la superficie terrestre, que se puede tener en un sistema en órbita.
- La posibilidad de registrar el mismo punto de la superficie repetitivamente genera series de datos espacialmente corregistradas.
- La mayor área de cobertura en un sistema orbital.
- Uso efectivo de las telecomunicaciones.

Las principales desventajas son:

- Las dificultades técnicas y económicas de poner un satélite en una órbita alta y de obtener un desempeño adecuado de los sensores que éste lleva a bordo (e.g. obtener una adecuada resolución espacial).
- La pobre cobertura de los polos.

Órbita heliosincrónica: En ella los satélites están a mucho menor altura (entre 700 y 900 Km.) que la geosincrónica y su inclinación es cercana a 90° , los satélites (LANDSAT, NOAA, SeaStar, SPOT) pasan sobre el ecuador al mismo tiempo solar cada día. Esto significa que un punto particular de la tierra es visto regularmente a la misma hora, lo que es útil para análisis comparativos de datos multitemporales. Al elegir parámetros de órbita correctos es posible no sólo obtener una cobertura de toda la superficie terrestre,

sino que también seleccionar el periodo entre las observaciones en un determinado lugar. Esto se logra con satélites de bajo nivel, en órbitas heliosincrónicas polares o semipolares (Chuvieco, 1990; Soria *et al.*, 1998).

Las principales ventajas de un satélite heliosincrónico son:

- La facilidad tecnológica y económica de colocar el sistema en una órbita baja y de obtener un desempeño adecuado de los sensores (*e.g.* resolución espacial del orden de la decena de metros).
- La posibilidad de auxiliar al sistema con misiones tripuladas.

Las principales desventajas de una órbita heliosincrónica son:

- La baja frecuencia de cobertura (en el orden de días a semanas). Este problema, sin embargo, puede ser solucionado con la elección de los parámetros de órbita adecuados.
- La pérdida de datos por cobertura nubosa, pequeña área de cobertura y baja repetitividad.

En resumen las principales limitaciones de los sensores remotos son:

- Poca efectividad en la penetración de las nubes.
- Baja precisión del sensor.
- Sólo detectan la superficie del objeto de estudio.

Los sensores remotos entregan una serie de productos que incluyen una serie de mediciones en las que podemos considerar: color, temperatura, pendiente, altura y rugosidad del mar, y de acuerdo a la región del espectro donde operan se pueden clasificar como de microondas, visibles, infrarrojos; y según el tipo de energía usada en activos y pasivos.

Sensores de microondas

Escaterómetro: El escaterómetro es un radar diseñado para medir la velocidad y dirección del viento en la superficie del mar. Transmite un impulso de pulsos cortos y mide el poder del eco reflejado desde la superficie a una variedad de ángulos de

incidencia y responde principalmente a la rugosidad superficial, pero en una medida menor es influido por la espuma y partículas suspendidas, el cual coloca una cota al límite superior de resolución a velocidades altas de viento (Chuvienco, 1990).

Altímetro: El altímetro es un radar que mide la altura precisa de un instrumento sobre la superficie, cuantificando el periodo entre la transmisión y recepción de una cadena de pulsos cortos. En el presente tiene una precisión superior a 5 cm, que se logra a través de una mezcla de sofisticadas técnicas de compresión de pulso y seguimiento del nivel del mar.

Radar de Apertura Sintética (RAS): El RAS es un instrumento que produce imágenes de microondas de la tierra, desde el espacio con una resolución comparable a los sistemas ópticos (aproximadamente de 20 a 5 metros).

Radiómetros de Microonda Pasivos (RMP): Los RMP observan la radiación emitida desde la tierra (mar) en el periodo de 1 a 300 GHz, pero la mayoría de las variables relacionadas con el océano se obtienen en el periodo bajo los 40 GHz. Estos son usados principalmente en la medición de temperatura superficial, viento y otras variables atmosféricas (Chuvienco, 1990).

Sensores de color (visible e infrarrojo)

Para entender el vínculo entre el color del océano y la concentración de material suspendido en la capa superficial, se construyeron modelos de transferencia radiactiva a partir de las características espectrales de una serie de sustancias. La radiancia total detectada por el sensor se puede dividir en dos componentes:

- i) es la parte de la señal que ha penetrado la superficie y es reflejada desde el interior del océano, multiplicado por el coeficiente de transmisión difusa entre la superficie del mar y el sensor.
- ii) la radiancia que no ha penetrado la superficie del mar, pero que es reflejada desde otras fuentes al sensor (Chuvienco, 1990).

Mientras que los efectos del océano dominan la primera, los eventos atmosféricos dominan la segunda generando un ruido no deseado. La tarea básica al procesar datos de

color es identificar y eliminar este ruido, entonces, generar el mejor estimador de la concentración de pigmentos fitoplanctónicos (Chuvieco, 1990).

Sensores infrarrojos

El primer conjunto de observaciones repetitivas de la superficie del mar tomadas desde satélites fue de temperatura. Las plataformas han cambiado su nombre y ahora orbitan el planeta en tándem. Los sensores han alternado entre 4 y 5 canales, teniendo el de 5 canales uno centrado en los 12 μm , en adición a los de 3.7 y 11 μm (Butler, 1988).

Según el tipo de energía utilizada pueden ser: sensores pasivos, que recogen la energía electromagnética procedente de la cubierta terrestre, ya sea reflejada desde los rayos solares, o emitida debida a su propia temperatura y sensores activos, que emiten su propio haz energético, que posteriormente recogen por reflexión sobre la superficie que se pretende observar (Soria *et al.*, 1998).

Para este trabajo se utilizaron imágenes de los sensores OCTS, SeaWiFS y AVHRR.

Características técnicas del sensor OCTS

En noviembre de 1996 fue puesto en órbita el sensor OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner), a bordo de la plataforma ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) por la NASDA (Nacional Space Development Agency of Japan); la empresa Orbital Sciences Corporation u Orbimage es la responsable del procesamiento y distribución de los datos GAC (Global Area Coverture). El sensor tuvo como objetivo medir la concentración de clorofila *a*, sustancias disueltas en el agua y TSM, una avería suspendió su funcionamiento en junio de 1997 (Tabla X). El OCTS se movió en una órbita heliosincrónica a una altura de 800 km, tuvo un ancho de barrido de 1400 km, resolución espacial de 700 m^2 por píxel, con resolución temporal de tres días y resolución radiométrica de 10 bits (McClain *et al.*, 2002).

Características técnicas del sensor SeaWiFS

La NASA puso en órbita el sensor SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor) a bordo del satélite SeaStar, en septiembre de 1997. Este sensor fue equipado igual que el OCTS, con dos canales más en la región del espectro de luz visible que el CZCS (Costa Zone Color Escáner), proveyendo de imágenes para el mapeo sinóptico de los pigmentos

fitoplanctónicos en la capa superior del océano y por lo tanto la estimación de la productividad primaria a nivel global, dando continuidad a las investigaciones basadas en las imágenes de CZCS. El satélite SeaStar, anteriormente OrbView-2, fue construido y actualmente es controlado por la compañía Orbital Sciences Corporation u Orbimage (Kirk, 1983).

SeaWIFS es un sensor pasivo, es decir capta la radiancia reflejada por el mar en 8 longitudes de onda, que van desde los 402 nm hasta los 885 nm, dichas longitudes de onda permiten estimar la concentración de clorofila *a*, en base a las radiancias de longitudes de ondas, donde se observan mínimos y máximos de absorción de luz por la clorofila. Sin embargo, la medición no es horizontal, ya que se estima la concentración de pigmento en la primera profundidad óptica. La zona eufótica tiene 4.6 profundidades ópticas, si se considera el fondo de la zona eufótica como la profundidad donde la irradiancia es 1 % de la luz incidente justo por debajo de la superficie del mar (Kirk, 1983).

La órbita del SeaStar tiene una altura de 705 km, con una inclinación de 98.2°. El período orbital es de 99 minutos, con 14.5 órbitas diarias. Aproximadamente el 90 % de la superficie marina es cubierta cada dos días; presentando orbitas circulares, polares y heliosíncrona, lo que permite observar una determinada zona de la Tierra repetidamente con las mismas condiciones lumínicas. El cruce por el Ecuador, en sentido descendente, se da a las 12: 00 hora local, con un margen de 20 minutos.

La selección de sus bandas se ha basado en las características espectrales de algunos constituyentes ópticos del agua, y la transmitancia espectral del oxígeno y el vapor de agua atmosféricos. De los seis canales que tiene el sensor, seis de ellos operan en la banda visible: 3 en el azul (B), 2 en el verde (G) y uno en el rojo (R). Los dos canales restantes operan en la zona del infrarrojo cercano (Tabla X).

El interés científico en el color del océano, se debe a que en la mayoría de mares y océanos, la región visible del espectro varía con la concentración de clorofila y otros pigmentos presentes en el agua (por ejemplo, cuanto más fitoplancton contenga el agua, más verde estará (Fonseca y Farias, 1987).

Tabla X. Característica espectrales de los sensores OCTS y SeaWiFS.
Tomado de: Fonseca y Farias, 1987.

Banda	Intervalo Espectral (nm)	Uso
1	402 - 422	Absorción de sustancias amarillas
2	433 - 453	Absorción de Cl <i>a</i>
3	480 - 500	Ab. de sustancias disueltas en el agua no Cl
4	500 - 520	Concentración de Cl <i>a</i>
5	545 - 565	Correlación con fluorescencia
6	660 - 680	Absorción de Cl <i>a</i>
7	745 - 785	Corrección atmosférica: aerosoles
8	845 - 885	Corrección atmosférica

Para el OCTS dos bandas más en el infrarrojo para medir la TSM

SeaWiFS transmite en dos formatos, los datos LAC (*Local Area Coverage*) y GAC (*Global Area Coverage*). Los datos LAC se transmiten de forma continua, y tienen una resolución de 1.2 km por pixel en una franja de 2800 km de ancho. Los datos GAC se almacenan a bordo y se envían a la estación en tierra cada 12 horas con una resolución radiométrica de 10 bits. Los GAC se obtienen submuestreando los LAC, presentando una resolución de 4.5 y 9 km por pixel en una franja de 1500 Km (Fonseca y Farias, 1987).

La mayor parte de los productos que se pueden obtener a partir de los datos del sensor SeaWiFS son de carácter oceánico, pues la elección de bandas espectrales se ha hecho teniendo en cuenta el estudio de los océanos. Entre los productos de nivel encontramos: radiancias de aguas emergentes, radiancias del aerosol, concentración de pigmentos, concentración de clorofila *a*, coeficiente de atenuación difusa, valor épsilon para corrección de aerosoles, espesor óptico del aerosol (Fonseca y Farias, 1987).

Características técnicas del sensor NOAA/AVHRR

Los satélites NOAA, poseen una orbita polar heliosincrónica, con altitud de 833 a 870 km y periodo de 102 minutos para completar una vuelta alrededor de la Tierra. En su interior posee un instrumento llamado AVHRR; es un radiómetro de imagen multicanal con un espejo rotatorio que en cada giro capta una franja correspondiente a 2048 registros o píxeles.

El ángulo de barrido es de 55.4° a ambos lados de la traza; ello conlleva problemas geométricos y radiométricos en las imágenes resultantes. De este modo, mientras en el

nadir tenemos una resolución de 1.1 x 1.1 km; en los extremos de la imagen llega a degradarse hasta 2.4 x 6 km. Se aplican algoritmos especializados, para corregir geoméricamente la distribución espacial de los datos debido a la rotación, curvatura de la superficie terrestre, al efecto de visión y la inestabilidad de la plataforma (Fonseca y Farias, 1987).

Hay tres tipos de transmisión de datos AVHRR desde el satélite a Tierra, HRPT (High Resolution Picture Trasmition), LAC (Local Area Coverage) y GAC (Global Area Coverage). La transmisión de datos HRPT se realiza de forma continua y se trata de datos de alta resolución. Los datos LAC también son de alta resolución pero se almacenan a bordo y se envían a tierra posteriormente. Los datos GAC se obtienen a partir de los LAC promediando valores muestreados.

La imagen de TSM, consiste de una franja de 2971 km x 1.1 km en cada barrido. La información recibida es enviada a 5 filtros de nivel espectral diferente, (Tabla XI) (Cáceres y Arcos, 1991).

Tabla XI. Características espectrales del sensor AVHRR.
Tomado de: Fonseca y Farias, 1987.

Canal	Intervalo espectral (μm)	Uso
1	0,58 - 0,68	Mapeo diurno de nubes
2	0,72 - 1,10	Demarcación tierra-agua
3	3,55 - 3,93	TSM, mapeo nocturno de nubes
4	10,30 - 11,30	TSM, mapeo de nubes noche día
5	11,50 - 12,50	TSM

Bernstein (1982) y McClain *et al.* (1983) han demostrado que se pueden obtener las TSM a partir de los datos AVHRR con una exactitud aproximada de 0,6 °C en océanos oligotróficos, comparados con datos obtenidos desde barcos y boyas, sin embargo, esto se obtuvo en océanos oligotróficos. La resolución radiométrica de los datos AVHRR es de 1024 niveles de grises para cada banda o canal, lo que resulta en una capacidad de discriminación de 0.13 a 0.10 grados Celsius en los canales 4 y 5 y de 0.17 a 0.05 grados Celsius en el canal 3. Su periodo de medición relativamente lineal abarca desde los -50 a 50 °C; siendo el error total del AVHRR de 0,31 °K.

Los satélites NOAA/AVHRR se proyectan como un gran escenario para el estudio de diversos eventos dentro de los que encontramos Climatología, cambio global, respuestas

atmosféricas a las anomalías de TSM, predicción del clima, intercambio gaseoso a través de la interfase aire-océano, flujo de calor y como afecta al balance energético oceánico, convección profunda y formación de masas de agua, oceanografía dinámica, estudios de polución. La limitación principal de esta metodología radica en las características del instrumento y la señal detectada ya que la señal es perturbada por la presencia de nubosidad (Fonseca y Farias, 1987).

Nota: Este apéndice contiene algunos extractos de las tesis de Barocio-León (2005), Cruces (2003) y Frías-Velasco (2004).

APÉNDICE C

“El Niño Oscilación del Sur” (ENOS)

La variabilidad ambiental en el Océano Pacífico tropical presenta pautas anuales, interanuales y sobre mayores escalas temporales. La variabilidad interanual es particularmente fuerte en la porción oriental del Pacífico ecuatorial debido al evento natural océano-atmósfera denominado “El Niño” Oscilación del Sur (ENOS), el cual se presenta con periodos de 2 a 7 años (Fiedler, 2002).

Los pescadores de Perú dieron el nombre de “El Niño” al evento, debido a que coincide con la navidad. En sus costas una zona de surgencia provocada normalmente por los vientos alisios del Sureste, provoca el afloramiento de aguas profundas, ricas en nutrientes y frías lo que repercute en fuerte producción pesquera. Cuando los vientos dejan de soplar en navidad la temporada de pesca termina. Cuando el evento es más intenso o prolongado causa graves pérdidas en la producción pesquera (Ripa, 1991).

El evento ENOS es una fluctuación irregular que involucra al Océano Pacífico y a la atmósfera global y consiste de una inestable interacción entre la temperatura superficial del mar (TSM) y la presión atmosférica. “El Niño” se caracteriza por la desaparición de los vientos alisios, el hundimiento de la termoclina y calentamiento de la TSM en el Pacífico tropical ecuatorial, mientras que la fase opuesta llamada “La Niña”, se caracteriza por fuertes vientos alisios, una termoclina muy superficial y bajos valores de TSM. Sus consecuencias se observan en la productividad biológica y en las pautas de alimentación y reproducción de los organismos marinos incluyendo a aves y mamíferos (Fiedler, 2002).

En términos biológicos, las repercusiones del evento “El Niño” se hacen evidentes por el empobrecimiento de las aguas posterior al hundimiento de la termoclina; esto se debe a la disminución de nutrientes y el desplome de la producción del fitoplancton. Los cambios en las formas pelágicas se suceden desde la producción secundaria hasta propiciar cambios en las rutas migratorias de atunes y salmones (Mysak, 1986). Mortalidad de aves por fallos en los eventos reproductivos debido a reducciones en la disponibilidad de alimento y alteraciones en el patrón de lluvias (Schreiber y Schreiber, 1984).

Los efectos sobre el ecosistema bentónico más difundidos son aquellos relacionados con el “blanqueamiento” de coral y la afectación de algunos bancos de macroalgas. El calentamiento de las aguas, la turbidez y sedimentación, y los niveles del mar han afectado severamente a los arrecifes de coral (Glyn y De Weerd, 1991; Reyes-Bonilla, 2001).

En el Pacífico mexicano no existen estudios en el ámbito sistémico que evalúen el efecto de “El Niño” y “La Niña” en los ambientes bentónicos costeros. La literatura científica disponible consiste en información fragmentada sobre efectos particulares, los cuales pueden propiciar el incremento o disminución en los niveles poblacionales de algunas especies debida a su propia tolerancia ambiental: macroalgas (Scrosanti, 2001), o a una respuesta conductual que podría afectar su capturabilidad: sardina (Nevárez-Martínez *et al.*, 2001) y peces costeros (Godínez-Domínguez, 2003). Otros ejemplos en la región templada del Pacífico oriental indican incrementos de los niveles de abundancia de cirrípedos (Connolly y Roughgarden, 1999) y altas mortalidades del abulón negro (Raimondi *et al.*, 2002).

Existe un nivel de efecto directo en los organismos durante el evento de “El Niño”, debido a las variables ambientales o por la afectación del hábitat, sin embargo en el caso de muchos invertebrados el punto crítico de afectación está relacionado con el proceso de reclutamiento postlarval. Estudios del impacto de las condiciones oceanográficas sobre la variabilidad del reclutamiento sobre escalas interanuales han revelado patrones de covariabilidad que indican una influencia sobre el estadio larvario. La correlación entre el índice de surgencias y la TSM podrían reflejar la existencia de mecanismos que involucran el transporte a través de la plataforma, además de la producción de alimentos (Botsford, 2001).

Existen diversos índices para cuantificar la aparición y magnitud de ENOS. Entre ellos el Índice de la Oscilación del Sur (IOS), este se define como la diferencia normalizada de presión del nivel del mar entre Tahití (18° S, 150° O) y Darwin (10° S 130° O), este índice puede ser calculado desde 1876 (Sánchez *et al.*, 2000). Recientemente, se generó el índice multivariado del ENOS (IME) que considera variables oceanográficas y atmosféricas para cuantificar la anomalía del ENOS desde 1950 (Wolter y Timlin, 1998).