



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

Efectos climatológicos de la temperatura superficial del mar, en la pesquería de sardina crinuda (*Opisthonema* spp) en el sur del Golfo de California, 1996-2008

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

JUAN ROBERTO F. VALLARTA ZÁRATE



**DIRECTOR DE TESIS:
M. C. MERCEDES L. JACOB CERVANTES**

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**Efectos climatológicos de la temperatura superficial del mar, en la pesquería de sardina crinuda (*Opisthonema spp.*)
en el sur del golfo de California, 1996-2008**

realizado por **Vallarta Zárate Juan Roberto Felipe** con número de cuenta **3-0201558-4** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dra. Ma. Teresa Gaspar Dillanes

Propietario Dr. Carlos Díaz Ávalos

Propietario M. en C. Mercedes Laura Jacob Cervantes
Tutora

Suplente Dr. Artemio Gallegos García

Suplente Dra. María Luisa Andrea Raz-Guzmán Macbeth

Atentamente,

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Ciudad Universitaria, D. F., a 20 de mayo de 2010

EL COORDINADOR DEL COMITÉ ACADÉMICO DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

DR. PEDRO GARCÍA BARRERA

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGÍA

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

'nlm.

AGRADECIMIENTOS.

Académicos.

A mi H. Jurado.

M. en C. Mercedes L. Jacob Cervantes

Principal responsable de la asesoría y dirección de este trabajo, que sin sus atenciones, apoyo, consejos, pero sobre todo con su amistad no hubiera sido posible. No tengo palabras para agradecerte todo tu apoyo y abrirme las puertas de tu casa para conocer a tu bonita familia.

Dra. María Teresa Gaspar Dillanes

Dr. Carlos Díaz Ávalos

Dr. Artemio Gallegos

Dra. María Luisa Andrea Raz-Guzmán Macbeth

Agradeciendo de antemano todo el apoyo, consejos y atenciones en este trabajo.

Al ing. Erik Márquez García por brindar el asesoramiento en el desarrollo de la parte de la temperatura superficial del mar, además de ser pieza clave en mi formación y tantas cosas que aprendí de él.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias, por guiarme en mis aventuras a través del maravilloso mundo natural.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, pero sobre todo al Laboratorio de Oceanografía Física por las facilidades prestadas en la asesoría del procesamiento y manejo de las imágenes satelitales, en especial al M. en C. Ranulfo Rodríguez Sobreyra que sin su ayuda no hubiera sido posible este realizar este trabajo.

A la UNAM por permitir mi formación y en la cual experimenté momentos inolvidables, espero poner siempre su nombre en alto.

Al CRIP Mazatlán, INAPESCA-SAGARPA, por las facilidades prestadas en el desarrollo del trabajo con los datos biológico-pesqueros. Al Lic. Pedro Valdez Ledón por el apoyo brindado en estas instalaciones.

Personales.

Dedicado a mis Padres con todo mi cariño y respeto porque sin ellos no sería lo que soy. Sobre todo a mi Madre por su amor, entrega e incansable esfuerzo en hacerme una persona de bien, mostrando siempre el mejor ejemplo a **seguir...Gracias Madre, esto es por y para ti, no me alcanzan las palabras para** decirte lo mucho que te quiero y admiro. Ray muchas gracias por ser el mejor padre del mundo y por brindarme un ejemplo a seguir dando siempre lo mejor de ti para hacerme una buena persona y enseñarme siempre a sonreír.

A mis Abuelos, que nunca me permitieron agachar la cabeza en momentos difíciles y que me han apoyado siempre con sabios consejos, ustedes son parte de mi vida y no se que hubiera pasado si no estuvieran. Gracias abuelita por enseñarme todo lo que sabes y ayudarme hasta el día de hoy; gracias abuelo por ser así conmigo y por acompañarme siempre en mis aventuras, ustedes me dan la fuerza para seguir adelante.

A mis hermanos que nunca me abandonaron cuando los necesité y siempre me brindaron todo el apoyo para lograr lo que hoy concluyo. Marlene con su ejemplo, Pamela por su amor y Poncho, mi fiel amigo y compañero, te quiero hermano somos buen equipo. A mi sobrina Sophia, que llegó a llenar de luz mi corazón.

A Violeta, por estar siempre conmigo en las buenas y malas y que sin tu apoyo hubiera sido muy difícil, siempre te llevo en mi corazón.

A mis queridos amigos Julio, Toño y Julián, por brindarme su amistad para vivir grandes momentos que nunca olvidaré. Sobre todo a Julio por aprender conmigo las lecciones de la vida y ser incondicional en todo momento.

A mis buenos amigos de la Prepa 3, que con su amistad hemos recorrido largos caminos.

A mis amigos de la Facultad de Ciencias, por compartir conmigo grandes momentos.

A todas las personas que bien o mal han aportado algo a mi vida.

Finalmente al pueblo de México por permitirme desarrollar esta maravillosa carrera en la máxima casa de estudios, y que espero algún día retribuir algo a esta gran nación.

“Un científico debe tomarse la libertad de plantear cualquier cuestión, de dudar de cualquier afirmación, de corregir errores”

Julius Robert Oppenheimer

“La ciencia tiene como meta: el menor dolor posible, una vida lo más larga posible..., por consiguiente, una especie de felicidad eterna, ciertamente muy modesta en comparación con las promesas de las religiones”

Nietzsche

“Solo unos pocos pueden dudar; los demás se conforman con creer o negar”

Cidofe

“La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad”

Julio Verne

“El hombre esta dispuesto a negar todo aquello que no entiende”

Pirandello

“Un buen científico es aquel que puede unir su imaginación con la realidad mediante el puente de la ciencia”

A. Bernardin

ÍNDICE

Resumen.....	1
1. Introducción.	
1.1 Los pelágicos menores.....	2
1.2 La sardina crinuda y su pesquería en el sur del Golfo de California.....	4
1.3 Los fenómenos de El Niño y La Niña y su relación con la pesquería de sardina en México.....	6
1.4 El índice de oscilación del sur.....	8
1.5 La sardina y su ambiente.....	9
1.6 Indicadores biológicos.....	10
1.7 Percepción remota.....	11
1.7.1 Temperatura Superficial del Mar.....	12
1.7.2 Imágenes digitales.....	13
1.7.3 Registro de la temperatura de la superficie del mar por medio de radiómetros satelitales.....	13
1.7.4 Características de los satélites NOAA.....	13
1.8 Las pesquerías y la percepción remota.....	14
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.	
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos particulares.....	16
4. Hipótesis.....	17
5. Antecedentes.	
5.1 Pelágicos menores.....	17
5.2 Sensores remotos.....	19
6. Zona de estudio.....	20
7. Material y método.	
7.1 Datos biológico-Pesqueros.....	23
7.2 Imágenes satelitales de TSM.....	25
7.2.1 Procesamiento de imágenes.....	26
7.3 Índice de oscilación del sur.....	28
7.4 Relación de variables.....	28
8. Resultados.	
8.1 Capturas de la sardina crinuda en el sur del Golfo de California.....	30
8.2 Temperatura superficial del mar y el índice de oscilación del sur.....	34
8.3 Relación de las capturas de sardina crinuda y la temperatura superficial del mar.....	40
8.3.1 Indicadores biológicos.....	44
9. Discusión.....	54
10. Conclusiones.....	59
11. Recomendaciones.....	60
Bibliografía.....	62

Relación de figuras

Fig. 1. Distribución de los pelágicos menores en el Pacífico mexicano.	4
Fig. 2. Capturas históricas de la pesquería de pelágicos menores en el puerto de Mazatlán, Sin. 1973-2007	5
Fig. 3. Zona de estudio.	20
Fig. 4. Representación esquemática de las corrientes que influyen en el área de estudio.	22
Fig. 5. Matriz resultante de los datos de una imagen con las coordenadas de preferencia importada en Excel 2003.	26
Fig. 6. Imagen de la zona económica exclusiva del Pacífico norte de México, correspondiente a marzo de 2008.	27
Fig. 7. Captura mensual de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.	31
Fig. 8. Distribución de los datos de volúmenes de captura durante el periodo de estudio	32
Fig. 9. Captura total anual de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.	33
Fig. 10. Distribución mensual de la captura total de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.	34
Fig. 11. Representación del ciclo anual de la TSM en el sur del Golfo de California.	35
Fig. 12. Distribución de los datos de la TSM.	35
Fig. 13. Representación esquemática de la distribución mensual de la TSM correspondiente a la zona de estudio, 1996-2008.	37
Fig. 14. Representación esquemática de la distribución mensual de las anomalías de la TSM correspondiente a la zona de estudio, 1996-2008	38
Fig. 15. Relación entre las anomalías de la TSM de la zona de estudio y el SOI para latitudes ecuatoriales.	39
Fig. 16. Relación histórica de las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California y la TSM, 1996-2008.	40
Fig. 17. Relación histórica de las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California y las anomalías de la TSM, 1996-2008.	41
Fig. 18. Comportamiento de las capturas de sardina crinuda y de la TSM en el sur del Golfo de California por temporada de pesca, 1996-2008.	43
Fig. 19. Factor de condición de la sardina crinuda, 1996-2008.	45

Fig. 20. Frecuencia relativa de organismos maduros de sardina crinuda, 1996-2008.	46
Fig. 21. Relación entre el FC y la TSM, 1996-2008.	47
Fig. 22. Relación entre los organismos listos para desovar y la TSM, 1996-2008.	48
Fig. 23. Representación esquemática de la distribución mensual del FC (A) y de los organismos en fase IV de madurez (B), 1996-2008.	49
Fig. 24. Relación de variables biológicas durante 2007-2008.	51
Fig. 25. Relación histórica TSM-FC de machos.	52
Fig. 26. Relación histórica TSM-FC de hembras.	52
Fig. 27. Relación histórica TSM- frecuencia relativa de machos.	53
Fig. 28. Relación histórica TSM- frecuencia relativa de hembras.	53

Relación de tablas

Tabla 1. Escala morfocromática de madurez sexual propuesta por Nikolsky (1963) modificada por Cisneros-Mata (1987).	24
Tabla 2. Coeficiente de Spearman (Daniel, 1996), producto de la correlación entre las capturas de sardina crinuda del sur del Golfo de California con la TSM por temporada de pesca.	42
Tabla 3. Coeficiente de Spearman (Daniel, 1996), producto de la correlación de las distintas variables.	46

Efectos climatológicos de la temperatura superficial del mar, en la pesquería de sardina crinuda (*Opisthonema spp*) en el sur del Golfo de California, 1996-2008

Resumen

La pesca de pelágicos menores es una de las más importantes del país, a nivel regional dicha pesquería aporta aproximadamente el 14 % de la captura total del estado de Sinaloa y está basada en las tres especies de sardina crinuda (*Opisthonema libertate*, *O. bulleri* y *O. medirastre*), y en la sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*), siendo la sardina crinuda la especie objetivo. La sardina crinuda presenta variaciones de abundancia a lo largo del año, afectando la disponibilidad del recurso para la flota pesquera y provocando en algunas ocasiones pérdidas económicas para el sector sardinero. Dicha dinámica se atribuye, entre otros factores, a los efectos ambientales que actúan directamente sobre estas especies.

Para la realización de este análisis se contó con información biológica y pesquera de la sardina crinuda, que se generó en el Programa de Pelágicos Menores del CRIP-Mazatlán, INAPESCA, SAGARPA. Para determinar los efectos ambientales de la temperatura de la superficie del mar (TSM), se analizaron imágenes satelitales de esta variable, procesadas en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, con el objetivo de observar las variaciones térmicas del agua para el periodo de 1996 a 2008 y determinar si existe relación con las capturas de sardina crinuda.

Este periodo de estudio incluyó años anómalos de gran intensidad como El Niño 1997-98, donde se observó una estrecha relación con la captura, es decir, en esta temporada de temperaturas extremadamente cálidas (hasta 3°C por encima de la media), las capturas se desplomaron. Caso contrario en la temporada 2007-08, en la cual alcanzaron volúmenes nunca antes registrados, cuando el ambiente presentó las temperaturas mas frías del periodo de estudio (más de 3°C por debajo de la media).

Se obtuvieron estrechas relaciones entre Capturas-TSM. Desde la temporada 2002-2003 aumentaron significativamente los volúmenes de captura de la sardina crinuda, hasta la temporada 2007-08, que coincide con un periodo frío (no menos de 20°C para esta región) que inició en 2003; en 2008 se registraron las mínimas temperaturas (poco mas de 19°C). Se obtuvieron índices biológicos tales como el factor de condición (FC) y el índice gonadosomático (IGS) de los organismos muestreados para determinar el estado de salud de los peces y sus condiciones corporales para posteriormente asociarlos como indicadores de la relación que guarda esta especie con la variabilidad ambiental. Las altas frecuencias de organismos maduros coincidieron con altos valores en el FC de marzo a septiembre. Se determinó una estrecha relación entre el FC y el IGS de 2007-08 (Spearman, $r=0.738$; $p<0.05$), lo que señala que el FC en estas especies es un buen indicador de la reproducción.

1. Introducción

1.1 Los pelágicos menores

La pesca de pelágicos menores representa alrededor del 30% de las capturas de los organismos que se obtienen en aguas mexicanas (Nevárez *et al.*, 2006).

Según la FAO (2009), la pesca de sardina y anchoveta para el año 2000 alcanzó casi el 40% de las capturas totales en el país, razón por la que es de suma importancia conocer la forma de vida y las interacciones que tienen con el ambiente estas especies. La pesquería de pelágicos menores es multiespecífica, es decir, se capturan organismos de diferentes especies con el arte de pesca, en este caso, barco y red de cerco con jareta (Nevárez *et al.*, 2006).

Según Nevárez-Martínez *et al.* (2006), las seis especies de las que se obtiene el 70% de las capturas en México son:

- *Sardinops caeruleus*, (Girard, 1854), “sardina Monterrey”
- *Opisthonema libertate*, (Günther, 1867),
- *O. bulleri*, (Regan, 1904),
- *O. medirastre*, Berry y Barrett, 1963, especies de “sardina crinuda”
- *Scomber japonicus*, Houttuyn, 1782 “macarela” y
- *Engraulis mordax*, Girard, 1854 “anchoveta norteaña”.

Otras especies capturadas en menor cantidad son:

- *Trachurus symmetricus*, (Ayres, 1855) “charrito”
 - *Etrumeus teres*, (Dekay, 1842), “sardina japonesa”
 - *Cetengraulis mysticetus*, (Günther, 1867) “sardina bocona” y
-
-

- *Oligoplites* spp, “sardina piña”.

La pesca de las sardinias Monterrey y crinuda adquirieron importancia en el ámbito nacional, cuando en la década de los 60 se desplomó la pesquería de anchoveta, y durante los años posteriores hasta la fecha, las capturas de estos organismos han ido aumentando considerablemente año tras año (Nevárez-Martínez *et al.*, 2004).

Generalmente las descargas del recurso son destinadas a la elaboración de harina y aceite de pescado (85%) para la producción de materia prima de alimentos de animales, el resto (15%) es enlatado y congelado. Se sabe que a partir del año 2001 aumentó el porcentaje de pelágicos menores que el humano consume directamente (25%) como parte de su alimentación (Anónimo, 2003). La sardina crinuda llegó a convertirse, de manera importante, en alimento para el ser humano a partir de la década de los 90, ya que anteriormente solo se utilizaba a la sardina Monterrey por sus altos índices de capturas en el Golfo de California (Cisneros Mata *et al.*, 1991; Nevárez- Martínez *et al.*, 2004).

Cuando se consumen estos peces, proveen una rica fuente de proteína. Es por ello que sus productos se destinan a diferentes usos: como alimento fresco en ranchos atuneros, materia prima para el ganado porcino y la industria avícola, carnada en pesca artesanal y deportiva, así como fuente de empleos en puertos donde es procesado este recurso (Nevárez *et al.*, 2006).

Los pelágicos menores son peces que alcanzan longitudes entre los 10 y 30 cm y tienen un ciclo de vida corto. Suelen habitar en zonas costeras de alta productividad biológica y se alimentan de fitoplancton y zooplancton. Además realizan migraciones estacionales para su reproducción y alimentación (Nevárez *et al.*, 2006). La época reproductiva de estos es variable. Los desoves en el Pacífico se realizan en áreas protegidas con poca turbulencia como ensenadas y bahías, estrategia para incrementar la sobrevivencia de las larvas (Bakun y Parrish, 1982).

Las distintas especies de peces pelágicos menores –clupeidos y engraulidos principalmente- constituyen organismos de gran importancia tanto desde el punto de vista ecológico como del pesquero. Ello es debido a que en el ambiente marino representan el alimento de un gran número de especies de peces, moluscos, aves y mamíferos marinos (Holt, 1975).

1.2 La sardina crinuda y su pesquería en el sur del Golfo de California

La sardina crinuda en el Golfo de California es actualmente el segundo recurso más importante para la industria sardinera mexicana, después de la sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*). En el ámbito pesquero a nivel regional, en el sur del Golfo de California la sardina crinuda (*Opisthonema* spp) es la más importante, aportando el 14% de la pesca total para el estado de Sinaloa, por ser el recurso pelágico más abundante de su litoral costero.

La sardina crinuda se distribuye en el Pacífico central oriental, incluyendo el Golfo de California (Berry y Barrett, 1963). Esta distribución de los peces pelágicos menores (Fig. 1), incluyendo a la sardina crinuda, responde a una combinación de factores bióticos y abióticos (Nevárez *et al.*, 2006).

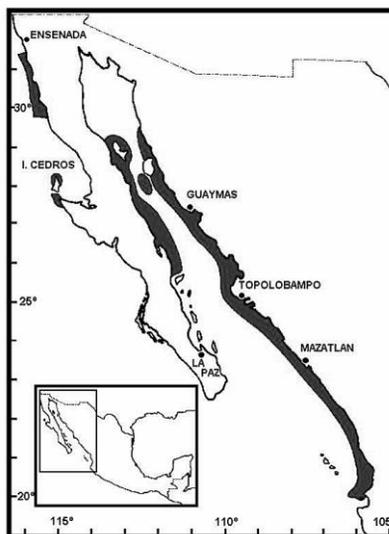


Fig. 1. Distribución de los pelágicos menores en el Pacífico mexicano (tomado de Nevárez *et al.*, 2006).

En el sur del Golfo de California, la pesquería se basa en las tres especies de sardina crinuda (*O. libertate*, *O. bulleri* y *O. medirastre*) y en la bocona (*C. mysticetus*). Generalmente, la sardina crinuda es la especie objetivo en la pesquería y más específicamente *O. libertate*; en ocasiones este patrón no se cumple, pues en ciertos años, se ha visto, que es la sardina bocona la que mantiene a la pesquería con hasta el 70% de la captura total anual (Jacob-Cervantes *et al.*, 2005).

Esta pesquería se inició en la década de 1970, cuando se capturaban alrededor de 15,000 t anuales (Fig. 2), y ha venido incrementando de forma sostenida el volumen global de captura año con año, pues para el año 2000 se alcanzaron 70,000 t (SAGARPA, 2002) y para el 2008 casi se llegó a 80,000 t (Jacob-Cervantes *et al.*, 2009).

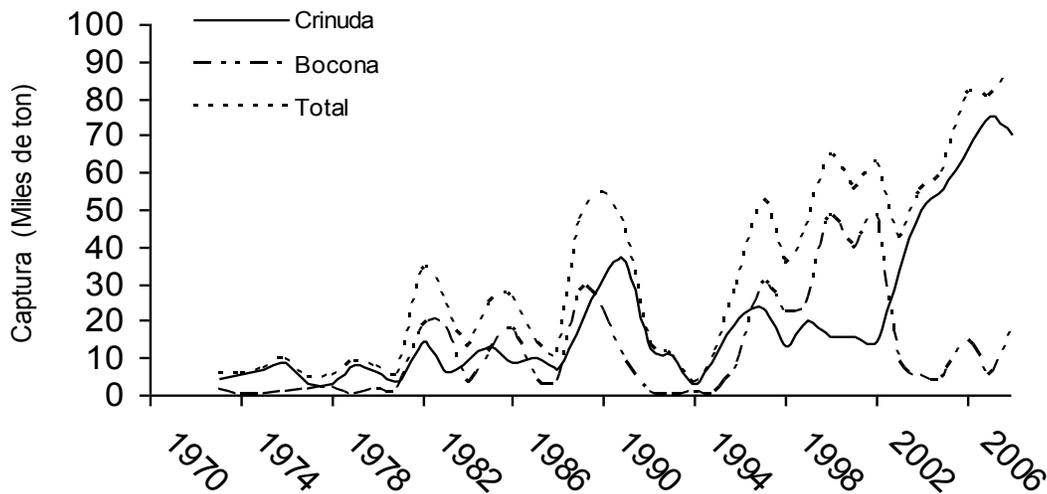


Fig. 2. Capturas históricas de la pesquería de pelágicos menores en el puerto de Mazatlán, Sin., 1973-2007 (tomado de Jacob-Cervantes *et al.*, 2009)

En la región de Mazatlán, el desove para la especie *O. libertate* se realiza en los meses de verano-otoño, mientras que para *O. bulleri* ocurre en primavera y verano.

La época reproductora de la especie *O. medirastre* no se ha definido completamente en el noroeste mexicano; sin embargo, se ha planteado que el

periodo más probable sea invierno (Páez-Barrera, 1976, Rodríguez-Domínguez, 1988).

Las tres especies de sardina crinuda presentan una dispersión de tipo simpátrica; la distribución de este recurso es más amplia, la captura se concentra en aguas de los estados de Sonora y Sinaloa (Anónimo, 1985).

En el puerto de Mazatlán, Sin., se agrupa y descarga la flota pesquera que captura en los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco. Esta flota cuenta con seis barcos que se distribuyen por toda la zona. En este mismo puerto, la industria sardinera genera una importante fuente de empleos para la gente de la región, que convierte el recurso en diferentes productos, en su mayoría harina y aceite –ya que muy poco se destina al consumo humano directo e indirecto- de buena calidad y de los cuales una buena parte es exportada al extranjero (Jacob-Cervantes *et al.*, 2009).

Las temporadas de pesca de esta flota sardinera van de octubre a septiembre del año siguiente, ya que los barcos detienen operaciones en el mes de octubre por las bajas capturas, lo cual coincide con el ciclo natural de la sardina crinuda y es la temporada que la industria aprovecha para el mantenimiento adecuado de su flota.

1.3 Los fenómenos de El Niño y La Niña y su relación con la pesquería de sardina en México

Se conoce con el nombre de "El Niño" a la alteración del sistema global océano-atmósfera que se origina en el Océano Pacífico ecuatorial (es decir, en una franja oceánica cercana al Ecuador), generalmente durante un periodo comprendido entre diciembre y marzo.

El fenómeno inicia en el Océano Pacífico tropical, cerca de Australia e Indonesia, y con él se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes, se producen cambios en la dirección y velocidad de los vientos, y se desplazan las zonas de lluvia en la región tropical (Cruz-Aguirre, 1999).

Durante los años El Niño o ENOS, los vientos alisios en el Pacífico se debilitan, por lo que las aguas más calientes del Pacífico tropical, generalmente confinadas a la región del Pacífico occidental, se esparcen a lo largo del Ecuador y por tanto, las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico central y oriental son más elevadas en uno o dos grados centígrados (Magaña *et al.*, 2009).

En condiciones normales, también llamadas condiciones No-Niño, los vientos alisios (que soplan de este a oeste) apilan una gran cantidad de agua y calor en la parte occidental del Pacífico tropical. El nivel superficial del mar es, en consecuencia, aproximadamente medio metro más alto en Indonesia que frente a las costas de Perú y Ecuador. Además, la diferencia en la temperatura superficial del mar es de alrededor de 8°C entre ambas zonas del Pacífico (Cruz-Aguirre, 1999). Trasviña *et al.* (1999) sugiere que las zonas de surgencia pueden verse influenciadas cuando se presentan fenómenos cálidos como El Niño.

En condiciones No-Niño, las lluvias se localizan en el sureste de Asia, pues la formación de nubes y consecuente precipitación está asociada al aire ascendente que proviene del calentamiento del agua en esa zona del Pacífico. En cambio, el Pacífico Oriental (cerca de América) es relativamente seco (Cruz-Aguirre, 1999).

Además del fenómeno de El Niño, se habla de su contraparte, La Niña, que corresponde a anomalías negativas en la temperatura superficial del Pacífico tropical centroeste. Al parecer, este fenómeno provoca eventos climáticos contrarios a lo experimentado durante El Niño (Cruz-Aguirre, 1999).

La pesca es una de las actividades más afectadas por fenómenos climáticos de este tipo; las dinámicas estacionales y espaciales que presentan los recursos pesqueros causadas por el ambiente, sobrepesca, etc, son las que dan la pauta para el establecimiento y éxito de las pesquerías (Nevárez *et al.*, 2006).

Se sabe que existe una estrecha relación inversa en las capturas de las sardinas

crinuda y Monterrey que se asocia a El Niño, es decir, que los fenómenos cálidos o anómalos positivos que ocurren en las aguas del Pacífico mexicano y Golfo de California afectan directamente la abundancia de sardina Monterrey y benefician de alguna manera la de la crinuda (Lluch-Belda *et al.*, 1986). Lo anterior se ha visto y comprobado en varios casos, como en la temporada 1997-98, cuando se presentó el fenómeno de El Niño, y en el cual la sardina crinuda descargada en Sonora se incrementó a 62,000 t, cifra récord, y la Monterrey disminuyó a 59,000 t (Cisneros-Mata *et al.*, 2000). En el caso de la sardina crinuda que se captura en el sur del Golfo de California no sucede lo mismo, ya que cuando ocurren fenómenos climáticos de este tipo las capturas disminuyen, al igual que las de la sardina Monterrey. Por lo que la sardina crinuda que se captura en el sur del Golfo de California no sigue los mismos patrones que la que se captura al norte, cuando se presentan anomalías climáticas de este tipo (Jacob-Cervantes *et al.*, 2009)

Lo anterior se confirma, -en el caso de Mazatlán- en la misma temporada, ya que las capturas de sardina crinuda logradas de agosto de 1997 a marzo de 1998 alcanzaron las 5,619 t, mientras que durante el mismo periodo de tiempo en la temporada 1996-97 se lograron 16,799 t y en la temporada 1998-99 se obtuvieron 12,929 t.

1.4 El índice de oscilación del sur

El índice de oscilación del sur (SOI por sus siglas en inglés), es un valor que se obtiene de la diferencia de los valores superficiales de presión atmosférica entre la isla de Tahití y Darwin en Australia.

La isla de Tahití se utiliza como punto representativo del comportamiento de la presión atmosférica en la parte oriental-central del océano Pacífico tropical. Por su parte la isla de Darwin se utiliza como el punto representativo de la presión atmosférica de la parte occidental de la misma masa oceánica.

Según el instituto meteorológico nacional de Costa Rica, cuando las presiones son más elevadas en Tahití que en Darwin, por lo general se encuentra activo el fenómeno de La Niña. Mientras que si las presiones son menores en Tahití que en Darwin, por lo general se presenta el fenómeno de El Niño.

Este índice es muy utilizado por presentar altas correlaciones con las anomalías de la temperatura superficial del mar en latitudes ecuatoriales.

1.5 La sardina y su ambiente

Cuando las condiciones ambientales son las óptimas para cada especie, incluyendo la disponibilidad de alimento y la temperatura del agua, los peces alcanzan tasas elevadas de crecimiento, y la sardina crinuda no es la excepción.

La distribución y abundancia en el área de pesca de las diferentes especies de sardina, están restringidas por el ambiente durante las distintas estaciones del año, por lo que en ciertas temporadas la sardina puede o no estar disponible para la flota que captura en el sur del Golfo de California (Jacob-Cervantes *et al.*, 2007). Las capturas son un buen indicador de la abundancia o de las condiciones en las que se encuentran las poblaciones marinas sujetas a explotación.

Según Lluch-Cota (2004), “la mayor limitante para evaluar la vulnerabilidad de la pesca ante el Cambio Climático Global es que no existen, para los mares mexicanos, escenarios formales a escala regional”. Por lo que es necesario conocer las características ambientales que se están modificando en cada región del país, ya que las repercusiones que habrá en las aguas territoriales van a ser a diferentes escalas, afectando a los organismos de distintas maneras. De ahí radica la importancia de hacer estudios específicos para cada recurso marino y así entender la manera en la que se está modificando su ambiente y las repercusiones que tendrá sobre ellos.

“Regionalmente El Niño reduce la biomasa fitoplanctónica, modifica la distribución

de recursos masivos y suele resultar en detrimentos de recursos bentónicos de alto valor” (Lluch-Cota *et al.*, 1999). Por eso cuando se habla de un recurso marino como lo es la sardina, que se alimenta en su mayoría de zooplancton y fitoplancton, se tiene idea de las consecuencias que tienen o podrían tener los fenómenos climatológicos sobre estas poblaciones.

Los organismos son los mejores indicadores que permiten visualizar las modificaciones que sufren los ambientes marinos, por ejemplo en la temperatura del agua. Movimientos migratorios o cambios de hábitat a otros en los cuales nunca se les había registrado, son un ejemplo de las respuestas ante tales fluctuaciones (Morales-Bojórquez, 2009).

En el caso particular de la sardina crinuda que responde a los cambios en su ambiente natural, y del cual se conoce muy poco en la actualidad, es necesario avanzar y realizar estudios que den ideas sobre la vulnerabilidad en la que se encuentra, para tomar las medidas necesarias y aprovechar sustentablemente esta pesquería; además, de esta manera, se podrían proteger las inversiones que se realizan con cierto grado de incertidumbre.

1.6 Indicadores biológicos

Para conocer el estado corporal o de salud que presentan los peces en las distintas épocas del año, se emplean distintos tipos de índices que pueden ser usados como indicadores del estado fisiológico, de sus características fenotípicas y/o para caracterizar la fase reproductiva (Rodríguez, 1992). Dos de ellos son el factor de condición y el índice gonadosomático, que son herramientas útiles para conocer esas características, ya que involucran variables biológicas de los individuos así como el estado reproductivo de éstos:

- **Factor de condición simple** (FC). Se basa en la relación que guarda la longitud total o longitud patrón del pez con su peso, y explica fundamentalmente el grado de bienestar que guarda relación con el cambio

en la corpulencia durante su vida. Relacionado directamente con el crecimiento y/o madurez sexual (Rodríguez, 1992).

- **Índice gonadosomático** (IGS). Se basa en la relación directa que guarda el peso de la gónada con respecto al peso total del organismo, que explica el desarrollo gonádico, ya que alcanza un valor máximo inmediatamente antes del desove (Rodríguez, 1992).

Estos índices se ven influenciados por el medio ambiente, la calidad y disponibilidad de alimento, etc. (Rodríguez, 1992).

1.7 Percepción remota

La percepción remota es la rama científico-técnica dedicada a desarrollar métodos para obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Márquez-García, 2003).

Inicialmente, el término de Oceanografía satelital (percepción remota de la superficie marina a través de satélites) produjo cierto escepticismo en la comunidad oceanográfica. En la actualidad, sin embargo, esta técnica ha mostrado ser una poderosa herramienta de observación y medición. Comparativamente, las observaciones hechas desde buques, aunque valiosas, son lentas y puntuales, es decir, no pueden proporcionar una visión sinóptica del océano en un momento determinado. Las campañas oceanográficas son además muy caras para obtener series de tiempo en puntos fijos sobre el mar. En contraste, las imágenes obtenidas desde el espacio cubren una gran área del océano y permiten a los científicos, como nunca antes, evaluar la variabilidad espacial de la superficie oceánica en forma instantánea. No obstante ambos métodos son complementarios y los datos colectados en buques permiten calibrar y validar los datos obtenidos por sensores remotos (Aguirre, 2002).

Los procesos elementales básicos involucrados en la percepción remota desde plataformas satelitales son: la adquisición de los datos y el análisis de éstos.

La fase de adquisición de datos por medio de instrumentos sensibles a la radiación electromagnética –radiómetros- , montados en satélites artificiales que circundan a la Tierra (sensores satelitales), se concentra en el registro de la energía radiante que llega al sensor desde la fuente de radiación. Es decir, la cuantificación de la cantidad de radiación electromagnética emitida y reflejada de la superficie de la Tierra que es captada por los radiómetros satelitales.

El proceso de análisis de los datos involucra el manejo, la validación, al archivo y el despliegue de los datos. Esta última etapa consiste en la presentación de los datos en pantalla y también en forma numérica digital (Márquez-García, 2003).

1.7.1 Temperatura superficial del mar

Uno de los productos más útiles de la percepción remota de los océanos son los mapas de la temperatura superficial del mar (TSM). Los sensores infrarrojos colocados en satélites se pueden usar para medir la temperatura en grandes extensiones de la superficie oceánica.

Esta información tiene aplicaciones de gran importancia, por ejemplo, estos mapas permiten usar la temperatura superficial del océano para observar patrones de circulación marina, localizar las principales corrientes en los mares y facilitar, por consiguiente, la transportación marítima. El uso de mapas de TSM permite también hacer un seguimiento de las temperaturas del mar y relacionarlas con cambios en el tiempo y en el clima. Asimismo es posible evaluar el impacto de los vientos en los fenómenos de surgencias que se dan en la costa mexicana, ayudando a entender la generación de fenómenos cuyos mecanismos no están del todo explicados, como las mareas rojas (Aguirre *et al.*, 1999), entre otros ejemplos (Aguirre, 2002).

1.7.2 Imágenes digitales

Una imagen digital se puede representar por una matriz de datos, en donde las líneas y columnas definen las coordenadas espaciales (latitud y longitud) de cada área mínima captada por el sensor. Cada una de estas áreas de registro se denomina *píxel*. El píxel representa el valor de energía que en una determinada banda de longitud de onda del espectro electromagnético capta el sensor, del objeto o del proceso emisor de la energía (Márquez-García, 2003).

1.7.3 Registro de la temperatura de la superficie del mar por medio de radiómetros satelitales

Las imágenes obtenidas con los radiómetros montados en los satélites de órbita polar o geoestacionarios son una poderosa herramienta para el registro sistemático de la TSM y para el estudio de diversos procesos del océano que ocurren en su estrato superficial. El atributo principal de esta información reside en la extensión de su distribución espacial, del orden de 10^7 km² por imagen, y una frecuencia de 2 a 6 imágenes diarias. En el océano la reflexión de la luz es debida, básicamente, a materia particulada suspendida en el agua, mientras que la absorción es llevada a cabo por los pigmentos fotosintéticos (clorofila) presentes en el fitoplancton y en la materia orgánica disuelta (sustancia amarilla). El resultado neto de estas interacciones ópticas es la luz que emerge de la superficie oceánica, conocida como la radiancia emergente del agua, parámetro a medir por los sensores remotos satelitales (Aguirre, 2002).

1.7.4 Características de los satélites NOAA

La serie de satélites NOAA, financiada y administrada desde 1970 por el gobierno federal de los Estados Unidos de Norteamérica a través de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por su nombre y siglas en inglés), consiste de casi una docena de satélites (de los cuales los primeros nueve ya han

dejado de funcionar), de órbita casi polar, que forman un ángulo con respecto al eje terrestre de 98°. Estos satélites circundan a la Tierra en un orbita conocida como heliosincrónica. Esto es, el plano orbital del satélite polar permanece fijo con relación a sol (Aguirre, 2002). Una vuelta a la Tierra tiene un periodo cercano a 102 minutos, a una altura aproximada de 850 km sobre la superficie terrestre, y en un día el satélite orbita a la Tierra 14 veces. Estos satélites están diseñados para ofrecer un ciclo o frecuencia de cobertura corto, equivalente a una imagen del mismo escenario cada 12 horas. Este ciclo se mejora a seis horas o menos gracias a la sincronización entre los satélites que operan simultáneamente (Márquez-García, 2003).

1.8 Las pesquerías y la percepción remota

La superficie del mar es la zona de los océanos que se mantiene en contacto directo con la atmósfera. De ahí su importancia, ya que este atributo físico-ambiental le permite presentar un alto índice de variabilidad, misma que registran los sensores remotos (Gallegos *et al.*, 2006).

Las condiciones particulares y los procesos que afectan a las poblaciones de peces, pueden ser estudiadas con técnicas de teledetección que permiten identificar procesos oceanográficos como regiones de surgencias, patrones de corrientes, distribución de la temperatura de la superficie del mar, materia en suspensión y **distribución de clorofila “a” entre otras variables** (Márquez-García, 2003).

Los mapas de TSM son de los productos de mayor utilidad que han proporcionado tecnologías como la de los sensores remotos (Aguirre, 2002). La temperatura de la superficie del mar define la caracterización de condiciones oceanográficas de micro y macroescala, lo que permite describir, identificar y comprender algunos fenómenos que afectan los recursos pesqueros y proporcionar un marco ambiental de su distribución (Márquez-García, 2003). Son muchas las especies de peces que tienen preferencia por agua de mar en un intervalo específico y limitado de

temperatura, por lo que las imágenes de TSM sirven para establecer las áreas de pesca óptimas.

Según Mann (1992) son las propiedades físicas de los mares las que influyen en los procesos biológicos y en todas las escalas espacio-temporales.

2. Justificación

La abundancia de los stocks de sardina crinuda tiene variaciones muy dinámicas espaciales y temporales, por lo que dichos cambios provocan, en ocasiones, pérdidas económicas para el sector industrial. Dada la importancia que ha adquirido este recurso durante la última década, es de vital relevancia conocer más acerca de la dinámica poblacional de esta pesquería y las repercusiones que tienen en ella las fluctuaciones ambientales, dado que hoy se sabe que dichas variaciones afectan el reclutamiento, distribución, abundancia y disponibilidad de recursos pesqueros. Hoy en día se desconoce con precisión la influencia que tiene el ambiente y el esfuerzo pesquero sobre la biomasa de la sardina crinuda en las costas de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, por lo que es de vital importancia avanzar para tratar de responder a estas interrogantes.

La visualización de la distribución espacio-temporal de la temperatura superficial del mar revela una primera imagen de posibles cambios estacionales de ciertos fenómenos oceanográficos, tales como surgencias o entrada de corrientes, situaciones que los stocks pueden aprovechar o incluso verse afectados.

El monitoreo en series de tiempo de estos procesos, es importante para el conocimiento del estado de los recursos marinos y su posible relación con los ciclos estacionales anuales e interanuales de los fenómenos oceanográficos, ya que las fluctuaciones en los índices de abundancia de un stock bajo explotación no solo deben atribuírsele a la sobreexplotación.

De esta manera se podrían llegar a predecir o modelar las fluctuaciones que sufrirían los stocks de esta pesquería a corto plazo, para diseñar una estrategia de manejo que amortigüe pérdidas económicas para el sector sardinero y maximice su aprovechamiento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Identificar la relación que existe entre la abundancia del recurso sardina crinuda (*Opisthonema* spp) y el medio que lo rodea, a través del análisis de datos biológicos-pesqueros del recurso, y de la variable climatológica de temperatura superficial del mar, durante el periodo de 1996-2008.

3,2 Objetivos Particulares

- Analizar el comportamiento de las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California de 1996 a 2008.
 - Analizar el comportamiento de los stocks de sardina crinuda mediante la obtención del índice gonadosomático y el factor de condición.
 - Analizar la dinámica de la estructura térmica de la superficie del mar durante el periodo de estudio.
 - Analizar si existe periodicidad en los fenómenos climáticos como El Niño y La Niña que afectan el hábitat de los stocks de sardina crinuda.
 - Relacionar las capturas y los indicadores biológicos (IGS y FC) con la TSM durante el periodo de estudio.
-
-

4. Hipótesis

La abundancia de los stocks de sardina crinuda (*Opisthonema* spp) capturados en las costas de los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, se asocia a las fluctuaciones que sufre la TSM en las distintas épocas del año, y en ocasiones, a la presencia de anomalías climáticas como las generadas por los fenómenos de El Niño y la Niña, cuando dichas fluctuaciones son de mayor intensidad. Por lo que se considera que la variabilidad de esta pesquería guarda una estrecha relación con las características ambientales de la TSM particulares de cada año.

5. Antecedentes

5.1 Pelágicos menores

La importancia que tienen los pelágicos menores a nivel mundial se ha propiciado que sean objeto de estudio extensivamente en todo el mundo desde el siglo pasado, para entender sus dinámicas espacio temporales, reproducción, edad y crecimiento, estudios moleculares y genética, entre muchos otros. En México, el Golfo de California concentra la mayor parte de los estudios de la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*). Entre esos estudios esta la relación entre la abundancia y el crecimiento individual de la sardina monterrey (Quiñónez *et al.*, 2002), producción de huevos (Nevárez, 1990) y distribución espacial y composición de especies de pelágicos menores en el Golfo de California (Lanz *et al.*, 2007), por mencionar algunos.

Las fluctuaciones climáticas que repercuten en las poblaciones de organismos marinos, y en particular en pelágicos menores, han sido estudiadas utilizando diferentes métodos. En Baja California, por ejemplo, se dice que las fluctuaciones en la captura de pelágicos menores están estrechamente asociadas a variaciones climáticas, cambios en el poder de la pesca y de la flota, entre otras causas (Caddy 1979; Van Winkle *et al.*, 1979; Astudillo y Caddy, 1986; Lluch-Belda *et al.*, 1986).

Específicamente en la pesquería de sardina crinuda en el puerto de Mazatlán se realizó un estudio (Ruiz-Luna y Lyle, 1992) como primer esfuerzo para pronosticar las condiciones que tendría este recurso a mediano plazo, analizando las fluctuaciones observadas en la captura de sardina crinuda, y determinar una posible periodicidad de dichas fluctuaciones; no se tomó en cuenta la temperatura de las aguas donde se captura el recurso. En este trabajo se determina el riesgo en el que se encuentra el recurso (basándose únicamente en los datos pesqueros), por lo complicado de ajustar un modelo que permita predecir el estado de la pesquería, ya que las condiciones oceanográficas son muy dinámicas y estos son organismos son altamente sensibles a cambios en su ambiente. Ruíz-Luna *et al.* (1997), propone un Modelo Lineal Generalizado, estandarizando la captura por unidad de esfuerzo y utilizando el poder relativo de pesca para explicar las variaciones en las capturas de sardina crinuda y determinar la eficiencia de la flota. En este trabajo se observa que dicho modelo explica el 75.3% de la variación en las capturas.

Gallardo-Cabello *et al.* (1991) y Jacob-Cervantes *et al.* (1992) estudian los hábitos alimenticios de la sardina crinuda para observar la técnica que emplea este organismo para alimentarse, así como los organismos que componen su dieta y determinar el aporte de carbono que estas mismas presas le proporcionan.

Actualmente se monitorea permanentemente a la sardina crinuda en Mazatlán, ya que es la más importante en este puerto por sus altos volúmenes de capturas. Cabe señalar que se siguen registrando fluctuaciones en las capturas de los stocks de este recurso, y el uso de sensores remotos para el estudio de condiciones climáticas que afectan directamente a las poblaciones de los recursos marinos podría ayudar a comprender y explicar mas adecuadamente el papel que juega el ambiente con todas sus variables involucradas en estos eventos.

5.2 Sensores remotos

En cuanto al uso de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, se han reportado pocos trabajos en nuestro país. Márquez-García (2003), analiza la cartografía y la climatología de la temperatura de la superficie del mar del Golfo de California. También se han utilizado imágenes de TSM para asociarlas a la captura de pelágicos mayores (Santana, 2001). Morales-Bojórquez (2003) relaciona el reclutamiento y otros parámetros poblacionales de la sardina Monterrey con la temperatura superficial del mar.

También destacan países de América del Sur en el uso de esta herramienta, para monitorear la temperatura y dar seguimiento a los stocks de pelágicos en sus aguas territoriales. Chile es un ejemplo, donde se estudió la estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de los stocks de sardina y anchoveta (Yañez *et al.*, 1995). En Perú también se monitorean permanentemente las pesquerías de pelágicos, calamar gigante, pesca artesanal, entre otras, con ayuda de satélites que proporcionan información de temperatura, salinidad, producción de clorofila *a*, sistema de vientos, corrientes etc. En Venezuela se realizó un análisis de datos mensuales de captura, registros de velocidad del viento, temperatura del aire, precipitación y datos de TSM, para identificar las principales zonas de surgencia y poder asociarlas junto con la variabilidad ambiental del ecosistema, a la pesca de *Sardinella aurita*, una especie de sardina de relevancia en la zona (González *et al.*, 2007). Se reconoce la influencia que ejercen las variables ambientales sobre otras especies y en otras latitudes (Lluch-Belda *et al.*, 1989,1995; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001).

En México, solo hay un trabajo que relacionó la TSM con la pesquería de sardina crinuda en el sur del Golfo de California (Lyle, 1992), sin embargo solo abarca hasta 1991, por lo que es necesario actualizar esta información que permitirá ampliar el conocimiento que se tiene de esta pesquería.

6. Zona de estudio

La zona de estudio fue el área de pesca de la flota sardinera que desembarca en Mazatlán y que realiza la captura frente a las costas de los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco a no más de 20 millas náuticas (Fig. 3). El área de estudio va de los 20 a los 27° N y de los 105 a los 110° W. Esta zona se caracteriza por estar incluida dentro de una zona de transición de masas de agua (Fig. 4) de la corriente Ecuatorial (sur de Sinaloa, Nayarit y Jalisco), masas frías de agua de la corriente de California y aguas de la corriente del Golfo de California (centro y norte de Sinaloa).

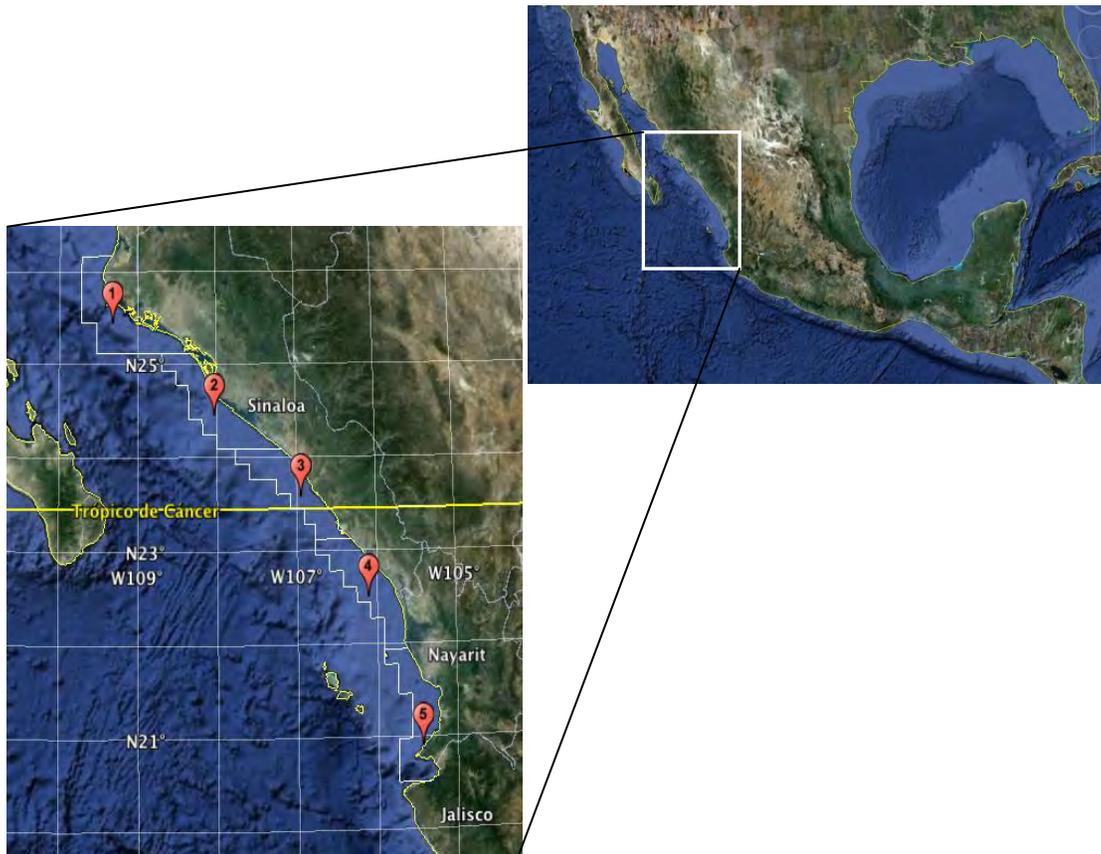


Fig. 3. Zona de estudio que va de los 20 a los 27° N y de los 105 a los 110° W. Los números representan las cinco áreas administrativas de pesca de pelágicos menores del sur del Golfo de California.

La localización de esta zona de transición es variable (Gallegos *et al.*, 1988). Durante el periodo invernal, cuando la corriente de California es más intensa, se localiza más hacia el sur, mientras que en el verano cuando la contracorriente Ecuatorial es más intensa, se mueve hacia el norte (Aguirre, 2002). La zona de transición es una banda ancha centrada aproximadamente 200-300 km lejos de la costa y paralela a ella y coincide con el núcleo de flujo de la corriente de California (Aguirre, 2002).

La corriente de California es amplia (cerca de 800 km), profunda (500 m), lenta (velocidades típicas de 20 cm s⁻¹) y con movimiento persistente de norte a sur paralelo a la costa de Canadá y Estados Unidos (Fernández *et al.*, 1993). En México la corriente de California se caracteriza por transportar agua fría de baja salinidad (34.5 UPS) hacia el sur a lo largo de la península de Baja California (Aguirre, 2002).

La corriente del Pacífico o Ecuatorial es un sistema formado por corrientes y contracorrientes paralelas al Ecuador terrestre. De éstas sólo la contracorriente Ecuatorial tiene influencia en las aguas del Pacífico mexicano. En la zona cercana a las costas mexicanas la Corriente del Pacífico se caracteriza por tener aguas templadas de salinidad intermedia (34.6-34.85 UPS) que fluyen hacia el norte desde el sureste (Aguirre, 2002).

Adicionalmente, en la parte localizada frente a las costas del sur de Sinaloa y la boca del Golfo de California, se puede establecer un área triangular formada por Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes. Es una zona altamente dinámica debido a la confluencia de las corrientes de California, del Pacífico y la proveniente del Golfo de California. Esta última transporta aguas cálidas y altamente salinas (34.9 UPS) y fluye hacia el sur. La región tiene una estructura termohalina de remolinos, frentes e intrusiones originadas por la concurrencia de estas corrientes (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

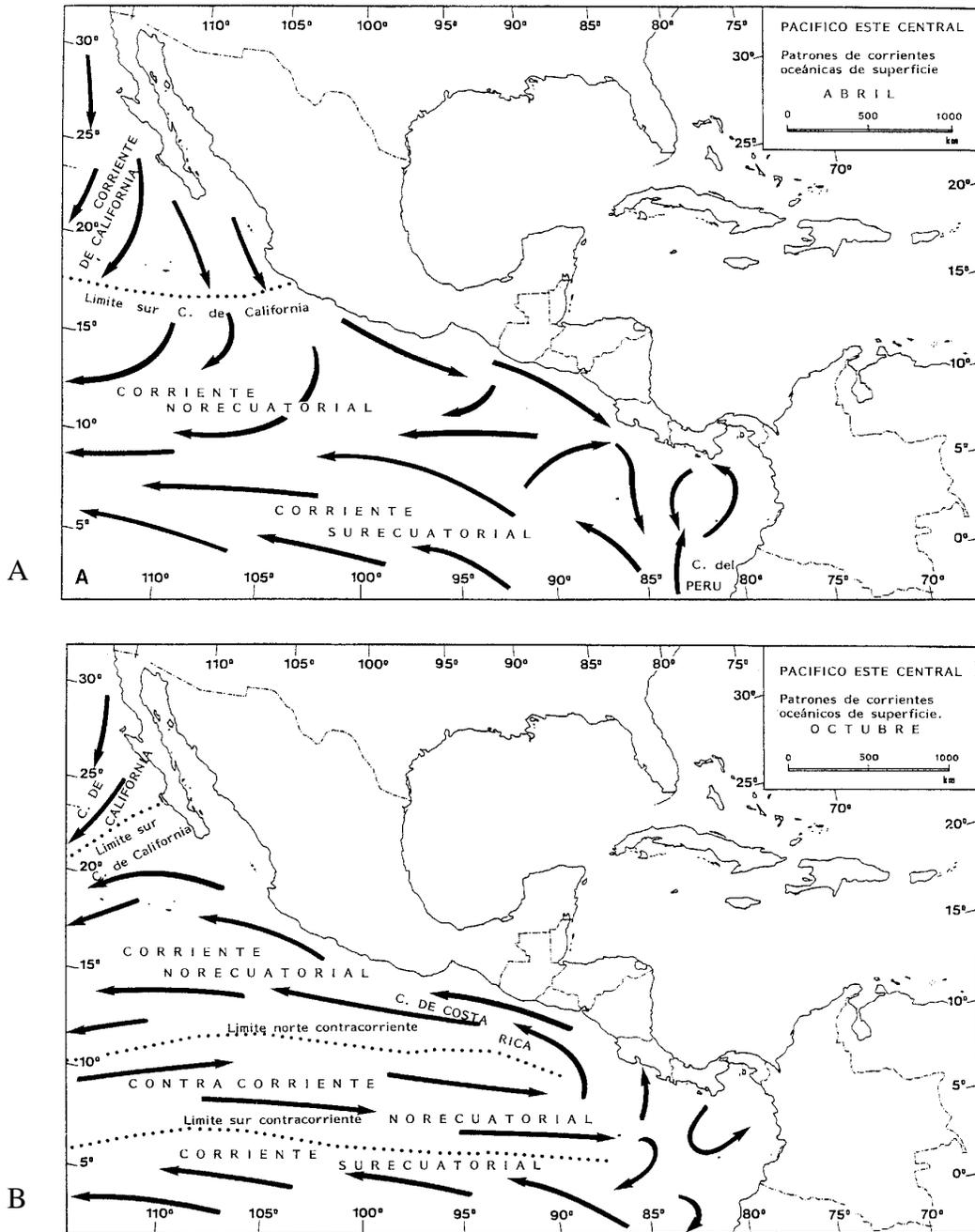


Fig.4. Representación esquemática de las corrientes que influyen en el área de estudio, en el Pacífico centro-oriental, durante los principales periodos estacionales: A) octubre y B) abril (tomado de Fischer *et al.*, 1995)

5. Antecedentes

5.1 Pelágicos menores

La importancia que tienen los pelágicos menores a nivel mundial se ha propiciado que sean objeto de estudio extensivamente en todo el mundo desde el siglo pasado, para entender sus dinámicas espacio temporales, reproducción, edad y crecimiento, estudios moleculares y genética, entre muchos otros. En México, el Golfo de California concentra la mayor parte de los estudios de la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*). Entre esos estudios esta la relación entre la abundancia y el crecimiento individual de la sardina monterrey (Quiñónez *et al.*, 2002), producción de huevos (Nevárez, 1990) y distribución espacial y composición de especies de pelágicos menores en el Golfo de California (Lanz *et al.*, 2007), por mencionar algunos.

Las fluctuaciones climáticas que repercuten en las poblaciones de organismos marinos, y en particular en pelágicos menores, han sido estudiadas utilizando diferentes métodos. En Baja California, por ejemplo, se dice que las fluctuaciones en la captura de pelágicos menores están estrechamente asociadas a variaciones climáticas, cambios en el poder de la pesca y de la flota, entre otras causas (Caddy 1979; Van Winkle *et al.*, 1979; Astudillo y Caddy, 1986; Lluch-Belda *et al.*, 1986).

Específicamente en la pesquería de sardina crinuda en el puerto de Mazatlán se realizó un estudio (Ruiz-Luna y Lyle, 1992) como primer esfuerzo para pronosticar las condiciones que tendría este recurso a mediano plazo, analizando las fluctuaciones observadas en la captura de sardina crinuda, y determinar una posible periodicidad de dichas fluctuaciones; no se tomó en cuenta la temperatura de las aguas donde se captura el recurso. En este trabajo se determina el riesgo en el que se encuentra el recurso (basándose únicamente en los datos pesqueros), por lo complicado de ajustar un modelo que permita predecir el estado de la pesquería, ya que las condiciones oceanográficas son muy dinámicas y estos son organismos

son altamente sensibles a cambios en su ambiente. Ruíz-Luna *et al.* (1997), propone un Modelo Lineal Generalizado, estandarizando la captura por unidad de esfuerzo y utilizando el poder relativo de pesca para explicar las variaciones en las capturas de sardina crinuda y determinar la eficiencia de la flota. En este trabajo se observa que dicho modelo explica el 75.3% de la variación en las capturas.

Gallardo-Cabello *et al.* (1991) y Jacob-Cervantes *et al.* (1992) estudian los hábitos alimenticios de la sardina crinuda para observar la técnica que emplea este organismo para alimentarse, así como los organismos que componen su dieta y determinar el aporte de carbono que estas mismas presas le proporcionan.

Actualmente se monitorea permanentemente a la sardina crinuda en Mazatlán, ya que es la más importante en este puerto por sus altos volúmenes de capturas. Cabe señalar que se siguen registrando fluctuaciones en las capturas de los stocks de este recurso, y el uso de sensores remotos para el estudio de condiciones climáticas que afectan directamente a las poblaciones de los recursos marinos podría ayudar a comprender y explicar mas adecuadamente el papel que juega el ambiente con todas sus variables involucradas en estos eventos.

5.2 Sensores remotos

En cuanto al uso de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, se han reportado pocos trabajos en nuestro país. Márquez-García (2003), analiza la cartografía y la climatología de la temperatura de la superficie del mar del Golfo de California. También se han utilizado imágenes de TSM para asociarlas a la captura de pelágicos mayores (Santana, 2001). Morales-Bojórquez (2003) relaciona el reclutamiento y otros parámetros poblacionales de la sardina Monterrey con la temperatura superficial del mar.

También destacan países de América del Sur en el uso de esta herramienta, para monitorear la temperatura y dar seguimiento a los stocks de pelágicos en sus aguas territoriales. Chile es un ejemplo, donde se estudió la estructura térmica superficial

del mar asociada a la distribución espacio-temporal de los stocks de sardina y anchoveta (Yañez *et al.*, 1995). En Perú también se monitorean permanentemente las pesquerías de pelágicos, calamar gigante, pesca artesanal, entre otras, con ayuda de satélites que proporcionan información de temperatura, salinidad, producción de clorofila *a*, sistema de vientos, corrientes etc. En Venezuela se realizó un análisis de datos mensuales de captura, registros de velocidad del viento, temperatura del aire, precipitación y datos de TSM, para identificar las principales zonas de surgencia y poder asociarlas junto con la variabilidad ambiental del ecosistema, a la pesca de *Sardinella aurita*, una especie de sardina de relevancia en la zona (González *et al.*, 2007). Se reconoce la influencia que ejercen las variables ambientales sobre otras especies y en otras latitudes (Lluch-Belda *et al.*, 1989,1995; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001).

En México, solo hay un trabajo que relacionó la TSM con la pesquería de sardina crinuda en el sur del Golfo de California (Lyle, 1992), sin embargo solo abarca hasta 1991, por lo que es necesario actualizar esta información que permitirá ampliar el conocimiento que se tiene de esta pesquería.

7. Material y método

7.1 Datos biológico-pesqueros

Los datos biológicos y de capturas de la pesquería de sardina crinuda fueron proporcionados por el programa de Pelágicos Menores del CRIP-Mazatlán/INAPESCA/SAGARPA.

Los datos de captura se obtuvieron directamente de las empresas sardineras. Los datos biológicos se obtuvieron a partir de muestreos sistemáticos biológicos, de las capturas comerciales de la sardina crinuda, en las plantas establecidas en el puerto de Mazatlán.

La toma de muestras consistió en un muestreo al azar estratificado de las descargas por embarcación ya que según Scheaffer *et al.* (1986), a partir de este tipo de muestreo se pueden obtener estimaciones de parámetros poblacionales; de los muestreos se obtuvo la siguiente información: sitio de pesca, nombre del barco, fecha de captura, captura total y por especie, peso de la muestra, talla de los organismos, etc. (Jacob-Cervantes *et al.*, 2009).

Asimismo, se toma una submuestra en la cual de cada organismo se obtiene: talla, peso, sexo y grado de madurez. Para la determinación del peso (total, eviscerado y gonadal) de los organismos, se utiliza una balanza electrónica digital marca Ohaus, con precisión de 0.1 g, mientras que para las mediciones de longitud se utiliza un ictiómetro.

El sexo y la madurez gonadal de los peces se determina a través de la escala morfocromática de Nikolsky (1963), (Tabla 1), modificada por Cisneros-Mata (1987), la cual se basa en el color y en la forma de la gónada (Jacob-Cervantes *et al.*, 2009).

Tabla 1. Escala morfocromática de madurez sexual propuesta por Nikolsky (1963) modificada por Cisneros-Mata (1987).

Escala de madurez sexual	Nombre
0	Indiferenciado
I	Inmaduro
II	Gónadas en desarrollo
III	En proceso de maduración
IV	Pre-desove
V	Post-desove

Una vez que se ordenaron y organizaron los datos se obtuvieron los indicadores biológicos, tales como el índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición (FC).

El IGS se obtuvo para tener un indicador de la reproducción de la sardina crinuda, ya que relaciona el peso de la gónada con el peso total del organismo, mostrando valores máximos justo antes del desove (Rodríguez, 1992). Este índice se generó para los años de 2007 y 2008, ya que la base de datos del programa de pelágicos menores cuenta con datos de la gónada a partir de marzo de 2007.

Este índice se obtuvo como sigue de acuerdo a la fórmula descrita por Rodríguez (1992) para el periodo 2007-08, como un promedio mensual de las muestras biológicas diarias que fue de 3,631 individuos:

$$IGS = \frac{Wg}{Wt} 100$$

Donde IGS es el índice gonadosomático, Wg es el peso de la gónada y Wt es el peso total del organismo.

El FC se obtiene como un indicador del estado corporal de los organismos y básicamente explica que tan grandes y robustos se encuentran los organismos cuando son capturados (Rodríguez, 1992). Se utilizaron los valores promedio mensuales, a partir de las muestras biológicas diarias, de un total de 29,668 individuos de 1996 a 2008.

El FC se obtuvo como sigue de acuerdo a la fórmula descrita por Rodríguez (1992):

$$K = \frac{W}{L^3} 100$$

Donde K es el factor de condición, W es el peso total en gramos y L³ es la longitud patrón en milímetros al cubo.

7.2 Imágenes satelitales de TSM

Se utilizaron 3,700 imágenes diarias aproximadamente. Esta información se recibió, procesó y analizó sistemáticamente en el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

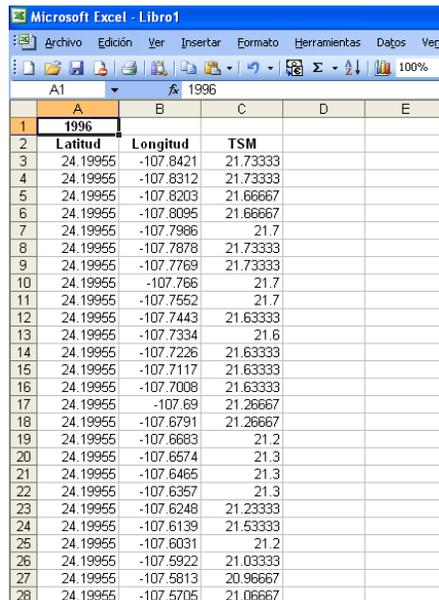
Para las imágenes se calculó la TSM correspondiente a enero de 1996 a diciembre 2008, para determinar el comportamiento de la TSM en el área de estudio. El cálculo de la obtención de la TSM se realizó utilizando el algoritmo propuesto por McCKlein (Split-window, que consiste en la combinación de tres de las cinco bandas espectrales proporcionadas por el sensor AVHRR) y que está inmerso en el programa TeraScan. Este programa permite obtener, procesar y desplegar para su análisis, los datos obtenidos por el sensor conocido como AVHRR, que se encuentra montado a bordo de los satélites de la serie NOAA (Márquez-García, 2003). Para las imágenes que se utilizaron en este trabajo, se usaron los datos del radiómetro montado en el satélite NOAA-14 para los años de 1996 a 2000, para los años de 2001 a 2003 los del radiómetro montado en el satélite NOAA-16, y por último para los años de 2005 a 2008 se utilizaron los datos de los radiómetros montados en los satélites NOAA-17 y NOAA-18.

Las imágenes utilizadas para efecto de esta tesis presentan una resolución espacial mínima o píxel de 1.1 km², es decir, las imágenes proporcionan un valor de TSM cada 1.1 km² aproximadamente.

7.2.1 Procesamiento de imágenes

Las imágenes diarias se procesaron para generar cada una de las imágenes del promedio semanal, considerando cuatro semanas por mes, siendo la primera semana del día primero al día 7, la segunda del día 8 al 15, la tercera del día 16 a 22, y la cuarta semana del día 23 al último día del mes.

Una imagen AVHRR cubre grandes áreas (5400 x 2800 km, para el caso de la antena receptora de la UNAM), por lo que se hace necesario recortar las imágenes en las regiones geográficas de interés, para este caso la correspondiente al sur del Golfo de California. Esto se hizo creando un “master”, el cual generó un mapa con sus coordenadas geográficas en una proyección cartográfica definida por el usuario. En este caso se ingresaron las coordenadas correspondientes a la malla de pesca utilizada por la flota sardinera de Mazatlán para obtener matrices de datos de TSM de esta zona. Un ejemplo de las matrices que se obtienen se muestra en la figura 5.



	A	B	C	D	E
1	1996				
2	Latitud	Longitud	TSM		
3	24.19955	-107.8421	21.73333		
4	24.19955	-107.8312	21.73333		
5	24.19955	-107.8203	21.66667		
6	24.19955	-107.8095	21.66667		
7	24.19955	-107.7986	21.7		
8	24.19955	-107.7878	21.73333		
9	24.19955	-107.7769	21.73333		
10	24.19955	-107.766	21.7		
11	24.19955	-107.7552	21.7		
12	24.19955	-107.7443	21.63333		
13	24.19955	-107.7334	21.6		
14	24.19955	-107.7226	21.63333		
15	24.19955	-107.7117	21.63333		
16	24.19955	-107.7008	21.63333		
17	24.19955	-107.69	21.26667		
18	24.19955	-107.6791	21.26667		
19	24.19955	-107.6683	21.2		
20	24.19955	-107.6574	21.3		
21	24.19955	-107.6465	21.3		
22	24.19955	-107.6357	21.3		
23	24.19955	-107.6248	21.23333		
24	24.19955	-107.6139	21.53333		
25	24.19955	-107.6031	21.2		
26	24.19955	-107.5922	21.03333		
27	24.19955	-107.5813	20.96667		
28	24.19955	-107.5705	21.06667		

Fig. 5. Matriz resultante de los datos de una imagen con las coordenadas de preferencia importada en Excel 2003.

Cuando se utilizan sistemas expertos para el procesamiento de imágenes, éstos generan sus propios formatos para el despliegue de datos, y el sistema TeraScan no es la excepción. Cuando se procesa una imagen, lo que se hace es trabajar sobre una

matriz de valores que se despliega de modo grafico, al asignar valores a cada valor de la matriz, para obtener lo que se denomina una imagen en falso color. Al desplegar esta imagen se realiza bajo su propio formato del sistema TeraScan, pero una vez desplegada, ésta se puede exportar en formato sunraster el cual permite exportarlo y modificarlo a formatos universales como GIF o TIFF. También se pueden exportar los datos de la matriz, ya sea en formatos ASCII y binario, formatos que la mayoría de los sistemas pueden utilizar (Márquez-García, 2003).

Las imágenes de satélite en falso color, van acompañadas siempre de una escala de colores que representan a las temperaturas (Fig. 6), de forma tal que las más cálidas corresponden al color rojo, seguido del naranja, del verde y así sucesivamente hasta llegar al color azul que representa las temperaturas bajas.

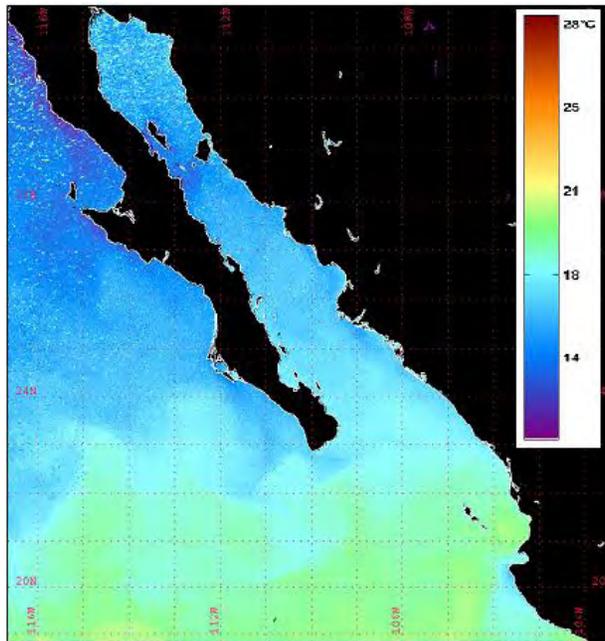


Fig. 6. Imagen de la zona económica exclusiva del Pacífico norte de México, correspondiente a marzo de 2008.

Se utilizaron las imágenes registradas por el satélite en su paso nocturno (0400 GMT horas aproximadamente), para evitar que la radiación solar influyera en los valores de temperatura.

Se identificaron las anomalías de la zona de estudio respecto al promedio de la TSM de 1996-2008. Para este fin se promedió cada mes por separado del total del periodo de estudio, es decir, se promediaron todos los enero, febrero, etc. y así **sucesivamente para los 12 meses, para obtener cada “mes típico”**. Posteriormente se resta cada mes a su mes típico respectivo para observar qué tanto varió cada mes respecto a la media del periodo de estudio. Además se estableció el periodo caliente y frío de la TSM durante las distintas épocas del año.

7.3 Índice de oscilación del sur

Se utilizaron los datos del índice de oscilación registrados en el Ecuador, para determinar si existe alguna relación con las anomalías de la TSM en la zona de estudio.

7.4 Relación de variables

Por último se analizaron en conjunto los datos pesqueros y biológicos de la sardina crinuda con los de TSM, para determinar la influencia que ejerce esta variable ambiental física sobre las fluctuaciones de abundancia intra e interanuales de los stocks de las especies del género *Opisthonema*. Se relacionaron los datos de TSM y sus anomalías con los valores obtenidos de los índices biológicos (IGS y FC).

Se obtuvieron gráficas donde se observa la relación de las capturas mensuales de sardina crinuda con el promedio de la TSM de la zona.

Estadísticamente, se aplicó la prueba de Spearman (Daniel, 1996) con un nivel de significancia de 0.05 para analizar si la relación entre las distintas variables manejadas fue significativa. La correlación de Spearman, o por intervalos, es una medida de la correlación (asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas. Se basa en reemplazar los valores originales de ambas variables, por números enteros positivos, comenzando del 1 en adelante, que correspondan a su ordenamiento de menor a mayor magnitud (intervalos). Esta prueba se utiliza con mayor frecuencia cuando las variables en cuestión presentan

diferentes escalas que impiden sean tratadas por cualquier otro método convencional (Daniel, 1996).

Este coeficiente es el equivalente no paramétrico del Coeficiente de Correlación de Pearson. Al igual que el Coeficiente de Pearson, el Coeficiente de Spearman puede tomar valores entre -1.0 y 1.0, donde un valor de -1.0 indica una correlación negativa perfecta y un valor de 1.0 indica una correlación positiva perfecta (Daniel, 1996). De igual manera se calculó este coeficiente de correlación para la TSM y las capturas por temporada de pesca, ya que de manera global se podrían enmascarar algunos resultados.

Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (Daniel, 1996) con un nivel de significancia de 0.05, para evaluar si son significativamente diferentes los valores obtenidos en las abundancias relativas de hembras y machos de la población durante el periodo de estudio. Al igual que la prueba anterior, es un método no paramétrico, pero sirve para probar si un grupo de datos varía significativamente respecto a otro (Daniel, 1996).

El análisis estadístico y la elaboración de las figuras fueron generados con los programas OriginPro versión 8 y Microsoft Excel versión 2003.

8. Resultados

8.1 Capturas de la sardina crinuda en el sur del Golfo de California

La figura 7 muestra la variación que ha sufrido esta pesquería durante el periodo de estudio, donde claramente se nota el aumento paulatino de las capturas de sardina crinuda, sobre todo en los últimos años.

A partir del año 2003, los volúmenes de capturas comenzaron a despuntar, patrón que se sigue presentando incluso hasta el final del periodo de estudio, en 2008, cifras que hasta la fecha, han sido algunas de las más elevadas para esta pesquería. Al iniciar cada temporada de pesca (octubre), las capturas comenzaron a aumentar paulatinamente, alcanzando dos máximos para cada temporada. Uno de ellos se registra en febrero o marzo y el otro en junio o julio, este último próximo a finalizar la temporada de pesca que generalmente es en septiembre.

En agosto-septiembre se observa un descenso constante en los volúmenes de captura lo que indica el fin de la temporada de pesca, este tiempo es aprovechado por el sector industrial para dar mantenimiento a la flota, aunque este periodo puede variar según el volumen de captura que se logre. Una característica importante de estas especies es que durante el desarrollo de la pesquería se observa la alta tasa de variabilidad que presentan los volúmenes de captura intra-anualmente, como se observa en la figura 7. Un ejemplo es en 2008: en el primer trimestre, se capturaron más de 33,000 t, mismas que fueron disminuyendo gradualmente hasta el segundo trimestre donde se lograron casi 20,000 t y para el tercer trimestre se lograron menos de 10,000 t razón por la cual, la flota detiene operaciones en este periodo. Esto corresponde a las líneas discontinuas que se observan en algunos meses.

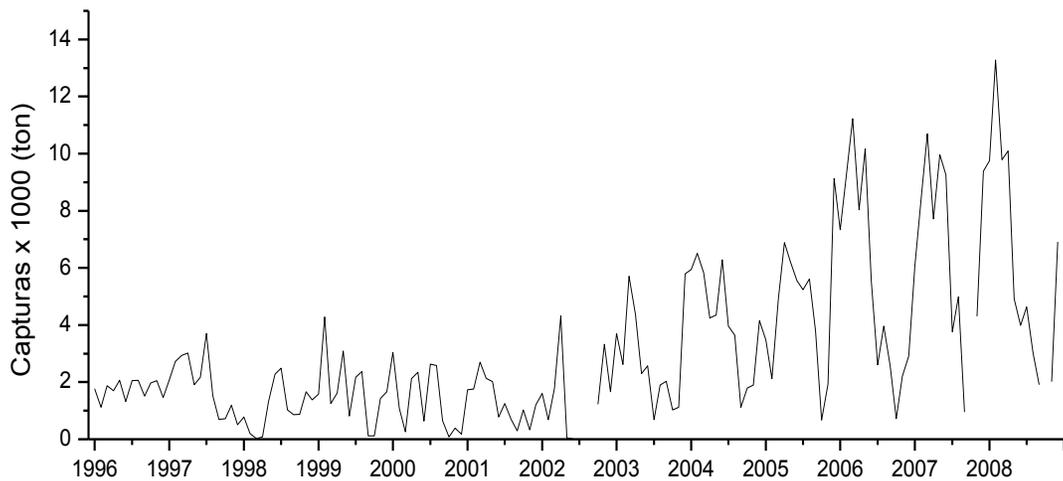


Fig. 7. Captura mensual de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.

Analizando en detalle la variabilidad intra-anual que han presentado los volúmenes de captura durante el periodo de estudio (Fig. 8), los volúmenes muestran diferencias importantes, las cuales se observan claramente en la media de las capturas por temporada, que ha venido aumentando año tras año. Además es evidente el aumento en la captura en los últimos años, pues si se observa el máximo mensual de cada temporada, puede dar idea de este incremento. Por ejemplo, el máximo para la temporada 1997-98 es de casi 4,000 t, mientras que en la temporada 2007-08 fue de más de 13,200 t.

Se observa más o menos constante la distribución del 75% de los datos de los volúmenes obtenidos en las primeras siete temporadas, pues las capturas se mantuvieron relativamente bajas durante cada mes de esas temporadas (por debajo de 4,000 t), mientras que a partir de la temporada 2003-04 se comenzó a registrar una mayor fluctuación en la distribución del 75% de los datos de captura mes tras mes, es decir, las últimas temporadas se encuentran asociadas a los grandes volúmenes de captura, presentando grandes diferencias en las capturas máximas y mínimas mensuales dentro de cada temporada de pesca. Por ejemplo, en la temporada 2005-06, se observa el mínimo de captura de 600 t aproximadamente, mientras que el máximo registró más de 11,000 t (los cuartiles del 25% y 75% fueron de 3,000 y 11,000 t respectivamente). En contraste, en la

temporada 1997-98 se registró un mínimo de capturas de 24 t, y un máximo de poco menos de 2,500 t (los cuartiles del 25% y 75% fueron de 100 y 1,000 t respectivamente).

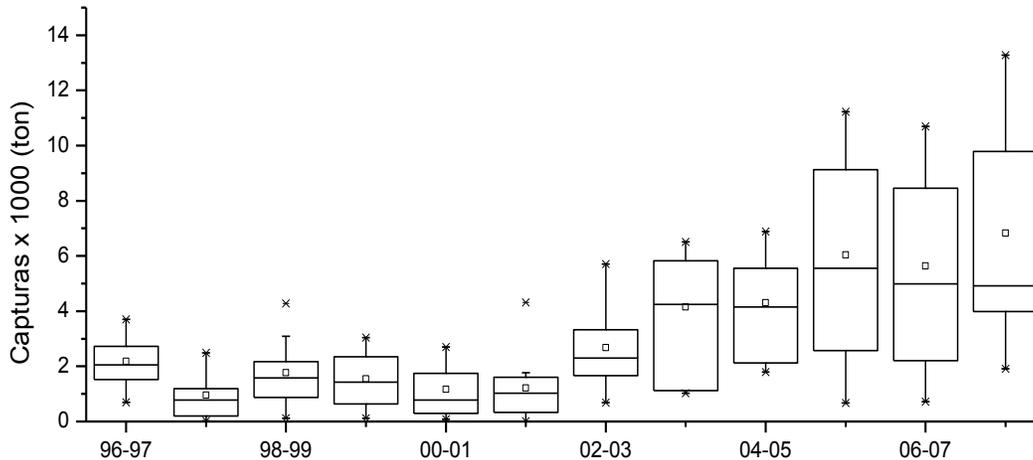


Fig.8. Distribución de los datos de volúmenes de captura durante el periodo de estudio (cuartiles 25 y 75%) y su estadística (media, mediana, máximos y mínimos).

Analizando las capturas totales por temporada de pesca (Fig. 9), se observa que en la temporada 1996-97 los volúmenes registrados fueron de más de 26,000 t, al parecer se comenzó a registrar un ascenso en las capturas de esta pesquería. Pero en 1997-98 se observa cierto desplome, disminuyendo en casi 50% el volumen que se logró en la temporada anterior inmediata (13,000 t). Para 1998-99 destaca otro repunte en las capturas del recurso, cuando nuevamente se registran por encima de las 20,000 t. A partir de esta temporada, la captura registró un descenso paulatino, disminuyendo en promedio 300 t por año. Esto se observó hasta la temporada 2002-03, cuando las capturas despuntaron a 32,000 t, volumen nunca antes visto en la historia de la pesquería ya que en la temporada 2001-02 se obtuvieron solamente 11,000 t. La captura siguió aumentando continuamente hasta alcanzar un máximo al final del periodo en 2007-08 cuando se capturaron más de 75,000 t. Durante este periodo de ascenso, las capturas aumentaron en promedio más de 10,000 t por temporada.

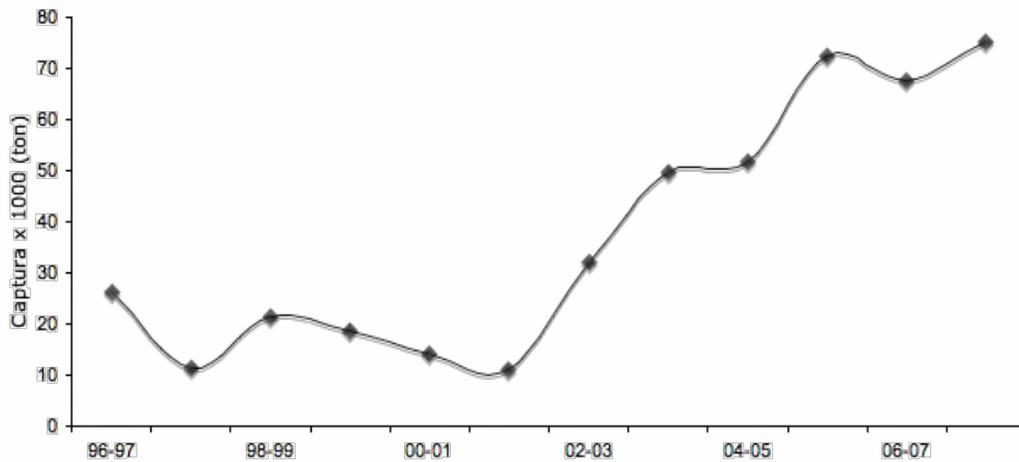


Fig. 9. Captura total anual de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.

Los volúmenes de captura de la sardina crinuda han variado significativamente en los últimos trece años, mostrando un mínimo en 2001-02 con aproximadamente 10,000 t y un máximo en 2007-08 con más de 75,000 t.

La figura 10 muestra la distribución mensual de las capturas de este recurso a lo largo del periodo de estudio. En general, los grandes volúmenes que captura la flota sardinera de Mazatlán se concentran más o menos a la mitad de cada temporada, de diciembre a mayo, siendo los meses más importantes para el sector que captura este recurso. Se observan las grandes concentraciones de organismos que se han capturado en las últimas temporadas. Desde 2003, se distingue cierto patrón en el cual durante los primeros meses de cada temporada (octubre a diciembre) no se rebasan las 3,000 t, es decir, casi el 10% de las capturas de la temporada, de enero a mayo se obtiene más del 60% y el otro 30% de la captura se obtiene durante los meses restantes.

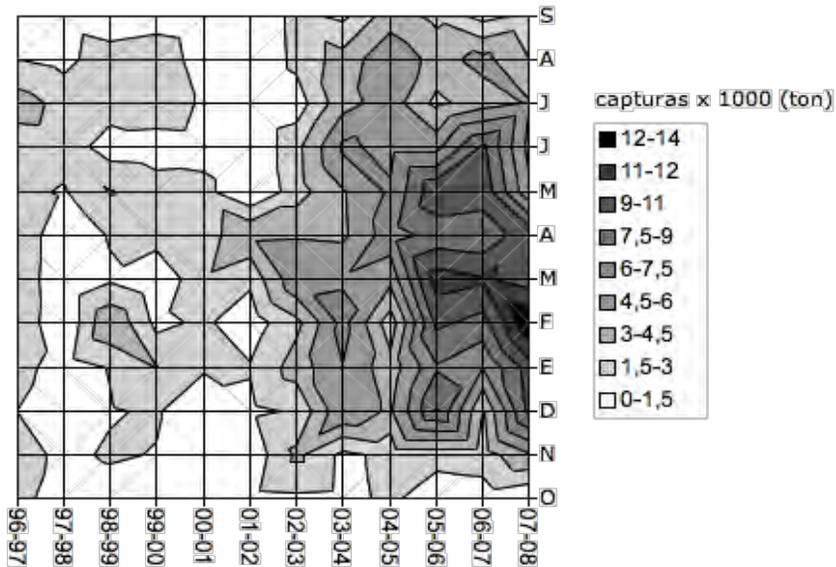


Fig. 10. Distribución mensual de la captura total de sardina crinuda en el sur del Golfo de California, 1996-2008.

8.2 Temperatura superficial del mar y el índice de oscilación del sur

Cada año la temperatura fluctuó en promedio de los 20°C (entre diciembre y enero-febrero) a los 30°C en la mitad caliente del año (de mayo a septiembre), aunque en alteraciones como las provocadas por los fenómenos de El Niño y La Niña este intervalo se modifica drásticamente, aumentando o disminuyendo hasta 3°C respectivamente (Fig. 11). Analizando la TSM de la última década, se encontró un ciclo anual: se registran 2 máximos por año, en julio y septiembre respectivamente y un mínimo anual que por lo general es en febrero.

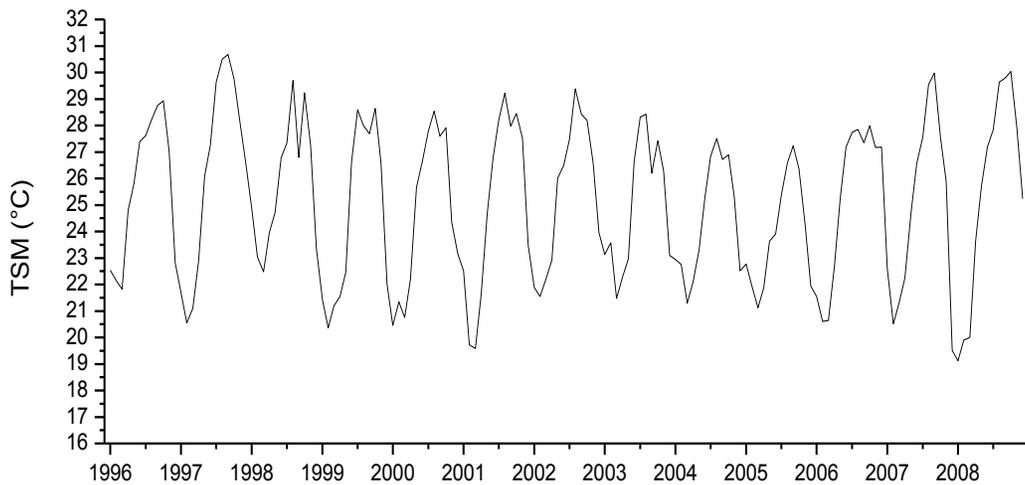


Fig. 11. Representación del ciclo anual de la TSM en el sur del Golfo de California.

En la figura 12, se observa la variabilidad en la distribución de los datos ambientales que se puede presentar de un año a otro.

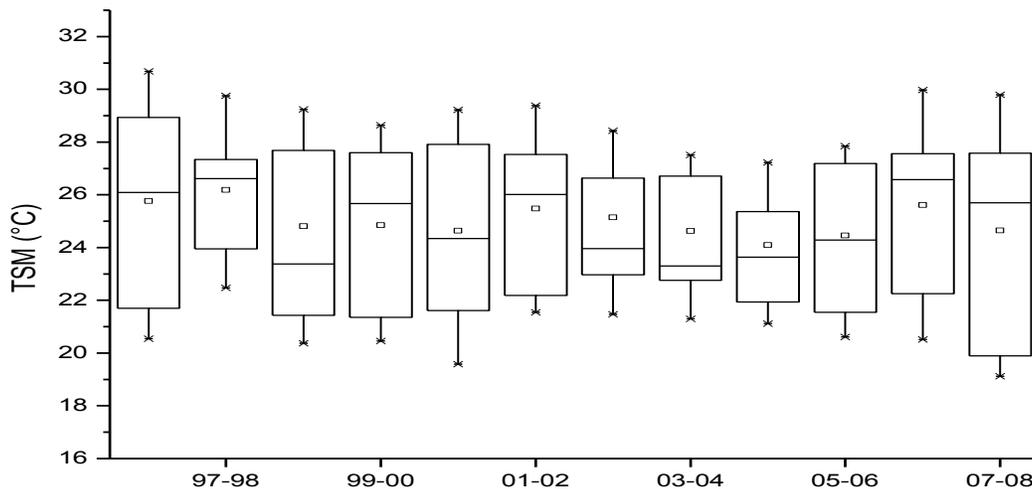


Fig. 12. Distribución de los datos de la TSM (cuartiles 25 y 75%) y su estadística (media, mediana, máximos y mínimos).

En la temporada 1996-97, la TSM fue muy fluctuante (Fig. 12) presentando un mínimo de poco más de 20°C y un máximo de más de 30°C (los cuartiles de 25% y 75% fueron de 22°C y 29°C respectivamente). Con la aparición del fenómeno de El Niño en 1997-98, fue una época que se caracterizó por presentar poca variabilidad,

ya que las temperaturas se mantuvieron cálidas durante una buena parte de la temporada (los cuartiles del 25% y 75% fueron de 24°C y 27°C, respectivamente), es decir, las temperaturas correspondientes a la estación fría del año se presentaron pero de manera atenuada. Desde 1999-2000, hasta 2001-02, las temperaturas registradas fueron muy variables, lo que de alguna manera puede indicar el paso de las distintas estaciones del año por cada temporada, que se considera como normal. Situación que se ve modificada cuando las temporadas presentan poca o demasiada variabilidad, y que básicamente indican la dominancia de aguas cálidas o frías según sea el caso. Por último se observa que las últimas tres temporadas presentaron la variabilidad característica en la zona. Aunque la temporada 2007-2008, se caracterizó por ser la más fría del periodo de estudio y la más variable ya que la temperatura mínima fue de 19°C y la máxima de casi 30°C, lo que indica que la temperatura fluctuó en esa temporada un equivalente a 11°C.

La TSM registró sus máximos (estación cálida del año) de julio a octubre (Fig. 13), cuando generalmente se alcanzaron temperaturas de hasta 30°C. La estación fría del año se registra de enero a abril en la cual la temperatura mínima no rebasó los 20°C. Año con año, la temperatura pasó de ser fría a cálida en mayo y junio y de cálida a fría en noviembre y diciembre (meses de transición). En la temporada 1997-98, se observa que el periodo cálido inició con gran intensidad, y abarcó incluso, los meses de transición, en los cuales la TSM no pasó a la estación fría como generalmente lo hace, misma que se caracterizó por presentar temperaturas de transición (de no más de 26°C) y no frías como debió ser (generalmente de 20 y 22°C). Este patrón se vio modificado de manera inversa en las temporadas 2003-04 y 2004-05, en las que prácticamente no se presentó la estación cálida, manteniéndose las temperaturas de transición. Por último, para la temporada 2007-08, se observa un patrón normal, con la diferencia que la estación fría fue más intensa que las anteriores (poco menos de 19°C).

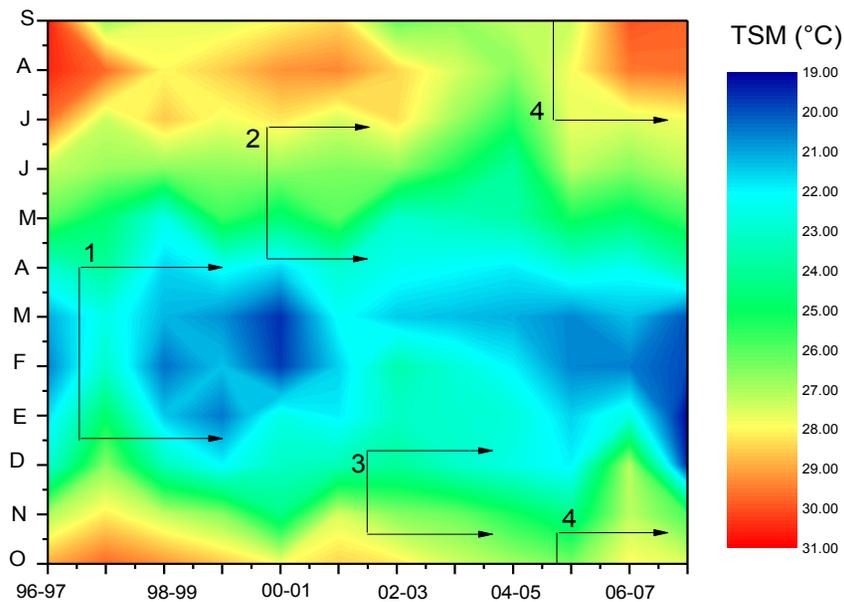


Fig.13. Representación esquemática de la distribución mensual de la TSM correspondiente a la zona de estudio, 1996-2008. Se indican los cambios estacionales a lo largo del año. 1) Estación fría del año (enero-abril); 2) meses de transición de temperaturas frías a cálidas (mayo-julio); 3) meses de transición de temperaturas cálidas a frías (noviembre-diciembre); 4) estación cálida del año (agosto-octubre).

En la figura 14, se observa que, al igual que las capturas de sardina crinuda, las condiciones físicas del mar también fueron variables, cambiando drásticamente año con año. En un mismo año se pueden registrar eventos cálidos y fríos, pero dependiendo de la intensidad de ellos es como los organismos se verán afectados. Además de la gran intensidad que presentó la anomalía positiva en la temporada 1997-98, también destaca la larga duración que presentó, ya que inició en abril de 1997 y siguió presentando altas temperaturas hasta enero de 1998.

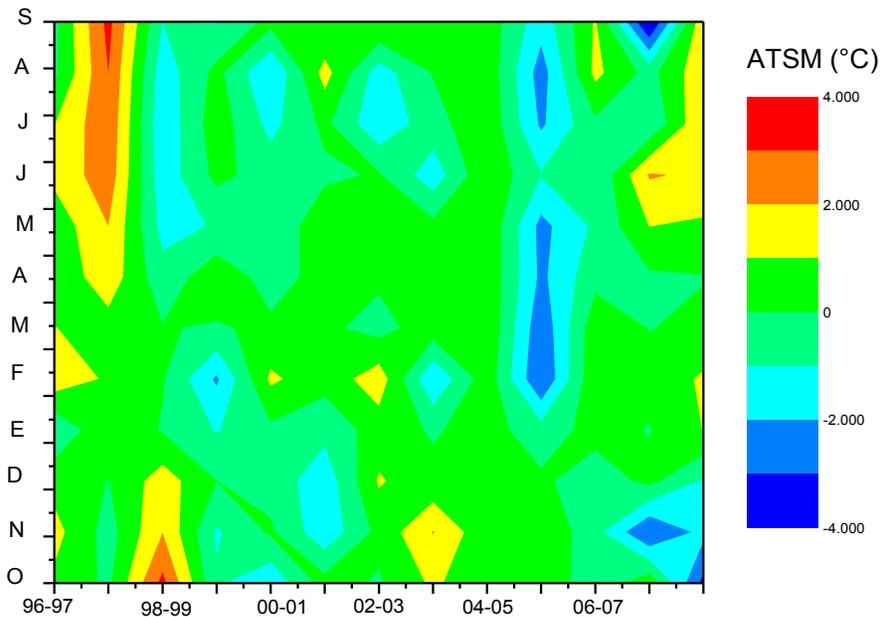


Fig.14. Representación esquemática de la distribución mensual de las anomalías de la TSM correspondiente a la zona de estudio, 1996-2008.

Para efectos de este estudio se consideran **“temporadas normales”** aquellas en las cuales sus anomalías no fueron mayores (cálidas) o menores (frías) a 1°C. En la temporada 1997-98 (Fig. 15) se observa la mayor anomalía cálida o positiva en la TSM, que corresponde al evento de El Niño 1997-98 y que afectó muchas regiones del país, y el sur del Golfo de California no fue una excepción. En 2003 y 2004, se presentó un fenómeno cálido ligero y de poca duración.

Lo contrario sucedió una década después, a finales de 2007 e inicio de 2008, donde se registraron las anomalías negativas más intensas del periodo de estudio, correspondientes al fenómeno conocido como La Niña, con más de 3°C por debajo de la media. En la temporada de 2005-06, se presentó un fenómeno frío largo e intenso. Por último se registró una anomalía negativa importante en enero de 2007, pero por su poca duración no fue relevante en la zona.

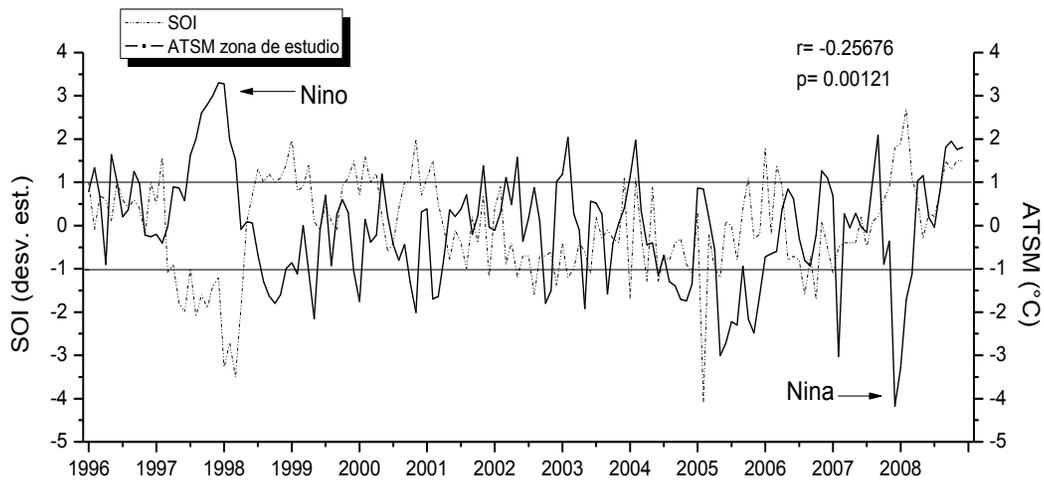


Fig. 15. Relación entre las anomalías de la TSM de la zona de estudio, y el índice de oscilación del sur para latitudes ecuatoriales. Las flechas indican los eventos El Niño y La Niña mas intensos para la zona de estudio.

Al relacionar las anomalías térmicas superficiales de la zona de estudio con el índice de oscilación del sur (SOI por su nombre y siglas en inglés) correspondiente a latitudes ecuatoriales (Fig. 15), se obtuvo una correlación débil e inversa. En la mayoría de los casos, las anomalías que sufrieron ambas variables ocurrieron de manera contraria, es decir, mientras en el sur del Golfo de California se presentó el fenómeno El Niño (1997-98 por ejemplo) con anomalías positivas, la presión atmosférica superficial que se presentaron en el ecuador fue de tipo negativo (menor presión en Tahití que en Darwin). Caso contrario en temporadas cuando se presentó el fenómeno La Niña para la zona de estudio, (2007-08 por ejemplo), en el cual las anomalías de la TSM fueron negativas y las de la presión atmosférica superficial fueron positivas (mayor presión en Tahití que en Darwin). La relación entre estas variables parece que fue más evidente cuando las anomalías en la zona de estudio fueron de gran intensidad, aunque se podría analizar el grado de retraso con el que llegan las anomalías atmosféricas y ambientales a la zona de estudio para entender los procesos y las magnitudes que se esperaría encontrar para estas latitudes.

8.3 Relación de las capturas de sardina crinuda y la temperatura superficial del mar

La figura 16 muestra la relación inversa que guarda la temperatura superficial del mar con los volúmenes de captura de sardina crinuda a través del tiempo. El coeficiente de Spearman (Tabla 3) entre estas dos variables mostró una débil relación negativa o inversa. Nótese que en años anómalos intensos, las capturas se vieron afectadas según las características de la anomalía, es decir, en la temporada de El Niño 1997-98, las capturas se desplomaron cuando la temperatura fue en ascenso en los meses donde debió disminuir (octubre y noviembre). Lo contrario pasó cuando en 2007-08, se registraron las temperaturas más frías del periodo de estudio, cuando se alcanzaron capturas récord.

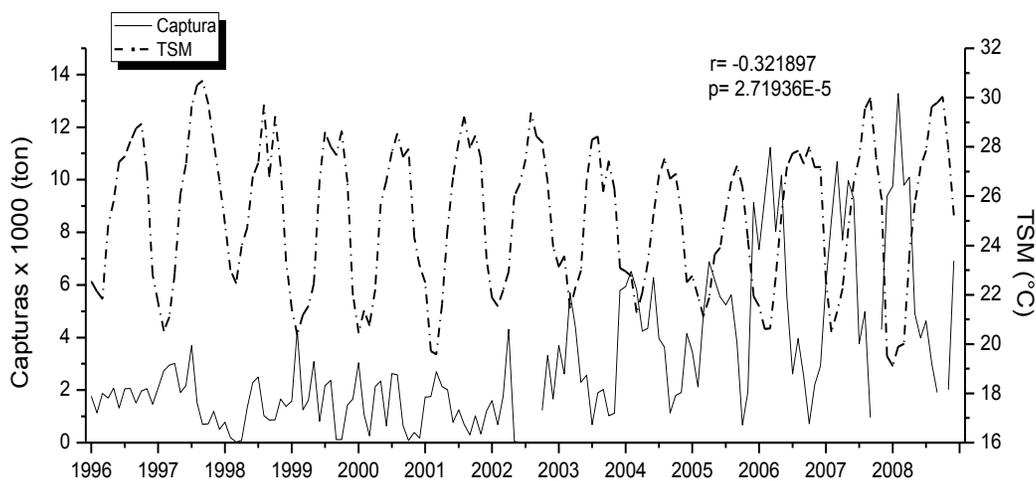


Fig. 16. Relación histórica entre las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California y la TSM, 1996-2008.

Al analizar los volúmenes de captura con las anomalías de la TSM (Fig. 17), se observa más claramente la intensidad de las fluctuaciones de la TSM sobre la disponibilidad de estos organismos, de tal manera que cuando la temperatura sufrió anomalías positivas o cálidas, las capturas descendieron con respecto a las capturas de meses inmediatos anteriores o posteriores, o incluso volúmenes muy cercanos a cero como pasó en El Niño 1997-98 –que fue la temporada más cálida

del periodo de estudio- y donde prácticamente se observa un desplome en las capturas. Nótese que cuando inició el fenómeno (en septiembre de 1997), las temperaturas no disminuyeron en los meses correspondientes (diciembre a marzo), sino que se mantuvieron cálidas, por esto, las capturas descendieron paulatina y drásticamente; hasta que se llegó a los meses normalmente cálidos, en los cuales no se capturaron grandes volúmenes, pero se logró la captura normal para estos meses que puede ser del 30% para la temporada. Caso contrario cuando la TSM, sufrió anomalías negativas o frías, las capturas alcanzaron valores por encima de los meses anteriores, como pasó en la temporada La Niña 2007-08, cuando se registraron temperaturas significativamente bajas con respecto al promedio de los otros años de estudio, siendo la temporada mas fría del periodo, y en la cual se obtuvieron capturas récord, a pesar de ser un fenómeno de poca duración.

A partir de 2003 se observó poca variabilidad en la TSM, caracterizándose porque fue un periodo con temperaturas frías, es decir, las estaciones cálidas en el sur del Golfo de California de los últimos años han estado presentes en las temporadas inter-anales correspondientes, pero se podría decir que han sido menos intensas que las frías.

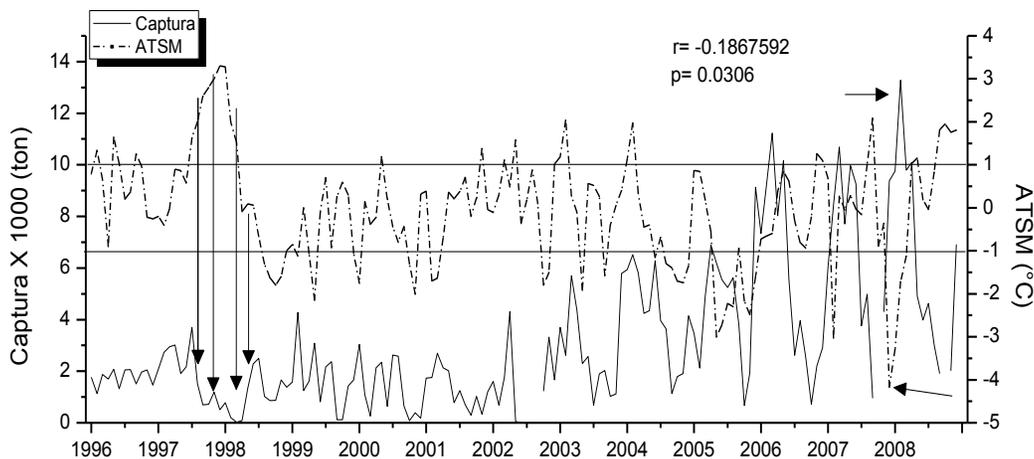


Fig. 17. Relación histórica entre las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California y las anomalías de la TSM, 1996-2008. Las flechas señalan la manera en que afectan las anomalías intensas a la pesquería.

Resulta complicado observar la influencia climatológica de la TSM sobre la pesquería de sardina crinuda de manera general, ya que los efectos ambientales particulares de cada año quedaron ocultos al promediar los últimos trece años que comprenden este estudio. Es por ello que se estudiaron las relaciones ambientales con cada temporada de pesca (Fig. 18) para determinar la relación que existe entre las capturas por temporada de pesca y la temperatura mensual de la misma, así como un resumen del coeficiente de correlación (Tabla 2).

Tabla 2. Coeficiente de Spearman (Daniel, 1996) producto de la correlación entre las capturas de sardina crinuda del sur del Golfo de California y la TSM por temporada de pesca.

Temporada de pesca	R (<0.05)	P (<0.05)
1996-1997	-0.377622	0.2274
1997-1998	0.552447	0.0666
1998-1999	-0.237762	0.4571
1999-2000	-0.139860	0.6646
2000-2001	-0.587412	0.0488
2001-2002	-0.483333	0.1938
2002-2003	-0.755244	0.0055
2003-2004	-0.692311	0.0125
2004-2005	-0.335664	0.2867
2005-2006	-0.636363	0.0301
2006-2007	-0.762237	0.0058
2007-2008	-0.827272	0.0033

En el periodo de estudio se observaron, en su mayoría, correlaciones negativas (Tabla 2), es decir, que cuando aumentó la TSM disminuyeron las capturas. El mayor valor se registró en la temporada 2007-08, en la cual -y como se vio anteriormente- se alcanzaron capturas históricas. Las temporadas 2000-01, 2002-2003 (Fig. 18), así como las tres últimas de 2005 a 2008, mostraron una fuerte correlación negativa con la TSM.

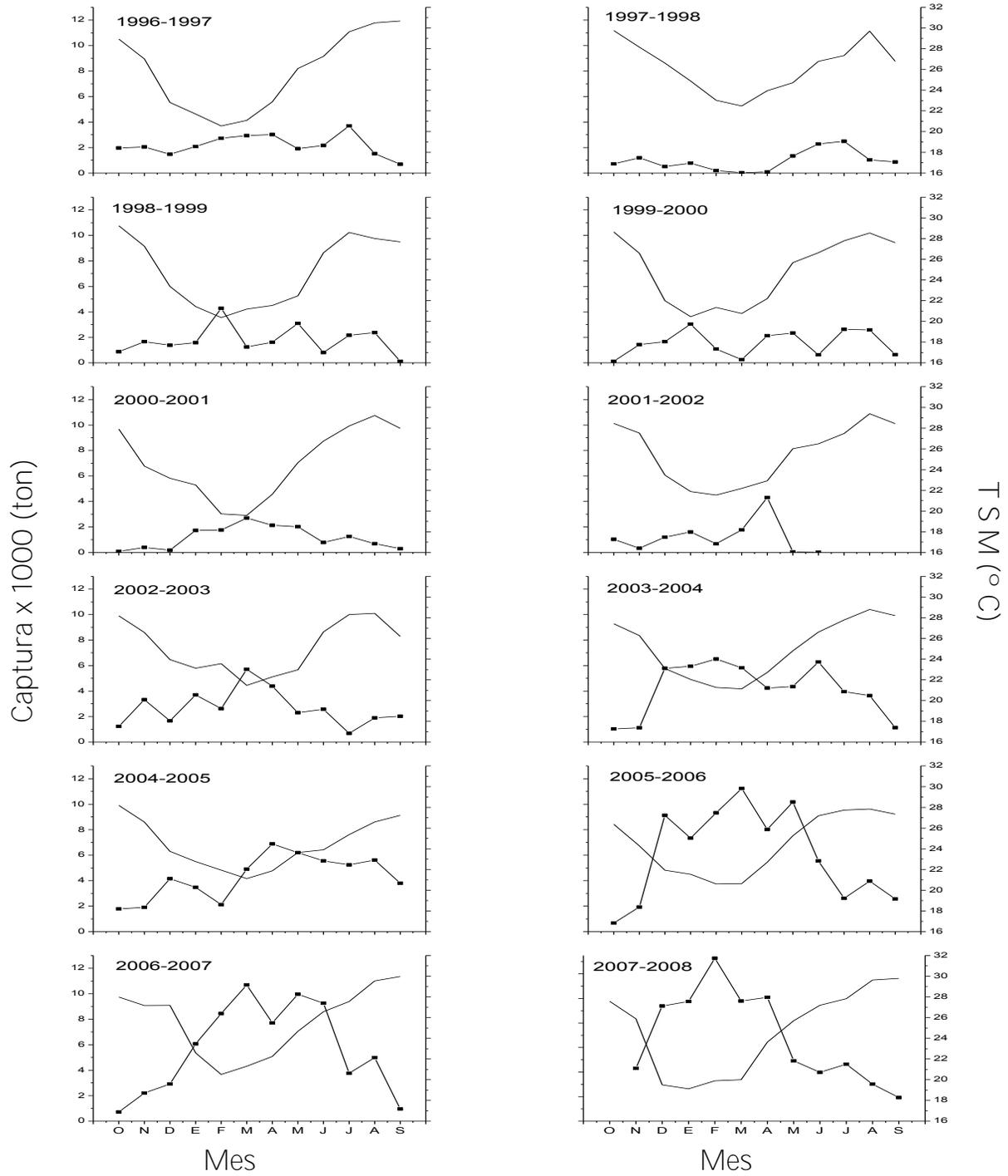


Fig. 18. Comportamiento de las capturas de sardina crinuda (—■—) y de la TSM (—) en el sur del Golfo de California por temporada de pesca, 1996-2008.

Las temporadas restantes (Fig. 18) –a excepción de 1997-98 que se analiza en los renglones siguientes- mostraron una débil correlación, aunque también negativa. En general, casi todas las correlaciones son negativas, salvo el caso de la temporada 1997-98, en la cual se obtuvo un coeficiente que muestra una correlación fuerte y positiva. Una explicación a este fenómeno puede ser que cuando las capturas se recuperaron, ocurrió durante la estación cálida de la temporada, (ya que en la estación fría, las capturas fueron muy bajas), considerando este hecho como una correlación positiva, ya que cuando la TSM fue cálida, las capturas aumentaron.

También se observa que la mayoría de las correlaciones débiles se encontraron en la primera mitad del periodo de estudio. Las relaciones más estrechas se encontraron en las temporadas posteriores, junto a los grandes volúmenes de capturas que ha desarrollado la pesquería en la última década, y asociados al periodo frío que presenta la TSM desde 2003. En general, al analizar las capturas y la TSM por temporada de pesca o intra-anualmente, se observa que en todas las temporadas los máximos de captura se registraron de diciembre a abril. En algunas ocasiones los máximos fueron discretos, como en la temporada 2000-01, y en otras son más evidentes y de mayor duración, como se observa a partir de la temporada 2005-06.

8.3.1 Indicadores biológicos

- **Factor de condición**

La figura 19 muestra el comportamiento del factor de condición (FC) durante el periodo de estudio. Anualmente se presentaron dos picos o máximos, los cuales corresponden al estado en el que se encontraban las hembras justo antes del desove. El FC mínimo registrado hasta la temporada 1998-99 alcanzó valores por debajo de 1.7, pero a partir de 1999-2000 se observa una tendencia en la cual el FC aumentó para la siguiente temporada. El mínimo para la temporada 2002-03 (Fig. 19), se registró en octubre y fue de 1.9, mientras que el máximo de la misma

temporada se registró en marzo y fue de casi 2.4. A partir de esta temporada, el FC se estabiliza más o menos entre los mismos valores (2.2-2.4), pero en 2007-08 se alcanzó el máximo del periodo de estudio con un valor de casi 2.6.

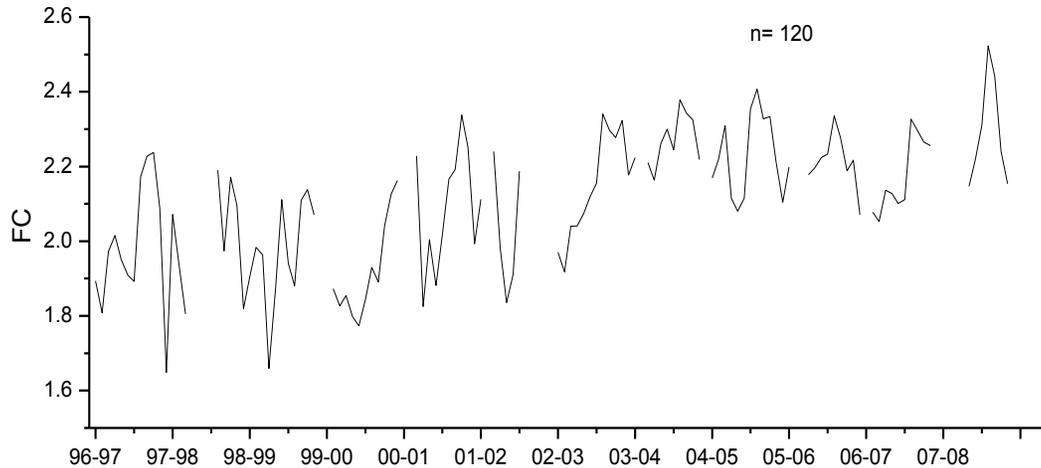


Fig. 19. Factor de condición de la sardina crinuda, 1996-2008.

La figura 20 muestra la frecuencia relativa de organismos en fase IV de madurez, donde se observan, de manera similar, los mismos picos (máximos) que en el FC, y son consistentes en los meses de Mayo-Junio el primero, y Agosto-Septiembre el segundo, como se muestra en el caso anterior, cuando los organismos se encuentran listos para desovar.

Las altas frecuencias de organismos en fase IV oscilaron entre el 70 y el 85% en las diferentes temporadas (Fig. 20), aunque hay excepciones en las que se superó este valor, como en 07-2008, cuando incluso se llegó al 100%, y en contraste con la temporada 1997-98 que registró máximos de no más del 25%.

Cabe señalar que aunque estos picos representan los meses de altas frecuencias de organismos en esta fase, el número de peces maduros a lo largo del resto de cada temporada de pesca fue significativo. En ambas figuras las líneas discontinuas indican que en esos meses no se contó con muestreo biológico, mientras que en otros hubo valores cero (Fig. 20), que corresponden a que no se registró ningún organismo en estas condiciones durante ese muestreo.

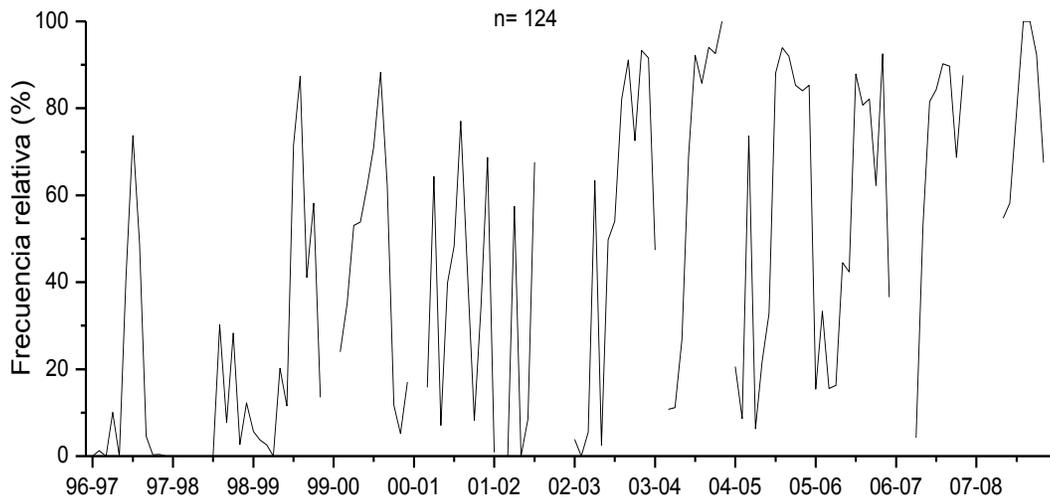


Fig. 20. Frecuencia relativa de organismos maduros de sardina crinuda, 1996-2008.

La correlación según el coeficiente de Spearman, que hay entre los organismos listos para desovar o en fase IV y la TSM (Tabla 3), muestra un valor similar al que se obtuvo en la correlación de la TSM con el FC. Estos valores indican la débil relación positiva que hay entre estas dos variables biológicas con la variable ambiental.

Tabla 3. Coeficiente de Spearman (Daniel, 1996), producto de la correlación de las distintas variables.

Variables relacionadas		r (<0.05)	P (<0.05)
TSM	Capturas	-0.321897	2.71936E-5
ATSM	Capturas	-0.186759	0.0306
TSM	IGS	0.352941	0.1799
TSM	Fase IV	-0.108621	0.2337
TSM	FC (total)	0.202753	0.0239
TSM	FC Hembras	-0.282192	0.0017
TSM	FC Machos	-0.253059	0.0052
FC	Fase IV	0.601910	0.0136
FC	IGS	0.738235	0.0015
Fase IV	IGS	0.871290	4.94E-5

Las figuras 21 y 22 muestran la distribución histórica de los datos del FC y de Fase IV respecto a la TSM. En el caso de la figura 21, se observa que no hay un patrón definido para todos los años de estudio que explique la relación de las condiciones

corporales de los organismos respecto al ambiente, aunque en la mayoría se observa cierta afinidad por temperaturas que oscilaron entre los 20 y 25°C en el inicio de la temporada, donde están los valores máximos del FC. Cuando la temperatura se encontraba en los 20°C, el factor de condición comenzó a aumentar paulatinamente hasta alcanzar sus máximos valores anuales cuando la temperatura marcó 25°C, una vez que se supera este límite de TSM, dicho índice decreció. En la temporada 2007-08 nuevamente se registraron los valores más altos del FC, lo que podría indicar que las temperaturas de la estación fría, favorecieron el desarrollo físico de estos peces.

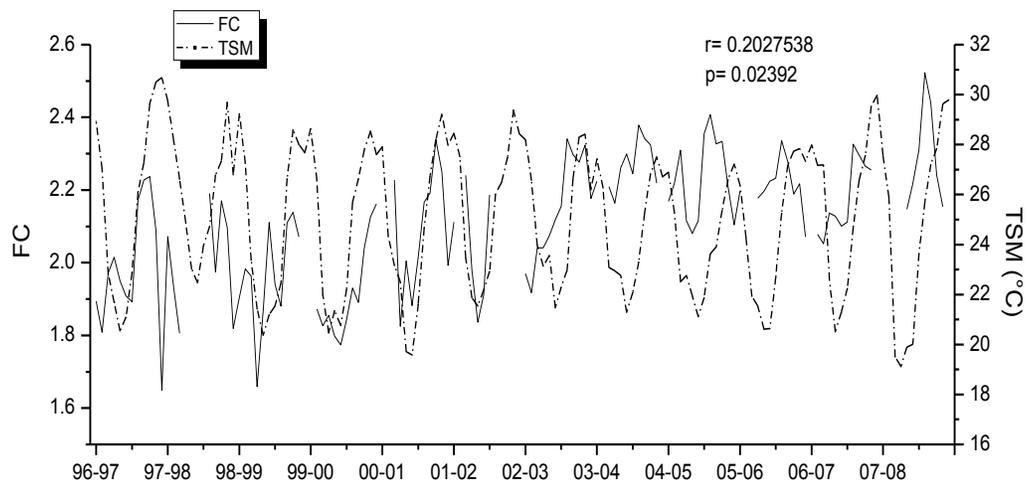


Fig. 21. Relación entre el FC y la TSM, 1996-2008.

En la figura 22, se observan organismos en fase IV a lo largo del intervalo anual de temperatura, es decir, como se mencionaba anteriormente se encontraron organismos en etapas reproductivas durante todo el año a cualquier temperatura. En este caso tampoco se observa un patrón definido, aunque en el caso específico de la temporada 1997-98, cuando se registró el evento cálido intenso, no se registraron organismos en estas condiciones físicas y fisiológicas, lo que podría indicar que cuando la estación fría sufre algún tipo de alteración, los organismos no desarrollan ciertas características, que en este caso son las reproductivas.

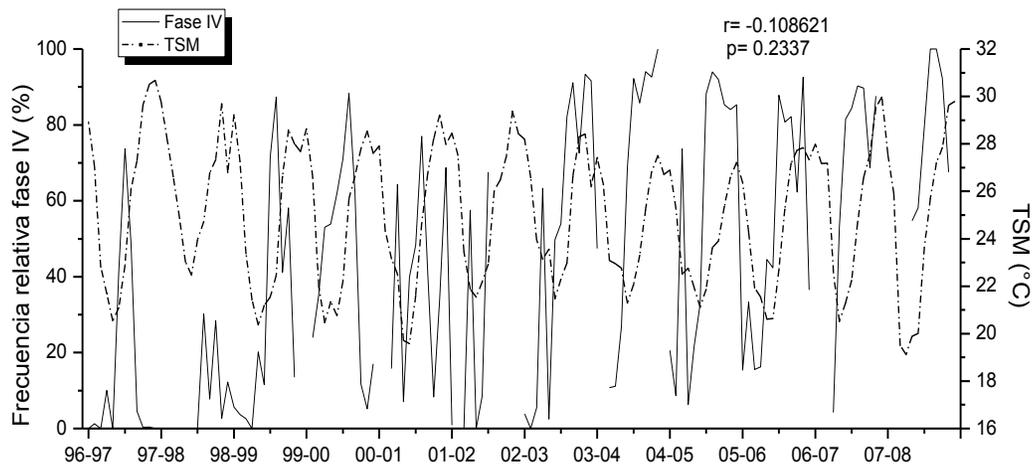


Fig. 22. Relación entre los organismos listos para desovar y la TSM, 1996-2008.

Al realizar la prueba de correlación (Tabla 3) entre las variables biológicas como son el FC y los organismos listos para desovar, el coeficiente indicó una fuerte correlación positiva. En la figura 23 (A y B) se observa que aunque la reproducción de estos organismos se caracteriza porque se lleva a cabo durante todo el año, en los últimos seis años se comienza a distinguir un patrón en el cual las mas altas frecuencias de organismos en fase IV de reproducción coincidieron con los valores mas altos del FC y aparecieron de mayo a agosto.

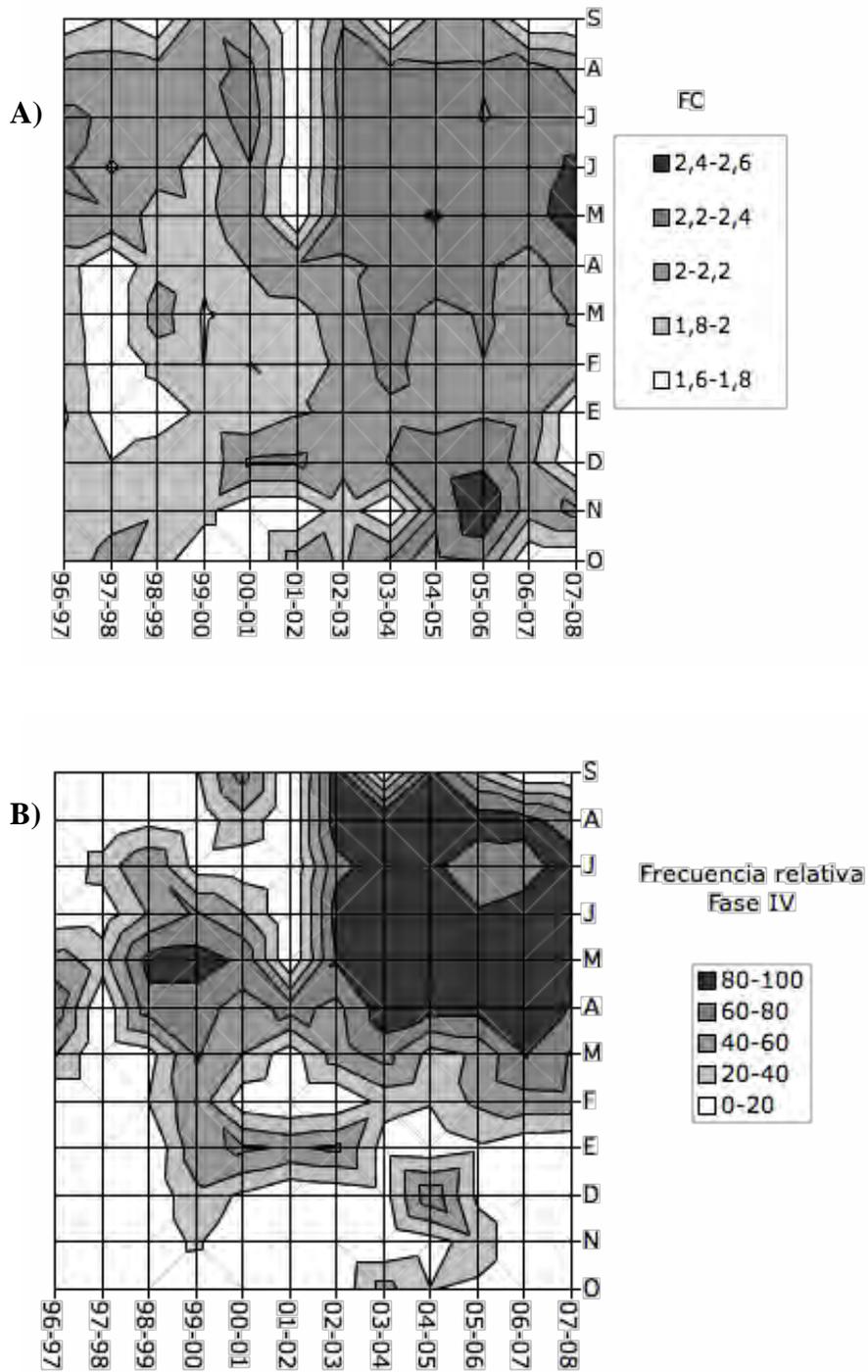


Fig. 23. Representación esquemática de la distribución mensual del FC (A) y de los organismos en fase IV de madurez (B), 1996-2008.

- **Índice gonadosomático**

La prueba de Spearman para determinar la correlación entre la TSM y el índice gonadosomático (IGS) (Tabla 3) reveló que aunque hubo una relación positiva, ésta no fue muy cercana. Es evidente que la sardina crinuda presentó afinidades ambientales y biológicas específicas de reproducción, pero parece ser que el tratamiento estadístico a nivel género no mostró relaciones significativas.

Al estudiar los parámetros biológicos se encontró alto grado de afinidad entre el factor de condición, el índice gonadosomático y los organismos listos para desovar o en fase IV de madurez. Se puede decir, que los organismos están en condiciones físicas y fisiológicas óptimas para la temporada de reproducción. Al analizar la secuencia de las relaciones que existen entre las variables biológicas de los organismos en el último par de años (Fig. 24), se observan grandes relaciones entre ellas, los máximos de las tres variables son consistentes en los mismos meses. En 2007 se observan los dos máximos que se han estado describiendo en junio y agosto, para esta temporada las tres variables biológicas presentan un patrón muy similar. En 2008, este patrón se modificó considerablemente, mostrando valores significativamente mayores que en el año anterior. Además en 2008 también se observa un solo máximo que ocurrió en julio (mes intermedio entre los dos máximos del 2007), es decir, los índices biológicos para este año comenzaron a aumentar conforme transcurría el año, hasta alcanzar un solo máximo anual, para posteriormente descender de nuevo para el fin del año.

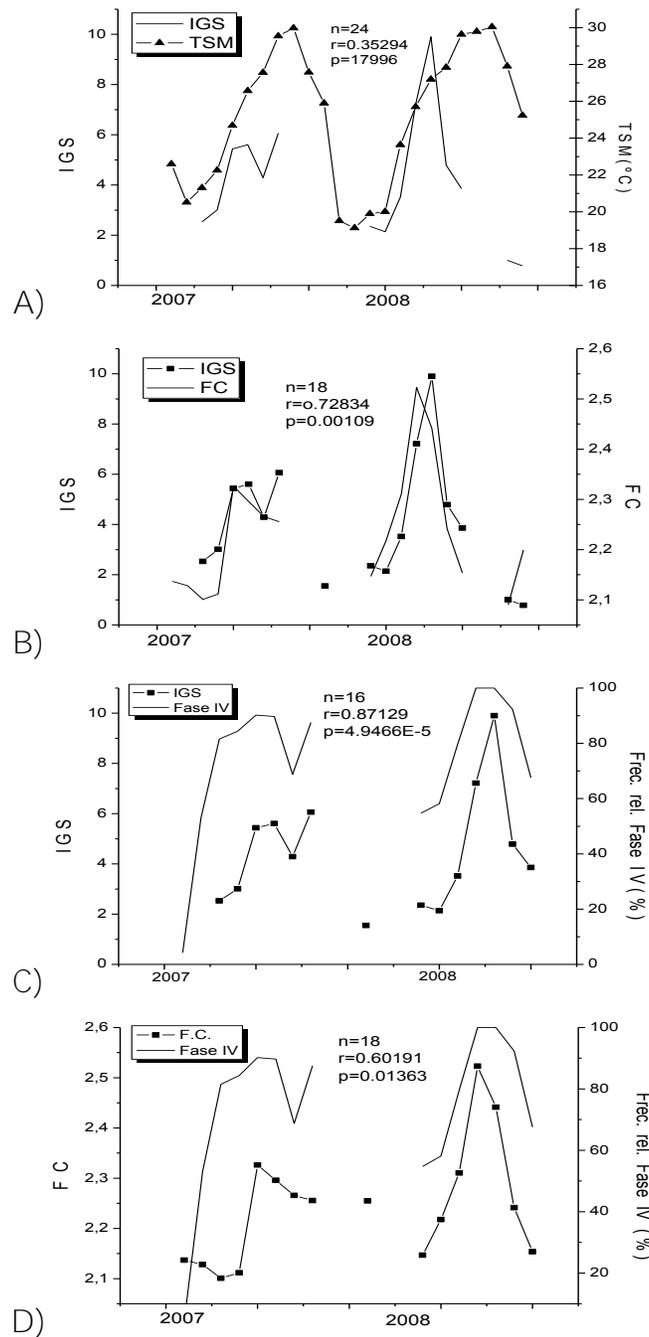


Fig. 24. Relación de variables biológicas durante 2007-2008:
 A) Índice gonadosomático -Temperatura superficial del mar;
 B) Índice gonadosomático – Factor de condición; C) Índice gonadosomático -Fase IV y D) Factor de condición-Fase IV.

El coeficiente de correlación de Spearman reveló que no hay relación significativa entre el FC de hembras y machos con la TSM (Tabla 3). Dicho coeficiente fue ligeramente mayor en la relación del FC de hembras con la TSM, lo cual se puede explicar por el tamaño y peso de las gónadas, ya que incide directamente en el valor del FC. No se observa un patrón definido entre el FC y la TSM para cada sexo (Fig. 25 y 26), que también se puede enmascarar dado el traslape de especies en cuanto a reproducción.

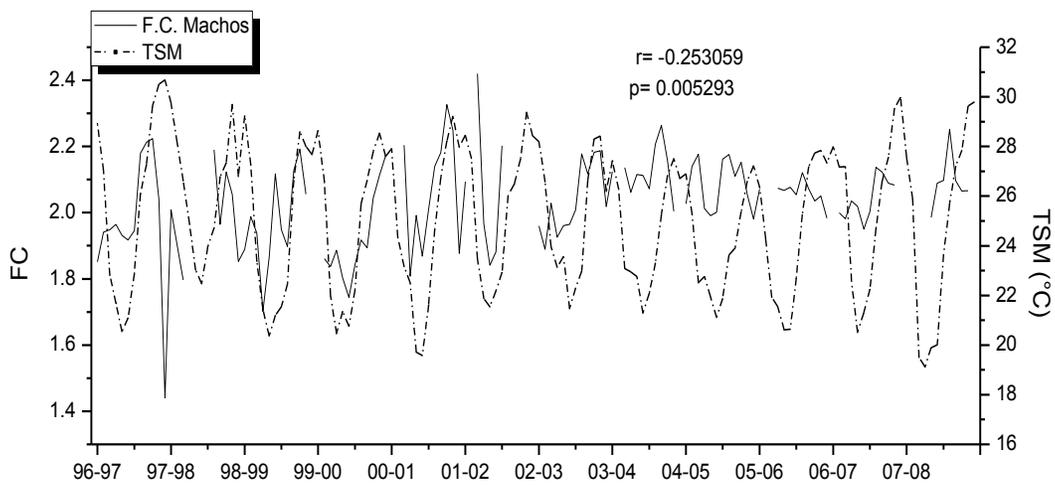


Fig. 25. Relación histórica TSM – FC de machos.

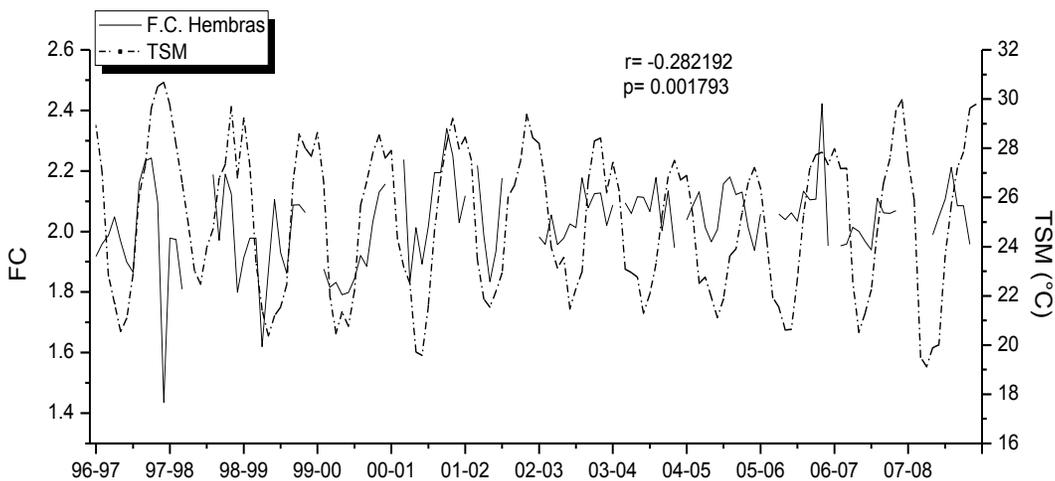
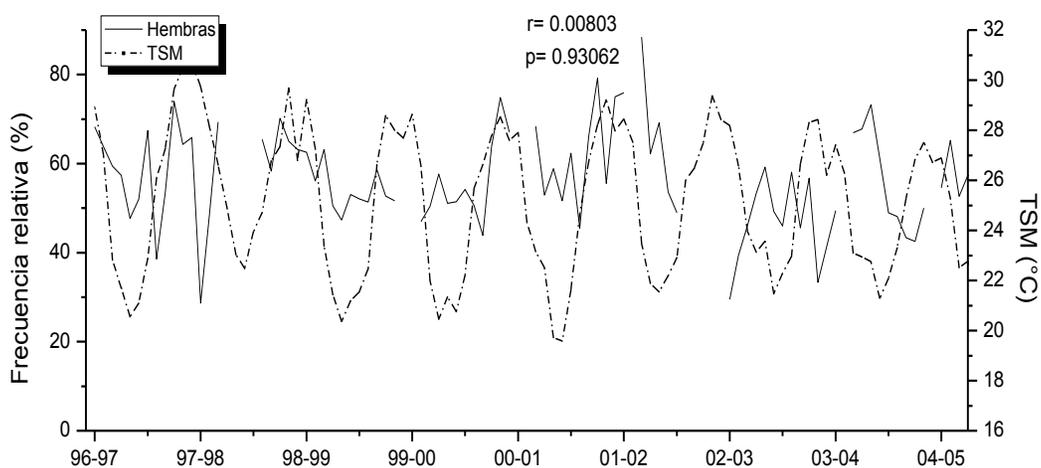
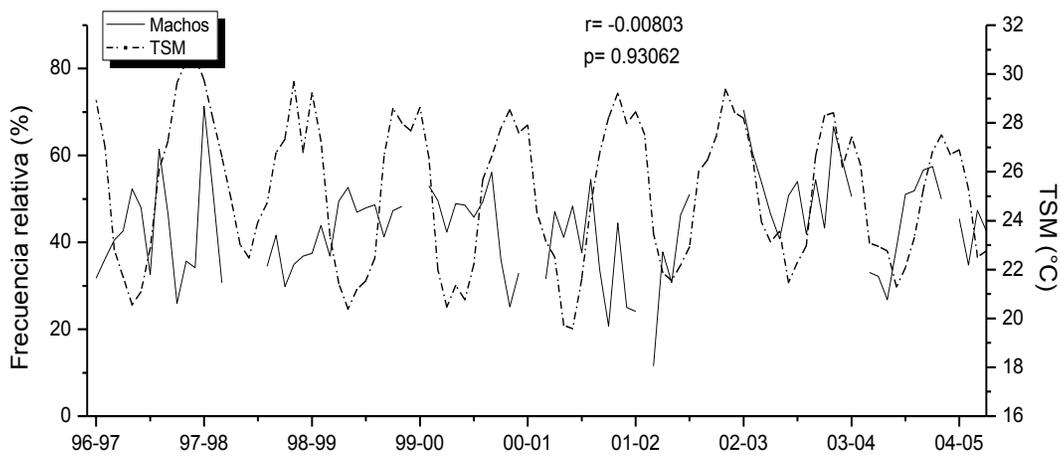


Fig. 26. Relación histórica TSM - FC de hembras.

Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis ($r=0.008339$; $p<0.05$) entre frecuencias relativas de hembras y machos durante el periodo de estudio, se obtuvo que no hay una diferencia significativa en los datos, aunque a lo largo del año se observa cierta variabilidad en dichas frecuencias (Fig. 27 y 28), registrando mayor número de machos en la estación cálida y viceversa mayor número de hembras en la estación fría. Cabe mencionar que al final de cada una de estas temporadas se obtuvieron proporciones sexuales similares de 1:1.



9. Discusión

Desde hace varias décadas se sabe que el ambiente juega un papel elemental en el desarrollo, reproducción, migración, alimentación y muchos otros procesos vitales que realizan los organismos a lo largo de su vida (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1995; Nevárez-Martínez *et al.* 2001)

Es evidente que las capturas de sardina crinuda guardan una relación cercana con las variaciones en su ambiente, aunque la temperatura no es la única variable que permite explicar esta relación ya que por ej. los vientos como indicadores de zonas de surgencia (caracterizadas por presentar altas tasas de productividad primaria) puede ser un factor importante que concentre grandes bancos de este recurso; otro es el esfuerzo pesquero como indicador de la intensidad de la pesca, son elementos que no pueden perderse de vista para tener una visión completa del comportamiento del recurso. Es importante mencionar la falta de información para algunos meses del periodo de estudio, porque no se registraron muestreos biológicos del recurso, ya que aunque si se tienen registradas capturas totales correspondientes a esos meses, no se cuenta con datos biológicos.

Como ya se señaló, en el puerto de Mazatlán además de las tres especies de sardina crinuda, se captura una especie de anchoveta conocida como sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*). Jacob-Cervantes *et al.* (2004) ha señalado que en algunas temporadas los volúmenes de captura de sardina crinuda descienden significativamente, mientras que los de la sardina bocona aumentan. Este hecho coincide con la anomalía positiva que se presentó en la temporada 1997-98, cuando se desplomaron las capturas de sardina crinuda y los volúmenes de sardina bocona aumentaron a alrededor del 70% de la captura total en dicha temporada.

Los resultados muestran que existe una mayor correlación entre las capturas y la temperatura superficial del mar cuando se analizaron los datos por temporada de pesca. De aquí se observa de las bajas correlaciones en la primera mitad del periodo

de estudio y las fuertes correlaciones en la otra mitad. Un factor que puede ser el causante de esto, es el hecho de que en la temporada de bajas correlaciones, el ambiente se encontraba dominado por la sardina bocona (Fig. 2), por lo que entrarían las interacciones ecológicas de ambas especies como otra variable más para explicar las variaciones en abundancia, y que podría ser explicado con la teoría de los cambios de régimen de Lluch-Belda *et al.* (1989) que dice que según las condiciones ambientales prevalecientes durante cierta temporada, se beneficiará a una especie sobre otra.

El coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura y las capturas muestra diferentes valores según la temporada de pesca de la que se trate. Al parecer las correlaciones fuertes se observan cuando la temperatura ha sufrido alteraciones importantes, que, según la alteración que se presente, provocará que la sardina se desplace de lugar, tal vez al norte, hacia Sonora donde las temperaturas no sean tan cálidas. Como lo muestran estos resultados la sardina crinuda posee cierta afinidad por la estación fría con temperaturas entre los 19 y 22°C que se presentan en cada temporada, sobre todo si se presentan anomalías negativas tan intensas como sucedió en la temporada 2007-08, que fueron las más bajas del periodo de estudio. El Niño 1997-98, no significa un aumento en las temperaturas del océano, sino que al presentarse masas de agua cálidas provenientes del sur, impidió la entrada de la estación fría en la zona de estudio, acarreada principalmente por la influencia de la corriente de California, y que en esa temporada se vio atenuada, por lo que la sardina movió su distribución al norte, aumentando las capturas de la región (Cisneros-Mata et al., 2000) . Alteraciones cálidas intensas de más de 28°C, en meses en los que se esperarían temperaturas entre 24°C y 26°C, parecen impedir algunos procesos en los stocks de estas especies, lo cual provoca que la sardina crinuda se vea superada por otras, aumentando su distribución a territorios diferentes y tal vez traslapándose con stocks de sardina crinuda más norteña, buscando condiciones ambientales más favorables o más tolerables, que les permita culminar su ciclo vital.

Es interesante encontrar afinidades por temperaturas frías de organismos que principalmente se distribuyen en latitudes ecuatoriales (Fisher *et al.*, 1995) con temperaturas más cálidas, lo que podría dar señal de grandes cambios climáticos que están ocurriendo a escalas globales y que los organismos buscan superar para preservar su especie.

Analizando las anomalías de la zona de estudio para entender las intensidades de los fenómenos que se presentan en esta región, se puede encontrar que asociado a los grandes volúmenes de captura de sardina crinuda, se encuentra un periodo de enfriamiento a partir del año 2003, y que alcanza el mínimo (casi 3°C por debajo de la media) en la temporada 2007-08, en la cual se lograron las máximas capturas de la pesquería (más de 75,000 t). Se puede caracterizar como **“cálido” a la primera** mitad del periodo de estudio, ya que al presentarse El Niño 1997-98, permitió a la sardina bocona dominar el ambiente, ya que aumenta su captura con anomalías positivas (Jacob-Cervantes *et al.*, 2004); en la temporada 2003-04 las anomalías no fueron significativas, se observa una tendencia hacia temperaturas frías, por lo que las capturas de sardina crinuda comienzan a aumentar significativamente desde esta temporada, logrando nuevamente desplazar a la sardina bocona.

La zona de estudio se caracterizó por ser altamente dinámica a lo largo del año, por estar presente en la zona de transición, por lo que se pueden generar eventos oceanográficos de poca duración (Aguirre, 2002) que podrían alterar el hábitat de la sardina crinuda. Analizando los datos por zona de pesca se podrían encontrar relaciones en cuanto a la zona donde se captura el recurso y el monitoreo constante de esta área permitiría ubicar fenómenos oceanográficos que se presenten cada año para pronosticar las posibles zonas a las que se desplace la sardina.

En este trabajo se presentaron dos condiciones extremas y contrarias, que permitió determinar el comportamiento de estas especies en su medio ambiente. Por un lado está la temporada El Niño 1997-98, en el cual las capturas se desplomaron en los cuatro primeros meses de 1998, lo que indica la intensidad con que resintieron los

stocks de sardina crinuda estas alteraciones, ya que durante estos meses se esperaban –como en todos los años- las mas altas capturas de la temporada, se presentó un fenómeno que cambia las expectativas tanto del sector industrial como de las mismas estrategias de los organismos ante tales circunstancias. En cambio 10 años después, en la temporada 2007-08, cuando las condiciones oceanográficas se vieron nuevamente afectadas, pero esta vez con un fenómeno frío conocido como La Niña, los stocks de sardina crinuda proliferaron, mostrando capturas récord que ya venían en aumento desde varios años atrás. Resultaría complicado establecer cierta periodicidad en los fenómenos climáticos con una serie de tiempo tan corta, por lo que sería necesario seguir ampliando las bases de datos para tener las pruebas de esto.

Es importante mencionar que el esfuerzo pesquero de acuerdo a Jacob-Cervantes *et al.* (2009), ha aumentado en los últimos 5 años coincidiendo con un aumento en las capturas, sin embargo es necesario relacionar estas tendencias con el efecto de la temperatura en otro tipo de estudios que permitan analizar esto a profundidad.

La estrecha relación que guardan los organismos con altos valores del FC y los que están listos para desovar (Spearman, $r=0.514$; $p<0.05$), muestra que el factor de condición es un indicador confiable de la reproducción en los pelágicos menores del sur del Golfo de California. Los organismos se preparan para las temporadas de reproducción almacenando nutrientes y grasas que sirven para aumentar el tamaño de las gónadas o para compensar el alto costo energético que se requiere en estos procesos (Rodríguez, 1992). Este hecho se confirma al obtener una fuerte y estrecha relación entre IGS-FC (Spearman, $r=0.738$; $p<0.05$) e IGS-Fase IV (Spearman, $r=0.871290$; $p<0.05$) en los últimos años.

García-Alberto *et al.* (2009) reportó una fuerte correlación inversa (Spearman, $r=-0.71$; $p<0.05$) entre organismos maduros y el FC de la sardina del Pacífico. Cuando se utilizan los datos del peso eviscerado para obtener el FC, se pueden obtener correlaciones inversas, a las que se obtendrían si se utilizan los datos del peso total como se utilizaron en este estudio. Si se habla de evaluar las condiciones en las que

se encuentran los organismos al momento de la reproducción, podría funcionar de mejor manera el peso total de los peces, ya que al extraer las vísceras incluyendo las gónadas, se podría atenuar la relación del peso con la talla del pez.

Resulta complicado establecer un intervalo de temperatura específico para los picos de desove que se observan en cada temporada de pesca, ya que se observan organismos desovando a lo largo de todo el año. Este hecho se puede explicar por el traslape de las tres especies de sardina crinuda que se capturan simultáneamente, ya que las temporadas de reproducción para cada una de ellas es diferente, por lo que es posible que cada especie tenga preferencia por un intervalo de temperatura y otras cuestiones ambientales que se efectúan en ciertos meses del año, por lo que al final del mismo se observa un traslape de reproducción y no se observan diferencias significativas.

Se ha reportado que en otras especies de peces (Martínez *et al.*, 2003), la temperatura puede influir en la diferenciación sexual, como lo hace en muchos otros procesos fisiológicos y metabólicos. Se encontró que cuando está presente la estación cálida del año, se registra mayor número de machos, y por el contrario cuando se encuentra presente la estación fría se observa mayor número de hembras; a pesar de este hecho, las proporciones parecen no haberse visto afectadas por esta variable ambiental, pero sería importante analizarlo a detalle, ya que la modificación de dichas proporciones podría traer consecuencias negativas para las poblaciones de pelágicos menores.

Aunque la relación entre las anomalías térmicas que se presentaron en la zona de estudio y los datos del SOI tomados para latitudes ecuatoriales, fue baja, parece haber mayor relación en aquellos años en los que las anomalías en la TSM fueron más intensas, esto se puede explicar por el retraso con el que llegan a las costas mexicanas las anomalías del SOI y que si se relaciona con anomalías débiles de temperatura, no se aprecia muy claramente esta relación.

Es difícil pronosticar lo que ocurrirá en tiempos posteriores. Como se ha revisado en este trabajo se deben redoblar esfuerzos para entender las complejas interacciones de los organismos con su medio, para lograr un aprovechamiento eficaz, pero sobre todo sustentable. Es importante conocer a fondo los recursos que hasta hoy se han colocado en segundo término, ya que posiblemente en un futuro próximo, tomarán el papel importante en todos los sectores, dada la explotación que hoy se les da a los organismos que sostienen las grandes pesquerías.

Resulta muy complicado hablar de un posible escenario de cambio climático, ya que para hacer aseveraciones de ese tipo, se necesita una serie de datos más larga. Respecto al recurso sardina crinuda, no hay suficientes pruebas que indiquen un posible cambio en el ambiente, ya que son organismos altamente sensibles y las capturas del recurso no han mostrado síntomas de colapsos. Este trabajo dará la pauta para continuar un constante monitoreo de las condiciones climáticas que se presenten en tiempos posteriores para continuar análisis similares y establecer escenarios tal y como menciona LLuch-Cota (2004), y así llegar a plantear estrategias para amortiguar los efectos negativos que tendrán en las poblaciones marinas tanto las cuestiones ambientales como la explotación humana.

10. Conclusiones

- Existe una relación inversamente proporcional entre las capturas de sardina crinuda en el sur del Golfo de California y la temperatura superficial del mar.
- La sardina crinuda responde favorablemente aumentando los volúmenes de captura ante condiciones de temperatura frías (que en esta región no están por debajo de 19°C). Cuando se presentan anomalías cálidas en las que no desciende la temperatura en la temporada correspondiente, los stocks de sardina crinuda migran a distintos sitios, posiblemente al norte, hacia las costas de Sonora, buscando mejores condiciones climáticas y a su vez disminuyendo la captura para el sur del Golfo de California.
- Los stocks de sardina crinuda se ven significativamente afectados cuando se presentan anomalías térmicas positivas intensas, como las generadas por el fenómeno de El Niño, en las cuales, puede ser drásticamente afectada la pesquería; en temporadas en las que se presenta el fenómeno de La Niña, la pesca aumenta significativamente.
- Los indicadores biológicos (FC, IGS y fase IV de madurez) mostraron alto grado de correlación entre ellos, principalmente en temporada de reproducción, alcanzando los máximos anuales casi al mismo tiempo. Estas características se pueden ver alteradas cuando la estación fría de alguna temporada se ve modificada o se presenta algún fenómeno cálido. El FC es un indicador confiable de la reproducción para estas especies.
- La correlación entre las anomalías térmicas de la zona de estudio con el índice de oscilación del sur tomado en el Ecuador, coincide solo en aquellos años en los que las anomalías en la TSM fueron intensas.

- Además de la relación inversamente proporcional de las capturas y la temperatura, pueden estar influyendo también otros factores como el esfuerzo pesquero, disponibilidad de alimento y algunas otras variables ambientales en las variaciones de las capturas en esta región.

11. Recomendaciones

Las grandes fluctuaciones que tiene el ambiente año tras año, comprueban la necesidad de hacer estudios a nivel regional, ya que dicha dinámica esta sujeta a condiciones oceanográficas y ambientales particulares que se generan en cada zona del país.

Se recomienda analizar la abundancia de sardina crinuda por zona de pesca, ya que **la zona de estudio pertenece oceanográficamente a la llamada “zona de transición”**, puesto que las áreas de pesca de la flota sardinera de Mazatlán 1, 2 y 3 (en Sinaloa) poseen características diferentes de las del sur, 4 y 5 (en Nayarit y Jalisco) requieren ser estudiadas por separado. Asimismo, es imprescindible estudiar otro tipo de variables como el esfuerzo pesquero, la disponibilidad de alimento y las zonas de surgencia para entender la dinámica de la pesquería, ya que estos organismos son altamente sensibles a los cambios de estos factores. Estos estudios nos permitirán responder a las exigencias que se presentan hoy en día por el fenómeno conocido como cambio climático, por lo que se deben planear estrategias para aprovechar sosteniblemente los recursos naturales.

También es importante ubicar el tiempo de retraso que tarda el índice de oscilación del sur en llegar a las costas mexicanas respecto al Ecuador, pero sobre todo para esta zona de estudio, ya que los pelágicos menores son altamente sensibles a estas condiciones y al saber esta información se pueden generar pronósticos de capturas cuando se presenten este tipo de fenómenos.

El estudio a nivel de especie del género *Opisthonema* permitirá ubicar intervalos de temperatura de reproducción y muchas otras afinidades ambientales.

Se deben seguir monitoreando permanentemente las condiciones ambientales y físicas del océano Pacífico y de las aguas mexicanas en general; las técnicas de teledetección serían una buena opción, ya que además de ser una herramienta de bajo costo y fácil de utilizar, la relación que se mostró en este trabajo entre la TSM y las capturas de sardina crinuda, obliga a continuar estudiándolas a través del tiempo.

Referencias bibliográficas

Aguirre, G. R. 2002. *Los Mares Mexicanos a través de la Percepción Remota*. Temas Selectos de Geografía, Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés Editores, México, 95 p.

Aguirre G. R., R. Álvarez y O. Salmerón-García. 1999. Red tide evolution in the Mazatlan Bay area from remotely sensed sea surface temperatures. *Geofísica Internacional*, México, 38(2): 63-71.

Álvarez-Borrego, S. y R. Lara Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *En* Dauphin, J.P. y B.R. Simoneit (eds.). The Gulf of California and peninsular province of the Californias. American Association of Petroleum Geologist, EUA. pp. 555-567.

Anónimo. 1985. Diagnóstico sobre el estado actual del recurso sardina en el Golfo de California. Inst. Nal. de Pesca. SePesca. México. 92 p.

Anónimo. 1994. *Carta Básica de Información Pesquera 1994*. Secretaría de Pesca. Dirección General de Informática y Registro Pesquero. Instituto Nacional de la Pesca. Unidad de Comunicación Social.

Anónimo. 2003. Anuario Estadístico de Pesca 2001. CONAPESCA, SAGARPA.

Astudillo, A. y J. F. Caddy. 1986. *Periodicidad de los desembarcos de merluza (Merluccius merluccius) y salmanote (Mullus sp.) en la isla de Mallorca*. Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop. Vigo. pp: 221-234.

Bakun, A. y R. H. Parrish. 1982. *Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru current systems*. CalCOFI Rep. 23: 99-112.

Berry, H. y I. Barret. 1963. Gillraker analysis and speciation in the thread herring genus *Opisthonema*. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 2(7): 1-153.

Biggs, D.C. y F.E. Müller-Karge, 1994. *Ship and satellite observations of chlorophyll stocks in interacting cyclone-anticyclone eddy pairs in the western Gulf of Mexico*. J. Geophys. Res., 99: 7371-7384.

Caddy, J. F., 1979. Long-term trends and evidence for production cycles in the bay of Fundy scallop fishery. *Rapp. I-V. Reun. CIEM* 175: 97-108.

Cisneros-Mata, M. A. 1987. Biología reproductiva de sardina Monterrey en la costa occidental de Baja California Sur y costa de Sonora. *Memorias del simposium sobre investigación en biología y oceanografía pesquera en México*. SEP, CICIMAR, CONACYT, La Paz, BCS. pp: 48-54.

Cisneros-Mata, M. A., J. A. De Anda M., J. Estrada García, F. Páez-Barrera y A. Quiroz S. 1988. *Pesquería de Sardina del Golfo de California y costa de Sinaloa (Informe 1986/87 y Diagnostico)*. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito), Centro de Investigación Pesquera- Guaymas. 67 p.

Cisneros-Mata, M. A., M. O. Nevárez-Martínez, G. Montemayor-López, J.P. Santos-Molina y R. Morales-Azpeitia. 1991. *Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/89 -1989/90*. SEPESCA, Inst. Nal.de la Pesca. CRIP Guaymas, Sonora. 80 p.

Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez, M.A. Martínez-Zavala, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos-Molina, A.R. Godínez-Cota, y G. Montemayor-López. 1997. *Diagnosis de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1991/92 a 1995/96*. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito) Centro de Investigación Pesquera- Guaymas.

Cisneros-Mata, M.A., F. Páez-Barrera, M.A. Martínez-Zavala, M. O. Nevárez-Martínez. 2000. Pelágicos *En*: Cisneros Mata M.A., L. Beléndez, E. Zárate, M.T. Gaspar, L. López, C. Saucedo, J. Tovar (ed.). Sustentabilidad y Pesca Responsable: Evaluación y Manejo. México. pp: 73-96.

Clark, F.N. y J.C. Marr. 1955. *Population dynamics of the Pacific sardine*. CalCOFI Rep. 4: 11-48.

Curran, P.J. 1972. *Ocean color determination through a scattering atmosphere*, Applied Optics, vol. 11(8): 1857-1866.

Daniel, W. 1996. *Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud*. Uteha. México. 667 p.

Fernández, A., Gallegos, A. y Zavala, J. 1993. Oceanografía física de México. *Ciencia y Desarrollo*. XVIII (108):24-35.

Fisher, W., F. Krup, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de las especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental*. FAO. Roma. 1813 p.

Gallardo-Cabello, M., M. Jacob-Cervantes, y X. Chiappa-Carrara. 1991. Análisis de los hábitos alimentarios y del aporte del carbono de las presas a la dieta de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, Gunther 1866 (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. Contribución no. 707.

Gallegos, A., J. Barberán y A. Fernández. 1988. Condiciones oceánicas alrededor de isla Socorro, archipiélago de Revillagigedo, en julio de 1981. *Revista Geofísica*. 28: 41-58.

Gallegos, A., R. Rodríguez, E. Márquez, R. Lecuanda y J. Zavala. 2006. Una climatología de la temperatura de la superficie del mar de las aguas adyacentes a las costas de Jalisco, Colima y Michoacán. *En*: M.C. Jiménez-Quiroz y E. Espino Barr (eds.). *Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. CRIP Manzanillo, Instituto Nacional de Pesca, SAGARPA. pp: 17-28.

García-Alberto, G., R. Félix-Uraga, F. Melo-Barrera, C. Quiñonez-Velázquez y K.

Hill. 2009. Análisis especial y temporal del ciclo reproductivo de la sardina del pacífico. Resúmenes XVII Taller del Comité Técnico de Pelágicos Menores. Guaymas, Sonora. 10-12 de junio de 2009.

González, L., J. Euán, N. Eslava, y J. Suniaga. 2007. La pesca de sardina, *Sardinella aurita* (Teleostei: Clupeidae) asociada con la variabilidad ambiental del ecosistema de surgencia costera de Nueva Esparta, Venezuela. *Revista Biología Tropical* 55 (1): 279-286.

Holt, S.J. 1975. Los recursos alimenticios del océano. *Oceanografía. Selecciones del Scientific American*. Edit. Blume, Madrid. pp: 400-414.

Jacob-Cervantes, M., M. Gallardo- Cabello, X. Chiappa-Carrara y A. Ruiz L. 1992. Análisis del régimen alimentario de la sardina crinuda *Opisthonema libertate*, Günther, 1866 (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California. *Rev. de Biol. Trop., Costa Rica*. 40(2): 233-238.

Jacob-Cervantes, M., M.A. Valdez Ornelas, R. Gastelum Villareal, I. López Nuño y P. Valdez Ledón. 2005. Desarrollo de la pesquería de pelágicos menores en el sur del Golfo de California durante 2004. Informe de Investigación (documento interno), CRIP-Mazatlán, INAPESCA-SAGARPA. 24 p.

Jacob-Cervantes, M., Y. Green Ruíz, M.A. Valdez Ornelas, R. Gastelum Villareal, I. López Nuño y P. Valdez Ledón. 2007. Desarrollo de la pesquería de pelágicos menores en el sur del Golfo de California durante 2006. Informe de Investigación (documento interno), CRIP-Mazatlán, INAPESCA-SAGARPA, 23 p.

Jacob-Cervantes, M., M.A. Valdez Ornelas, R. Gastelum Villareal y P. Valdez Ledón. 2009. Evaluación de la pesquería de pelágicos menores en el sur del Golfo de California durante el 2008. Informe de Investigación (documento interno), CRIP-Mazatlán, INAPESCA-SAGARPA, 25 p.

Lanz, E., M. Nevárez, J. López y J. Dworak. 2007. Spatial distribution and species composition of small pelagic fishes in the Gulf of California. *Revista Biología Tropical*. 56 (2): 575-590.

Lluch-Belda, D., F. Magallón y R. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. Calif. Coop. Oceanic Fish Invest. Rep. 27: 136-140.

Lluch-Belda, D., R. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose y P.E. Smith. 1989. World wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regimen problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8: 195-205.

Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez y R.A. Schwartzlose. 1991. A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*). *En*: Kawasaki, T., S. Tanaka, Y. Toba y A. Taniguchi (Eds). The long-term-variability of pelagic fish populations and their environment. *Proc. Int. Symp., Sendai Japan, 14-18 nov. 1989*. Oxford Pergamon Press: 293-300.

Lluch-Belda, D., M.J. Arvizu, S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Cota, A.C.Z. Salinas, T. Baumgartner, G. Hammann, V.A. Cota, C.E. Coteró, F.W. García, O. Pedrín, S.M. Lizárraga, M.A. Martínez, R. Morales, M.O. Nevárez M., J.P. Santos M., R. Ochoa B., S.R. Rodríguez, J.R. Torres V y F. Páez B. 1995. *Atlas Pesquero de México. Pesquerías Relevantes*. Secretaría de Pesca/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad de Colima (Cenedic).

Lluch-Cota, D. B., 2004. El sector pesquero México. *En*: Cambio Climático: una visión desde México. SEMARNAT-INE. pp: 327-335.

Lluch-Cota S.E., S. Álvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Angel, F. Müllen-Karger y S. Hernández-Vázquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite.

Ciencias Marinas 23 (III): 329-340.

Lluch-Cota, D. B., D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M.O. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C.A. Salinas-Zavala, A. Vega-Velázquez, J.R. Lara-Lara, M.G. Hammann y J. Morales. 1999. Las pesquerías y El Niño: Impactos de El Niño en el sector pesquero. *En*: R. Magaña (ed.). Impactos de El Niño en México. México: SG-UNAM-IAI-CONACYT. 137-178 p.

Lyle, L. 1992. Fluctuaciones de la sardina crinuda (*Opisthonema* spp) desembarcada en tres puertos del Pacífico Mexicano, 1973-1991. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, México. 109 p.

Mann, K.H. 1992. Physical influences on biological processes: how important are they? *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 12: 107-121.

Martínez, P. C. A., Ma. G. Ríos D., A. Campos M., E. M. Toledo C., Ma. del C. Aguilar V., L. D. Ross. (2003). Desarrollo tecnológico alcanzado en el cultivo de pez blanco de Pátzcuaro. *En*: Instituto Nacional de la Pesca (Ed.). Historia y avances del cultivo de pescado blanco. México. 169-190

Martínez-Zavala, M. A., M. A. Cisneros-Mata, M. L. Anguiano-Carrasco, J. P. Santos-Molina, M. O. Nevárez-Martínez, A. R. Godínez-Cota y G. Montemayor-López. 2000. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1996/97 y 1997/98. Informe de Investigación del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).

Márquez-García, E. 2003. Cartografía y análisis climatológico de la temperatura de la superficie del mar en el Golfo de California. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 82 p.

Morales-Bojórquez, E. 2009. Indicadores biológicos de cambios globales; el océano Pacífico. *Convergencia*. 48: 60-64.

Morales-Bojórquez, E., V. Gómez, R. Félix y R. Alvarado. 2003. Relation between

recruitment, sea surface temperature, and density-independent mortality of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) off the southwest coast of the Baja California Peninsula, México. *Revista Sci. Mar* 67 (1): 25-32.

Nevárez-Martínez, M. 1990. Producción de huevos de la sardina monterrey *Sardinops sagax caeruleus* en el Golfo de California : una evaluación y crítica. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica, Educación Científica y de Educación Superior de Ensenada. División de Oceanología. Departamento de Ecología, México. 144 p.

Nevárez-Martínez, M. O., D. Lluch-Belda, M. A. Cisneros-Mata, J. P. Santos-Molina, M. A. Martínez-Zavala y S.E. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Progress in Oceanography*. 49(2001): 565-580.

Nevárez-Martínez, M. O., Ma. de los A. Martínez-Zavala, C. E. Coterro-Altamirano, M. L. Jacob-Cervantes, Y. A. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán, A. Cota-Villavicencio y J. P. Santos-Molina. 2004. La pesquería de pelágicos menores (sardinias, anchovetas, macarela y afines): recomendaciones para su manejo. Dictamen Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito).

Nevárez-Martínez, M., M.A. Martínez-Zavala, E. Coterro-Altamirano, M. Jacob-Cervantes, Y. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán, A. Cota-Villavicencio, P. Santos-Molina. 2006. Pelágicos. *En*: Cuellar J. (cor. Ed.). Sustentabilidad y Pesca Responsable: Evaluación y Manejo. México. 263-295 p.

Nikolsky, G. V. 1963. *The Ecology of Fishes*. Academic Press. New York, USA. 352p.

Páez-Barrera, F. 1976. Desarrollo gonadal, desove y fecundidad de sardina crinuda (Günther) de la zona de Mazatlán basados en el análisis histológico de la gónada.

Mem. Simp. Rec. Masivos de México. Ensenada, Baja California, Sep. pp: 207-263.

Peláez, J. y J.A. McGowan. 1986 . Phytoplankton pigment in the California Currents as determined by satellite. *Limnol. Oceanogr.* 31: 927-950.

Quiñonez-Velázquez, C., R. Alvarado-Castillo, y R. Félix-Uraga. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. *Rev. biol. mar. Oceanogr* 37: 1-8.

Rodríguez, M. 1992. Técnicas de la evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. *Ed.* AGT, México. 79 p.

Rodríguez-Domínguez, G. 1987. Caracterización bioecológica de las tres especies de sardina crinuda (*Opisthonema libertate*, *O. bulleri* y *O. medirastre*) del Pacífico mexicano. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, México. 139 p.

Ruíz-Luna A. y F. Lyle. 1992. Periodicidad en las capturas de *Opisthonema* spp. CalCOFI Rep., Vol. 33.

Ruíz-Luna A., M. Jacob- Cervantes y A. Esparza-Haro. 1997. Trends in fishing indices for the thread herring fishery in northwest Mexico. *Fisheries Management and Ecology*, 4: 55-61 p.

SAGARPA. 2002. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Gobierno Federal. México, 220 p.

Santamaría del Angel E.M., S. Alvarez Borrego y F.E. Müller-Karger. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.*, 99: 7423-7431.

Santana, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico Mexicano (1983-1996) y su relación con la temperatura superficial del mar. Tesis Doctoral, Universidad de Colima, México, 122 p.

Scheaffer, R., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. *Elementos de muestreo*. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F. 302p.

Trasviña, A., D. Lluch, A. Filonov y A. Gallegos. 1999. Oceanografía y El Niño. En Victor O. Magaña (ed.). Los Impactos de El Niño en México. UNAM, México. pp: 69-101.

van Winkle, W., B. L. Kirk y B. W. Rust. 1979. Periodicities in Atlantic coast striped bass (*Morone saxatilis*) commercial fisheries data. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 54-62.

Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. CalCOFI Rep. 33: 76-86.

Yañez, E., A. González y M.A. Barbieri. 1995. Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y anchoveta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. Chile. *Invest. Mar., Valparaíso* 23: 123-147.

Páginas electrónicas.

FAO. © 2003-2009. Fisheries Topics: Statistics. Estadísticas e información. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* [online]. Rome. Updated 2004 31 12. [Cited 23 July 2009]. <http://www.fao.org/fishery/topic/2017/es>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. 2009. El fenómeno ENOS y el índice de la oscilación del sur (IOS). <http://www.imn.ac.cr>

Magaña V., J.L. Pérez, C. Conde, C. Gay y S. Medina., 2009. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. Departamento de Meteorología General, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México. <http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/nino.htm>

Cruz-Aguirre R. 1999. ¿Qué es "El Niño"? Centro de Investigación Científica y de

Educación Superior de Ensenada, México. <http://elnino.cicese.mx/nino.htm>
