



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LARVAS
DE PECES DURANTE LA FASE FRÍA DEL
RÉGIMEN CLIMÁTICO EN LA REGIÓN SUREÑA
DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

VANESSA IZQUIERDO PEÑA

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2014



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 13 del mes noviembre del año 2014

el (la) que suscribe BIÓL. VANESSA IZQUIERDO PEÑA alumno(a) del

Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A130850 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. GERARDO ACEVES MEDINA y DR. ALAN GIRALDO LÓPEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LARVAS DE PECES DURANTE LA FASE FRÍA

DEL RÉGIMEN CLIMÁTICO EN LA REGIÓN SUREÑA DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: vaneizqe@gmail.com - gaceves@ipn.mx - alan.giraldo@correounivalle.edu.co

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Vanessa Izquierdo P.

BIÓL. VANESSA IZQUIERDO PEÑA

nombre y firma

*“Para mi hijo, por la inmensa alegría que proporciona en mi vida y
por todos los caminos que aún nos faltan por recorrer”*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica a nivel de posgrado, al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo financiero durante el programa de maestría. Al programa CalCOFI e IMECOCAL, a la colección científica de larvas de peces del Pacífico Oriental Tropical (SIP 20131136), a la colección científica de ictioplancton y moluscos holoplanctónicos del Pacífico Oriental Tropical (SIP 20141170) y al proyecto "Tendencias climáticas y respuestas del ecosistema pelágico de la Corriente de California frente a Baja California (CONACYT 129140).

Agradezco especialmente al Dr. Alan Giraldo, por ser un gran maestro y amigo, por el apoyo incondicional antes y durante el desarrollo de la maestría. A Martín Hernández Rivas por su enorme paciencia, por el apoyo total, por ayudarme con los análisis y por sus comentarios durante el desarrollo de este trabajo. Al Dr. Gerardo Aceves por dirigir mi trabajo. Y a todos los miembros del comité (Dr. Reginaldo Durazo, Dra. Sylvia Patricia Jiménez-Rosenberg y Dr. Pablo del Monte Luna) por sus comentarios y sugerencias en la elaboración del manuscrito.

Agradezco al Dr. Francisco Chávez y al Dr. George Matsumoto por la oportunidad de realizar la estancia en Monterey Bay Aquarium Research Institute.

A mi padre por la gran motivación que dejó en mí. A mi madre, y a mis hermanas Yami, Keka y Vivi por el apoyo permanente aun en la distancia. A mi hijo Juanjo por su incondicionalidad y por tener que aguantar interminables clases, reuniones y congresos a su corta edad. A Sergio por la fortuna de haberse cruzado en mi camino, y porque cada día le pone más color a mi vida.

A mis amigos Astrid, Juanda e Iván por estar en las buenas y malas durante estos dos años, y a todas las personas que hicieron parte de una u otra forma en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS.....	i
GLOSARIO	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. HIPÓTESIS	17
5. OBJETIVO GENERAL.....	17
5.1 Objetivos específicos	17
6. MÉTODOS	18
6.1 Área de estudio y obtención de muestras	18
6.2 Selección de especies	19
6.3 Análisis de tendencia	20
6.4 Análisis de los datos físicos	23
7. RESULTADOS.....	24
7.1 Selección de especies	24
7.2 Periodos reproductivos	26
7.3 Áreas reproductivas	31
7.4 Variación de la abundancia de las especies y su relación con los índices climáticos en la zona norte durante el periodo 1951-2002.....	35
7.5 Variables Oceanográficas	41
7.6 Spiciness Vs Especies	42
8. DISCUSIÓN	44
8.1 Especies indicadoras	44
8.2 Áreas y periodos reproductivos.....	48
8.3 Indicadores biológicos de baja frecuencia y su relación con los índices climáticos.	54

9. CONCLUSIONES	61
10. LITERATURA CITADA	62
11. ANEXO.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índices climáticos utilizados en este estudio.....	22
Tabla 2. Especies consideradas como indicadoras de la fase fría del régimen climático en la parte sur del Sistema de la Corriente de California, así como su información auto-ecológica básica.	24
Tabla 3. Correlación de Spearman entre la abundancia de las siete especies de larvas de peces y los índices climáticos comprendidos en el periodo 1951-2002 para la zona norte. Las negritas indican el valor más alto de R obtenido.....	35
Tabla 4. Correlación de Spearman entre los datos de abundancia de las especies objetivo y los índices climáticos comprendidos entre 1951-2002 para la zona sur. Las negritas indican el valor más alto de R obtenido.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de los cruceros IMECOCAL. ...	19
Figura 2. División latitudinal de la región IMECOCAL, la zona Norte corresponde a las líneas 100-110 y la zona Sur líneas 123-133.....	21
Figura 3. Abundancia promedio de larvas de <i>E. mordax</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	27
Figura 4. Abundancia promedio de larvas de <i>S. sagax</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	27
Figura 5. Abundancia promedio de larvas de <i>H. atratum</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	28
Figura 6. Abundancia promedio de larvas de <i>T. mexicanus</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	29

Figura 7. Abundancia promedio de larvas de <i>V. lucetia</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	29
Figura 8. Abundancia promedio de larvas de <i>P. californicus</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	30
Figura 9. Abundancia promedio de larvas de <i>P. verticalis</i> en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.	30
Figura 10. Distribución de larvas de <i>E. mordax</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.	31
Figura 11. Distribución de larvas de <i>S. sagax</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.	32
Figura 12. Distribución de larvas de <i>H. atratum</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.	33
Figura 13. Distribución de larvas de <i>T. mexicanus</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.	33
Figura 14. Distribución de larvas de <i>V. lucetia</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.....	34
Figura 15. Distribución de larvas de <i>P. californicus</i> y <i>P. verticalis</i> en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978. Los valores de abundancia son	

los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m ² de superficie marina.	34
Figura 16. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) <i>E. mordax</i> y (b) <i>S. sagax</i> en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondiente al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	36
Figura 17. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas (a) <i>H. atratum</i> , (b) <i>V. lucetia</i> y (c) <i>T. mexicanus</i> en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondientes al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	37
Figura 18. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) <i>P. californicus</i> y (b) <i>P. verticalis</i> en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondientes al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	38
Figura 19. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) <i>E. mordax</i> y (b) <i>S. sagax</i> en la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2000. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	39
Figura 20. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de peces mesopelágicos (a) <i>H. atratum</i> (b) <i>V. lucetia</i> y (c) <i>T. mexicanus</i> en la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	40
Figura 21. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de las especies de peces demersales (a) <i>P. californicus</i> y (b) <i>P. verticalis</i> . Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.	41
Figura 22. Anomalías mensuales de temperatura superficial en las zonas norte y sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) desde enero de 1950 hasta julio de 2012. Obtenidas de Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) y del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data SET (ICOADS).	42
Figura 23. Representación del análisis de componentes principales; considerando la abundancia de las especies y la variable spiciness en el plano generado por las	

componentes 1 y 2. En la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2002 43

Figura 24. Representación del análisis de componentes principales; considerando la abundancia de las especies y la variable spiciness en el plano generado por las componentes 1 y 2. En la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2002 44

Figura 25. Series de capturas de sardina y anchoveta de California modificado de Lluch-Cota 2013, la línea azul y roja corresponde a los periodos en que la sardina y anchoveta dominan en el Pacífico..... 56

GLOSARIO

Abundancia: Número de individuos por especie que se encuentran en la comunidad.

Autoecología: estudia las adaptaciones de las especies a su ambiente y a las relaciones que mantiene con él.

Cambio de régimen: cambios sincrónicos o abruptos entre estados contrastantes y persistentes en un sistema complejo como lo es el sistema Tierra-océano

Clima: es el resultado de la interacción de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos que pueden cambiar en el tiempo y en el espacio

Demersal: organismos que habitan en o cerca del fondo. Los peces demersales en general presentan poco movimiento y se mantienen en contacto con el fondo, pero pueden efectuar movimientos migratorios según su ciclo de vida.

El Niño: es una oscilación del sistema océano-atmosfera en el Pacífico tropical, con escalas de tiempo que van de tres a cinco años. Durante este evento los vientos alisios se relajan en el Pacífico occidental y central, lo que profundiza la termoclina en el Pacífico oriental, también se produce un calentamiento de las capas superficiales del océano Pacífico Ecuatorial frente a las costas de América.

PDO: Acrónimo de Oscilación Decadal del Pacífico, se define como la primera componente principal de la variabilidad en la temperatura superficial del mar (TSM), la presión atmosférica a nivel del mar y el viento superficial de Pacífico Norte

Epipelágico: organismo que habita en la columna de agua desde la superficie hasta los 200 m

Especie indicadora: es aquella que por sus características; sensibilidad a perturbación, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo. Puede ser utilizado como estimador de una condición ambiental particular.

Fenología: es el estudio de la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos.

Hábitat: es el lugar físico que ocupa una población biológica

Índices climáticos: son una herramienta útil para caracterizar el clima, presentar patrones climáticos históricos y detectar los cambios.

La Niña: periodos que se han caracterizado por temperaturas oceánicas inusualmente frías en el océano Pacífico Ecuatorial, en sus porciones occidental y central, surgencias costeras intensas, descenso en el nivel del mar e intensificación de los vientos Alisios.

Mesopelágico: organismos que habita en la columna de agua desde los 200 m hasta los 1000 m

Ovíparos: modalidad de reproducción que incluye el depósito de huevos en el medio externo donde completan su desarrollo.

Spiciness: variable de estado sensible a las variaciones termohalinas y menos correlacionada con los campos de densidad. Esta variable es útil para la descripción combinada de procesos entrelazados y de doble difusión en el límite de diferentes masas de agua.

RESUMEN

Los cambios en el ambiente repercuten en la abundancia y distribución de los peces en diferentes escalas de tiempo porque modulan su tasa de supervivencia, crecimiento, reproducción y migración. Se ha documentado el efecto del ambiente en escalas de tiempo de baja frecuencia pero a nivel de régimen es poco lo que se conoce. La fase planctónica de estos organismos es sensible a los cambios ambientales y se considera el estadio más crítico y factible para registrar estos cambios. El objetivo fue determinar la distribución y abundancia de larvas de peces de especies de afinidad epipelágica, mesopelágica y demersal durante la fase fría del régimen climático y evaluar las características contrastantes de la región norte y sur en la fenología de estas especies en la región Sureña de la Corriente de California (SCC). Se analizaron los datos de abundancia de las larvas de *Engraulis mordax*, *Sardinops sagax*, *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus*, *Hygophum atratum*, *Paralichthys californicus* y *Pleuronichthys verticalis* en el sur del SCC provenientes de las bases CalCOFI e IMECOCAL entre 1951-1981 y 1998-2002. La zona sur presentó la mayor abundancia de las especies analizadas lo que sugiere diferencias ambientales entre ambas regiones cuya zona de transición se encuentra frente a Punta Eugenia. El análisis de sumas acumuladas indicó un aumento de la abundancia entre 1975-76 para *E. mordax*, *T. mexicanus* y las especies demersales en las zonas norte y sur. *V. lucetia* sólo presentó este cambio en la zona sur. Estas especies respondieron al cambio de régimen por tanto podemos inferir que pueden ser utilizadas como indicadores de la fase fría del régimen climático.

ABSTRACT

Environmental changes affect the abundance and distribution of fish at different time scales since they modulate their survival rate, growth, reproduction and migration. Although it has been reasonably documented the effect of environment on fish at high and medium frequency time scales, changes of low frequency (such as the regime) are still poorly known. The planktonic phase of fish is sensitive to environmental changes and is considered as the most critical and feasible stage to record these changes. The objective of this research was to determine the distribution and abundance of larval fish of some species with affinity to the epipelagic, mesopelagic and demersal environments during the cold phase of the climate regime and evaluate the contrasting features between the northern and southern region of the Baja California Peninsula on the phenology of these species in the Southern region the California Current (SCC). With this purpose, larval abundance data of *Engraulis mordax*, *Sardinops sagax*, *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus*, *Hygophum atratum*, *Paralichthys californicus* and *Pleuronichthys verticalis* of the SCC were analyzed. These data came from the CalCOFI bases (1951-1981) and IMECOCAL (1998-2002). The southern region showed the highest abundance of the analyzed species, suggesting environmental differences between both regions, whose transition zone is located off Punta Eugenia. The cumulative sum analysis showed a larval abundance increase between 1975 and 1976 for *E. mordax*, *T. mexicanus* and also for both demersal species in the northern and southern areas. While *V. lucetia* only showed this change in the southern region. The response observed in the abundance changes of these species, associated with regime change allowed us to suggest that they can be used as indicators of the cold phase of the climate regime.

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de la Corriente de California (SCC) que se origina en el sur de Canadá y domina la superficie del océano (0-200 m) con una extensión de entre 500 y 1000 km fuera de la costa, fluye hacia el Ecuador hasta la Península de Baja California, México. La costa occidental de la Península de Baja California (considerada como la porción sur del Sistema de la Corriente de California) es una región conocida por la importancia de sus recursos pesqueros, que incluye áreas de protección y manejo sustentable de interés prioritario para el gobierno mexicano (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998).

Existe amplia información sobre la biodiversidad (Loeb *et al.* 1983, McGowan *et al.* 1996, Lavaniegos *et al.* 2002, Lavaniegos & Jiménez 2006, Jiménez-Rosenberg *et al.* 2010) así como de las características oceanográficas físicas y químicas de esta zona (Durazo *et al.* 2001, 2005, 2010, Gaxiola-Castro *et al.* 2008). En particular, en este trabajo se hará énfasis a la región correspondiente a la Península de Baja California, que incluye dos zonas distinguibles por sus características oceanográficas, cuya frontera entre zonas se encuentra en la región de Punta Eugenia (28°N). Al norte de Punta Eugenia, las aguas de origen subártico dominan durante todo el año en la capa superior del océano (0-100 m) mientras que al sur hay influencia de agua tropical y subtropical durante verano y otoño (Durazo 2009 y Durazo *et al.* 2010).

De acuerdo con Durazo *et al.* (2010) la propagación de las señales de escala interanual es diferente entre estas dos provincias, incluso se presentan consecuencias biológicas de importancia, como el desplazamiento de los hábitat de especies de zooplancton en respuesta a los cambios en las masas de agua presentes, hasta desplazamientos y remplazo de especies de interés comercial como la sardina de California.

Aunque SCC es uno de los ecosistemas marinos más productivos del planeta. Sus recursos pesqueros tienen amplias fluctuaciones en su distribución y abundancia, lo que ha motivado numerosos esfuerzos científicos para identificar las causas de

dichas variaciones en tiempo y espacio. Un ejemplo de esta alta variabilidad espacio-temporal se observa en la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) la cual ha tenido considerables cambios de abundancia al menos en los últimos 2000 años (Baumgartner *et al.* 1992). Este recurso disminuyó precipitadamente de 3 millones de toneladas en 1933 a menos de 10,000 en 1975 y posteriormente se incrementó en el 2000 hasta un millón de toneladas (Smith & Moser 2003).

Chávez *et al.* (2003) encontraron que las fluctuaciones en la temperatura del aire, la circulación atmosférica, el dióxido de carbono y la temperatura del océano presentaban la misma fase y duración que los registros biológicos, lo cual indicó una estrecha relación entre procesos de cambio climático y la dinámica poblacional de los organismos marinos presentes en una localidad. En este sentido, varias investigaciones apuntan a que las fluctuaciones climáticas tienen un profundo impacto en la distribución geográfica, abundancia y fenología de especies (Stenseth *et al.* 2002, Menzel *et al.* 2006) razón por la cual los estudios de los efectos climáticos sobre las poblaciones marinas gana cada vez más atención, ya que la comprensión de estos efectos es un paso esencial para el manejo integral de los recursos marinos.

Para los peces, los cambios en el ambiente repercuten en su abundancia y distribución debido a que las condiciones ambientales modulan su tasa de supervivencia, crecimiento, reproducción y migración (Hsieh *et al.* 2009). Además, la fase planctónica de estos organismos es particularmente sensible a los cambios ambientales y se considera como el estadio más crítico en el éxito del reclutamiento de los peces (Hjört 1914, Mann 1993, Myers 1998, Pörtner & Peck 2010). Por este motivo, el estudio de la distribución y abundancia del ictioplancton, junto con las variables ambientales y los procesos que determinan su supervivencia y distribución, es esencial en el entendimiento no sólo de las fluctuaciones poblacionales en peces, sino para comprender el funcionamiento general del ecosistema pelágico (Ottersen *et al.*, 2010).

En el SCC ocurren cambios climáticos que generan una alta variabilidad en diversas escalas de espacio y tiempo. Dentro de estos fenómenos climáticos se destaca la variación interanual relacionada con los eventos de El Niño-La Niña, con escalas de tiempo que van de tres a cinco años; las fluctuaciones decadales cuando las condiciones oceánicas pueden mantenerse por encima o por debajo de la media a largo plazo por períodos de 10 a 20 años y las variaciones del régimen cuando las condiciones cambian en períodos de 50 años o más (Mantua *et al.* 1997, Salvadeo *et al.* 2011).

Los eventos El Niño-La Niña consisten en una interacción inestable entre la temperatura superficial y la presión atmosférica. El resultado de estas interacciones produce variaciones en los vientos, precipitación, profundidad de la termoclina, patrón de circulación y en la productividad biológica; del mismo modo causan variaciones en la alimentación y reproducción de peces, aves y mamíferos marinos (Funes-Rodríguez *et al.* 1995, Mora & Ospina 2001, Fiedler 2002, Lavaniegos *et al.* 2002, Durazo 2009, Lavaniegos 2009).

Ha sido ampliamente documentado que los cambios ambientales asociados con los eventos de El Niño se pueden acompañar de la expansión hacia el norte en la distribución de algunas poblaciones de peces de afinidad tropical y la consecuente expansión de sus áreas de desove (Moser *et al.* 1987 & Funes-Rodríguez *et al.* 2006). En contraste, la fase fría conocida como La Niña se ha caracterizado por temperaturas oceánicas inusualmente frías, surgencias costeras intensas y un descenso en el nivel del mar (Durazo *et al.* 2001).

Las variaciones climáticas en escala decadal y multidecadal, en el Pacífico se han representado mediante distintos índices, uno de los cuales es la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), que se define como la primera componente principal de la variabilidad en la temperatura superficial del mar (TSM), la presión atmosférica a nivel del mar y el viento superficial de Pacífico Norte (Mantua *et al.* 1997). Una anomalía positiva del PDO está asociada con un índice de baja presión atmosférica a

nivel del mar, aguas frías en el centro del Pacífico Norte y aguas cálidas en el Sistema de Corriente de California, además de presentar una mayor profundidad de la nutriclina (Mantua *et al.* 1997, Rebstock 2002, Goericke *et al.* 2005).

La alternancia entre periodos cálidos y fríos de la PDO es armónica y asimétrica, con una duración de entre 20 y 30 años, para las fases fría y cálida, respectivamente; es decir, un ciclo completo comprendería alrededor de 50 años. Mantua & Hare (2002) documentaron los efectos biológicos de la variabilidad climática a esta escala, platearon que a mediados de la década de 1970, el ecosistema marino sufrió una transformación en su estructura trófica. El sistema estaba dominado por especies forrajeras (e.g. camarón, capelán) de niveles tróficos bajos, y pasó a ser dominado por un nivel trófico mayor como los peces de fondo (e.g. peces planos y gádidos). Además, se ha asociado el incremento en la producción de salmón en el Pacífico Norte con fases cálidas de la PDO (Mantua *et al.* 1997, Hare & Mantua 2000, Mantua & Hare 2002).

Además del PDO, otro de los procesos de gran escala que induce variabilidad ambiental en el Pacífico es el cambio de régimen, el cual se relaciona con el cambio del clima del océano y los ecosistemas en un periodo de 10 y 30 años. Beamish *et al.* (1999) definen el cambio de régimen, como un periodo de varios años vinculado a los patrones de reclutamiento en las poblaciones de peces, o como promedios estables en la serie de datos físicos, por lo que el cambio de régimen puede ser definido como un cambio sincrónico de estas variables. Sin embargo, también podría ser definido como cambios relativamente repentinos entre estados contrastantes y persistentes en un sistema complejo como lo es el sistema Tierra-océano (DeYoung *et al.* 2008), o cambios abruptos entre las fases multidecadales (Overlan *et al.* 2008).

Alrededor de 1977, algunas especies de plancton y peces en el Pacífico Norte experimentaron cambios en distribución, supervivencia y abundancia. Estos cambios fueron tan abruptos (de un año o dos) y generalizados en el Pacífico Norte que fueron denominados como “cambio de régimen”, este puede persistir durante

décadas y causar perturbación a todos los niveles del ecosistema marino (PICES 2005). En términos generales, los cambios de régimen son detectados más rápidamente en los niveles tróficos más bajos, como el fitoplancton, zooplancton e invertebrados. Estos organismos se reproducen rápidamente, lo que hace que los cambios en su abundancia sean evidentes, un poco después de que se ha producido un cambio de régimen (por lo general un año; PICES 2005).

El régimen mejor documentado en el Pacífico Norte ocurrió a mediados de la década de 1970 y su impacto biológico tuvo efectos sobre la productividad primaria (Roemmich & McGowan 1995), así como en la biomasa y distribución de las poblaciones de sardinas y anchovetas (Lluch-Belda *et al.* 1989). Como los cambios de régimen impactan las redes tróficas marinas, en última instancia también afectan la distribución y la supervivencia de grandes pelágicos como aves y mamíferos marinos (Salvadeo 2012).

Espino & Yamashiro (2012) sugieren que las manifestaciones de los patrones de variabilidad ambiental producen cambios severos en los stocks y sus pesquerías, lo que provoca que aumenten, se reduzcan o desaparezcan, mientras que otros aparecen como “nuevos” recursos o aumentan sus poblaciones ya que permite el desarrollo de pesquerías diferentes. Aunque estos cambios están documentados para la región del Pacífico norte, particularmente en la región centro norte del SCC, se conoce poco sobre los efectos de este fenómeno en los niveles tróficos basales de la región sureña de la Península de Baja California.

Los estudios ictioplanctónicos en el SCC han permitido tener un conocimiento general de la composición de especies y definir las principales asociaciones entre especies y sus cambios en distribución y abundancia en el modo estacional e interanual (Aceves-Medina 2003, Aceves-Medina *et al.* 2003 Avendaño-Ibarra *et al.* 2010). Por ejemplo, durante la variación interanual El Niño- La Niña, Funes-Rodríguez *et al.* (1995, 2006, 2011) documentaron un incremento en la diversidad, dominancia y heterogeneidad de la comunidad de larvas de peces, relacionados con

el avance del agua cálida y especies de afinidad tropical. Por el contrario, durante La Niña la abundancia y el número de especies de afinidad subártica- transicional aumentan, al presentarse especies características del invierno y la primavera.

Sin embargo han sido poco los estudios relacionados con el efecto de los cambios climáticos de baja frecuencia (PDO y cambio de régimen) en la distribución y abundancia de las larvas de peces en el SCC (Moser 2001, Hsieh *et al.* 2008, 2009, Smith & Moser 2003, Koslow *et al.* 2013). En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar si el cambio de régimen climático (de fase cálida a fase fría) tuvo algún efecto sobre la distribución y abundancia de algunas especies epipelágicas, mesopelágicas y demersales de la región sureña de la Corriente de California. Así mismo se evaluó su utilidad como especies indicadoras y el efecto de las características contrastantes de la región norte y sur de la SCC en su fenología en la escala de régimen.

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó una base de datos de larvas de peces obtenidas de las dos zonas del sector sureño de la Corriente de California y que comprende los periodos 1951-1977 y 1998 hasta 2002. Se debe resaltar que entre 1951 -1976 se presentó un periodo frío y entre 1977-1998 un periodo cálido en este sector (Lluch-Belda *et al.* 2001, Hsieh *et al.* 2009); además, a partir del 2002 se presentó un periodo anómalo de intrusión de agua subártica (Durazo 2009, Durazo *et al.* 2005).

2. ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios sobre larvas de peces se han enfocado principalmente en describir patrones de distribución y abundancia. En todos ellos se ha reconocido la importancia del estudio del plancton como punto de referencia para comprender el contexto ambiental en el que se desarrollan las primeras etapas de vida de las especies de interés ecológico y/o comercial. Los resultados de estos trabajos han permitido identificar y describir las fluctuaciones en densidad y distribución de las diferentes especies como consecuencia de las variaciones estacionales e interanuales del ambiente. Incluso algunos grupos recurrentes de especies (Moser *et*

al. 1987, Moser & Smith 1993, Funes-Rodríguez *et al.* 1993, 1995, 2006, 2010, 2011, Aceves-Medina *et al.* 2004, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010).

Se ha mostrado que las larvas de peces pueden ser potenciales indicadores de cambios ambientales en diferentes escalas de tiempo (por ejemplo, *Vinciguerria lucetia*, *Hygophum atratum*, *Triphoturus mexicanus*, *Sardinops sagax*, *Engraulis mordax*, *Paralichthys californicus* y *Pleuronichthys verticalis*). Estas especies cumplen con algunos de los criterios que debe tener un organismo para ser considerado como indicador biológico (Jiménez-Rosenberg & Aceves-Medina 2009): límites de tolerancia estrechos con respecto a factores fisicoquímicos de las masas de agua, fácil captura e identificación taxonómica y alta abundancia poblacional, aunque en el caso particular de las especies raras su escasa abundancia y distribución geográfica particular serían los indicativos de condiciones particulares.

Por ejemplo, incrementos en la abundancia de las especies mesopelágicas *V. lucetia* y *T. mexicanus* se han asociado a la influencia de aguas subtropicales, mientras que el incremento en la abundancia de *Hygophum atratum* ha sido asociado a una tropicalización del ecosistema. Esto permite identificar la temporada cálida del año (Funes-Rodríguez *et al.* 1993, 1995, 2011). Incluso, distribuciones inusuales de *H. atratum* hacia el norte de su rango de distribución típica, se han relacionado con la presencia de eventos El Niño (Aceves-Medina *et al.* 2004, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010, Funes-Rodríguez *et al.* 1995, 2006, 2011).

Aunque la fauna mesopelágica puede estar distribuida como un continuo, los cambios locales en la diversidad y abundancia son casi con certeza el resultado de mezclas de masas de agua de diferentes áreas con su fauna asociada. Por lo tanto, las expansiones en la distribución espacial de las larvas de peces hacia el norte o el sur serán el resultado del desplazamiento de los adultos más allá de su zona normal de reproducción (Funes-Rodríguez *et al.* 2011). De forma inversa, incrementos en abundancia de especies pelágico-costeras como *S. sagax* y *E. mordax* parecen indicar la presencia estacional de centros de surgencia, o incluso parecen estar

asociadas con la presencia de eventos de enfriamiento como es el caso de La Niña (Funes-Rodríguez *et al.* 2010).

3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de la distribución y abundancia del ictioplancton, junto con las variables ambientales y los procesos que determinan su supervivencia y distribución, es esencial en el entendimiento de las fluctuaciones poblacionales en peces, y para comprender el funcionamiento general del ecosistema pelágico (Ottersen *et al.*, 2010). En el SCC se han documentado ampliamente los efectos de variaciones ambientales sobre las larvas de peces a nivel estacional e interanual. Por ejemplo, se han asociado los eventos de El Niño con la expansión en la distribución y en las áreas de desove hacia el norte de algunas poblaciones de peces de afinidad tropical (Moser *et al.* 1987 & Funes-Rodríguez *et al.* 2006).

De la misma forma, los efectos biológicos de la variabilidad climática de baja frecuencia (PDO-régimen) han sido documentados para la región del Pacífico norte, particularmente en la región centro norte del SCC. Mantua & Hare (2002) plantearon que a mediados de la década de 1970, el sistema estaba dominado por especies de niveles tróficos bajos, y pasó a ser dominado por un nivel trófico mayor. También se documentó que alrededor de 1977, algunas especies de plancton y peces en el Pacífico Norte experimentaron cambios en distribución, supervivencia y abundancia (PICES 2005). Sin embargo, el conocimiento, sobre los efectos de variaciones climáticas de baja frecuencia en los niveles tróficos basales en la región sureña de la Península de Baja California es poco.

El manejo de los recursos de una región se debe tener en cuenta el conocimiento sobre las variaciones ambientales de corto y largo plazo. Por esta razón, el presente trabajo plantea el uso de larvas de peces como organismos indicadores de procesos de baja frecuencia como la fase fría del régimen climático, con el fin de monitorear y detectar señales de cambio en la región sureña de la Corriente de California, que sirvan como herramienta para posibles estrategias en el manejo de pesquerías, que

permita mitigar o aprovechar un recurso, en función de las variaciones a largo plazo. Además de fortalecer esfuerzos de modelación de variabilidad temporal de los estadios de vida temprana de las poblaciones de interés pesquero.

4. HIPÓTESIS

El régimen climático modula la distribución y abundancia de las larvas de algunas especies de peces en la región sureña de Corriente de California y éstas responden de forma diferencial en función de su distribución vertical al considerar la zona (epipelágica mesopelágica, y demersal) y la latitud (norte o sur) en que habitan los adultos.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar si existe un efecto de la fase fría del régimen climático, en la distribución y abundancia de algunas especies asociadas a las zonas epipelágica, mesopelágica y demersal en la región Sureña de la Corriente de California (SCC). Evaluar su utilidad como especies indicadoras y el efecto de las características contrastantes de la región norte y sur de la SCC en su fenología en la escala de régimen.

5.1 Objetivos específicos

1. Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de las especies seleccionadas a escala regional en función de la variabilidad climática global.
2. A partir de la abundancia de larvas de las especies seleccionadas, establecer áreas y periodos reproductivos durante la reciente fase de enfriamiento de la región sur de la Corriente de California.
3. Definir cualitativamente el grado de relación entre la abundancia de las especies seleccionadas con la variación de los índices y las variables oceanográficas en la región norte y sur de la Península de Baja California durante la fase fría del régimen.

4. Evaluar la pertinencia del uso de las larvas de las especies de peces seleccionadas como indicadores biológicos de procesos de baja frecuencia como la fase fría del régimen climático en la zona de estudio.

6. MÉTODOS

6.1 Área de estudio y obtención de muestras

Para el desarrollo de este trabajo se procesaron las bases de datos de abundancia de larvas de peces en la Costa Pacífico de la Península de Baja California entre el puerto de Ensenada y el sur de Punta Eugenia, obtenidos por los programas CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) e IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California), para los periodos 1951-1984 y 1998-2002. Estas muestras fueron obtenidas de una red de muestreo que está organizada en 12 trayectos perpendiculares a la costa, con una distancia de 75 km entre ellas (las líneas 100 a 130) y 12 trayectos paralelos con una distancia de 37 km entre cada uno (Fig. 1).

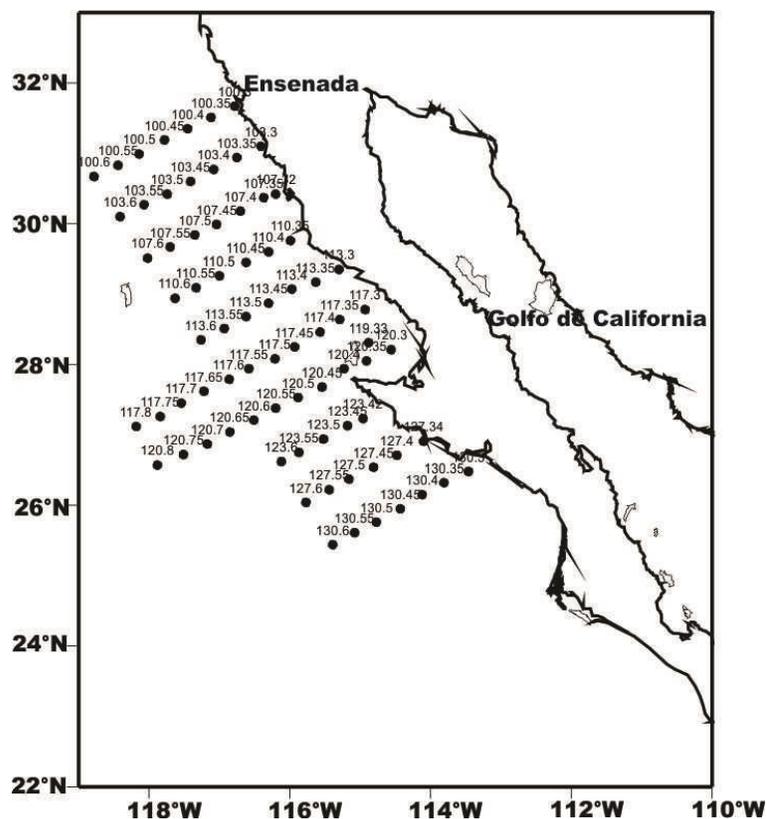


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de los cruceros IMECOCAL.

Las muestras de zooplancton fueron recolectadas mediante arrastres oblicuos desde los 200 m de profundidad hasta la superficie, se utilizó una red bongo de 0.6 m diámetro en su boca (505 μm de luz de malla), provista de un flujómetro para determinar el volumen de agua filtrado. De acuerdo al método descrito por Smith y Richardson (1977) los datos de abundancia fueron estandarizados para cada estación a número de larvas por cada 10 m^2 de superficie marina.

6.2 Selección de especies

Las especies seleccionadas se obtuvieron a partir de los resultados de trabajos anteriores que designan algunas especies como indicadoras del cambio ambiental en diferentes escalas de tiempo (Funes-Rodríguez *et al.* 1993, 1995, 2006, 2011, Aceves-Medina *et al.* 2004, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010). Para determinar una especie como indicadora, se seleccionaron según la literatura aquellas que reunieron

la mayor cantidad posible de las características deseables (Caro & O’doherly 1999, Jiménez-Rosenberg & Aceves-Medina 2009, Isasi-Catalá 2011). La búsqueda de estas características se basó en la información disponible de los trabajos de Moser (1996), y en bases de datos electrónicas: FishBase (Froese & Pauly 2013) y World Register of Marine Species (WoRMS 2013).

6.3 Análisis de tendencia

Para realizar el análisis de tendencia se construyó una base de datos y se tuvo en cuenta la información correspondiente a la abundancia de las especies objetivo, de acuerdo a las zonas norte y sur (línea, estación, mes y año). Estos datos fueron extraídos de la base de datos CalCOFI (1951-1984) y de la base de datos IMECOCAL (1998-2002) en la Costa Pacífico de Baja California. Debido a que existen diferencias en el esfuerzo de muestreo entre los periodos considerados, los datos de abundancia se estandarizaron de acuerdo al índice larval (Smith & Richardson 1977) el cual se utiliza para comparar la abundancia por unidad de área con diferentes esfuerzos de muestreo.

Los datos fueron separados en una zona norte (líneas 100 a 110) y una zona sur (líneas 123 a 133) que incluyeron las estaciones de muestreo 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 (Fig. 2). Con el fin de considerar el mayor número de muestras posibles en la serie para cada año, los meses de enero-febrero se tomaron como representativos del invierno, abril-mayo como primavera, julio-agosto como verano y octubre-noviembre como otoño. Finalmente los datos de abundancia se transformaron con $\log(X+1)$ para estabilizar la varianza.

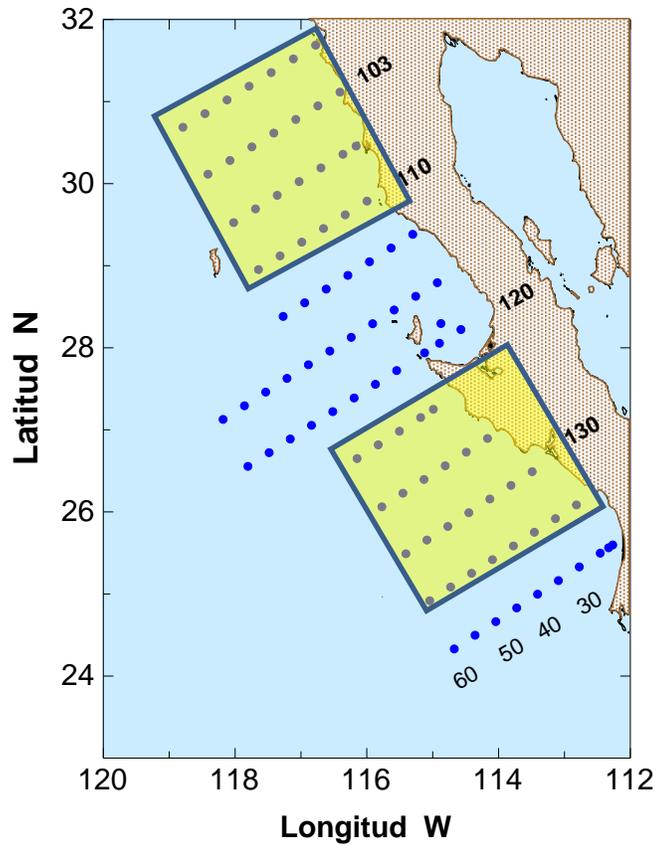


Figura 2. División latitudinal de la región IMECOCAL, la zona Norte corresponde a las líneas 100-110 y la zona Sur líneas 123-133.

Con el fin de observar la tendencia de los datos y poder detectar cambios en el patrón de la abundancia de las especies estudiadas se realizó un análisis CUSUM (Análisis de Sumas Acumuladas). Para esto se estandarizaron los datos a través de la siguiente transformación:

$$Z_i = \sum \frac{X_i - \mu}{\sigma},$$

en donde X_i = *ésima* Observación, μ = media de las observaciones y σ = desviación estándar de la muestra. El análisis permite mostrar una tendencia positiva cuando las observaciones se mantienen por encima de la media, y viceversa, si las observaciones son por debajo de la media.

Adicionalmente, se realizó una correlación de Spearman con el fin de determinar el grado de relación entre la serie de datos de abundancia con los índices climáticos: PDO, MEI, NPI, UI y NPGO. Con el propósito de comprender la relación entre el índice y la variabilidad de las especies seleccionadas para el desarrollo de este estudio, se realizó una revisión metodológica de las variables incluidas en la definición de los índices utilizados en esta investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Índices climáticos utilizados en este estudio

Índice	Descripción	Referencia
Índice multivariado ENSO (MEI)	Primer componente principal de seis variables observadas sobre el Pacífico ecuatorial: presión al nivel del mar, viento meridional, viento zonal, temperatura superficial, temperatura del aire y nubosidad.	Wolter & Timlin 1998
Oscilación del Giro del Pacífico Norte (NPGO)	Se tienen en cuenta las anomalías de temperatura superficial (SSTa), y la altura del mar (SSHa) sobre la región (180°W-110°W; 25°N-62°N). Se utilizan Funciones Empíricas Ortogonales. El NPGO representa la segunda componente EOF/PC.	Di Lorenzo <i>et al.</i> 2008
Índice del Pacífico Norte (NPI)	Es la medida de la presión a nivel del mar del área ponderada de 30°N – 65°N, 160°E -140°W. El índice se definió para medir variaciones en la circulación atmosférica interanual y decadal.	Trenberth & Hurrell 1994
Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)	Se calcula como un promedio mensual de la temperatura superficial del mar en el océano Pacífico (20°N). Normalmente solo se utilizan los valores de octubre y marzo	Mantua <i>et al.</i> 1997 Mantua & Hare 2002

	para calcular el índice del PDO porque las fluctuaciones son más evidentes durante los meses de invierno.	
Índice de Surgencia (UI)	Se genera a partir de una estimación del esfuerzo cortante del viento sobre la superficie del mar en localidades cercanas a la costa. Se asume homogeneidad, uniformidad del viento. Se calcula el transporte de Ekman, y finalmente presenta la magnitud del componente costa-fuera de este parámetro.	Schwing <i>et al.</i> 1996

6.4 Análisis de los datos físicos

Se consideró el spiciness como un indicador de sensibilidad a las variaciones termohalinas y menos correlacionada con los campos de densidad. Esta variable es útil para la descripción combinada de procesos entrelazados y de doble difusión en el límite de diferentes masas de agua (Flament 2002). Para cada una de las regiones norte y sur, se extrajo el promedio por estación de temperatura, salinidad y spiciness a 50 m de profundidad.

Se realizó un análisis de correlación *a priori* entre las variables, y se detectó redundancia entre ellas. Por esta razón, sólo se utilizó la medida del spiciness para aplicar un análisis de componentes principales. Este análisis se realizó por promedio anual y se consideró la serie (abundancia y spiciness) que abarca de 1951 a 1978 y de 1998-2002 correspondiente a la fase fría del régimen climático. Posteriormente se calcularon las anomalías mensuales de temperatura superficial y se extrajo la variación intranual con un filtro lanczos paso bajo a doce meses. Los datos de temperatura superficial se obtuvieron de Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) y del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data

SET (ICOADS) correspondientes al periodo enero de 1950 y julio de 2012 para la zona norte y sur

7. RESULTADOS

7.1 Selección de especies

En la Tabla 2 se condensa la información disponible en la literatura científica sobre la distribución global, hábitat, rango de profundidad y temporada de desove, de cada una de las especies que fueron seleccionadas como potencial indicadores de la fase fría del régimen en la zona de estudio (Ver anexo 1 para más detalle). Estas especies han mostrado correlaciones específicas con cambios ambientales de diferentes escalas temporales en análisis previos realizados con la base de datos CalCOFI.

Tabla 2. Especies consideradas como indicadoras de la fase fría del régimen climático en la parte sur del Sistema de la Corriente de California, así como su información auto-ecológica básica.

Espece	Información Básica	URL
<i>Engraulis mordax</i> (Girard, 1854)	<p>Distribución: Columbia Británica, Zona Económica Exclusiva de Canadá, Aguas Costeras del Sudeste de Alaska, Zona de Pesca FAO 67(a), Pacífico Nororiental y Pacífico Norte</p> <p>Hábitat: Epipelágicas, cardumen en aguas costeras</p> <p>Temporada de desove: Durante todo el año con un máximo en el invierno-primavera y un mínimo entre verano-otoño . Ovíparos; huevos y larvas planctónicos epipelágicos</p>	<p>http://www.fishbase.org/summary/Engraulis-mordax.html</p> <p>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=272286</p>
<i>Sardinops sagax</i> (Jenyns, 1842)	<p>Distribución: Kamchatka Alaska y a lo largo de la costa Este del Pacífico, Cabo San Lucas, Baja California Sur; en el Norte del Golfo de California Guaymas, Sonora.</p> <p>Hábitat: Epipelágicas, forma cardúmenes sobre la plataforma continental, frecuentemente cerca de la costa.</p> <p>Temporada de desove: Durante todo el año en la región</p>	<p>http://www.fishbase.org/summary/Sardinops-sagax.html</p> <p>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxlist</p>

<i>Vinciguerria lucetia</i> (Garman, 1899)	CalCOFI, con máximos en primavera y verano, mínimo en el otoño y el invierno frente a California. Ovíparos; huevos y larvas planctónicos epipelágicos.	<p>Distribución: Pacífico Occidental y Central: Papua Nueva Guinea, Pacífico Oriental: en toda la región actual de California, usualmente al sur de Punta Concepción. Hábitat: Epipelágica y mesopelágica. Temporada de desove: Durante todo el año, mayor en verano y otoño con un máximo en septiembre-octubre. Ovíparos, huevos y larvas epiplanctónicas.</p>	http://www.fishbase.org/summary/Vinciguerria-lucetia.html	http://www.marinespecies.org/apia.php?p=taxdetails&id=274961
<i>Triphoturus mexicanus</i> (Gilbert, 1890)	<p>Distribución: Pacífico Este, poblaciones del norte de San Francisco, California y sur de México, incluido Golfo de California, hacia el oeste 127°W; poblaciones al sur de Perú y Chile. Hábitat: Subtropical Mesopelágico Temporada de desove: Durante todo el año en el área CalCOFI; sin embargo es más abundante durante la primavera y el otoño, con máximos en agosto-septiembre. Ovíparos huevos y larvas planctónicas.</p>	http://www.fishbase.org/summary/Triphoturus-mexicanus.html	http://www.marinespecies.org/apia.php?p=taxdetails&id=278566	
<i>Hygophum atratum</i> (Garman, 1899)	<p>Distribución: Se distribuye en el Este del Pacífico tropical, Sur del Mar de China. Aguas con bajas cantidades de oxígeno. (Moser 1996, Froese & Pauly 2013) Hábitat: Mesopelágico, en las noches migra hacia la superficie Temporada de desove: Las larvas están presentes durante todo el año en el área CalCOFI, con máximos de abundancia en noviembre. Ovíparos huevos y larvas planctónicos.</p>	http://www.fishbase.org/summary/Hygophum-atratum.html	http://www.marinespecies.org/apia.php?p=taxdetails&id=272704	
<i>Paralichthys californicus</i> (Ayres, 1859)	<p>Distribución: Pacífico Oriental: río Quillayute en el norte de Washington, Bahía Magdalena, Baja California Sur. Hábitat: Fondos suaves, generalmente arena, alrededor de 180 m de profundidad; comúnmente en zonas bahías y estuarios.</p>	http://www.fishbase.org/summary/Paralichthys-californicus.html	http://www.marinespecies.org/apia.php?p=taxdetails&id=275809	http://eol.org/pages/217375/overv

<i>Pleuronichthys verticalis</i> (Jordan & Gilbert, 1880)	<p>Temporada de desove: Larvas capturadas alrededor del año en el área CalCOFI, con mayor abundancia durante enero-abril y junio-agosto. Ovíparos; huevos y larvas planctónicas.</p> <p>Distribución: Pacífico Oriental EE.UU, Baja California Sur, México; población aislada al norte del Golfo de California.</p> <p>Hábitat: Fondos suaves.</p> <p>Temporada de desove: Larvas capturadas alrededor del año en el área CalCOFI, con mayor abundancia durante marzo y agosto.</p>	<p>iew</p> <p>http://www.fishbase.org/summary/Pleuronichthys-verticalis.html</p> <p>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=282295</p> <p>http://eol.org/pages/223455/overview</p>
---	---	---

7.2 Periodos reproductivos

Las larvas de las especies epipelágicas estuvieron presentes durante las cuatro estaciones del año (Figs. 3 y 4). *E. mordax* presentó abundancia similar en las dos zonas con un máximo reproductivo definido durante el invierno. En la zona norte, este máximo se extendió hasta la primavera (Figs. 3a y b). Por otro lado, *S. sagax* fue más abundante en la zona sur, con un máximo reproductivo durante la primavera en ambas zonas (Figs. 4a y b).

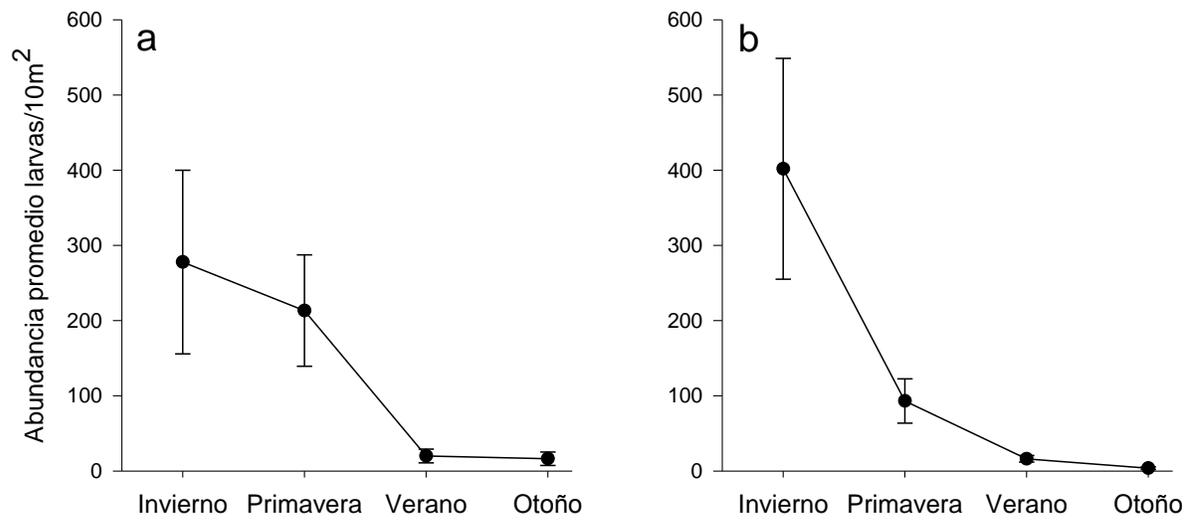


Figura 3. Abundancia promedio de larvas de *E. mordax* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

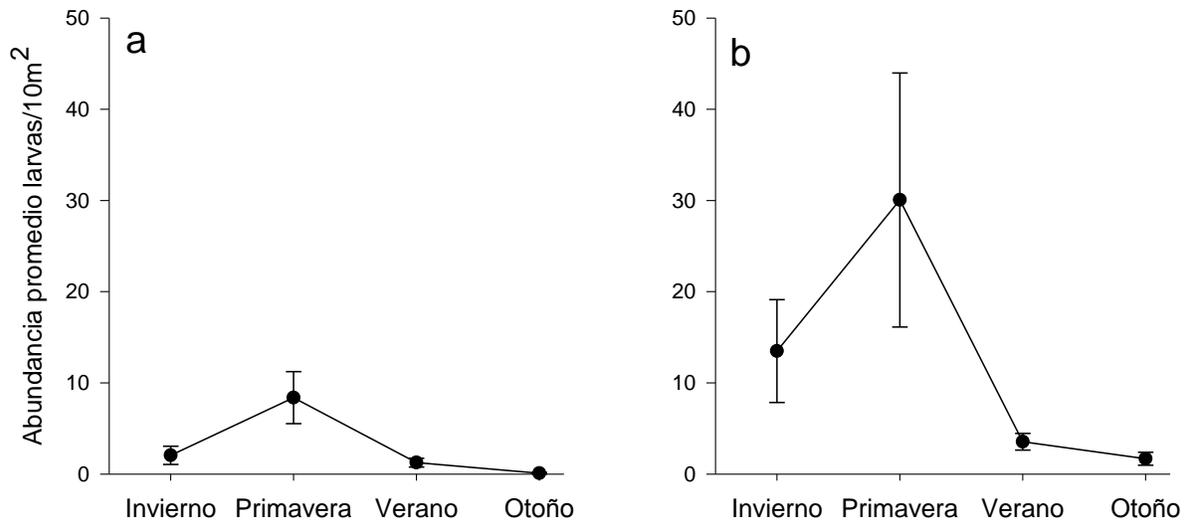


Figura 4. Abundancia promedio de larvas de *S. sagax* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

Las larvas de las especies mesopelágicas también estuvieron presentes durante todo el año. *H. atratum* fue más abundante en la zona sur donde se reprodujo a lo largo

del año pero con menor intensidad en el otoño, mientras que al norte las larvas fueron escasas, se capturaron con mayor frecuencia en invierno (Figs. 5a y b). *T. mexicanus* no mostró diferencias importantes de abundancia entre las dos zonas, y se reprodujo principalmente entre primavera y otoño con un máximo en verano (Figs. 6a y b). *V. lucetia* estuvo presente todo el año pero fue más abundante en la región sur principalmente en el verano, la mayor actividad reproductiva en la zona norte ocurrió en verano-otoño (Figs. 7a y b).

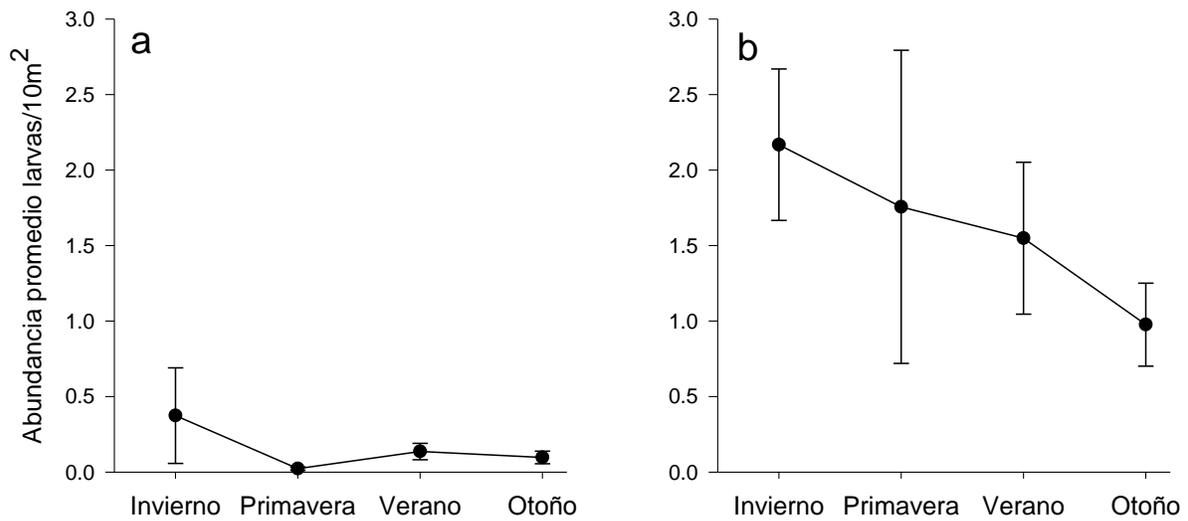


Figura 5. Abundancia promedio de larvas de *H. atratum* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

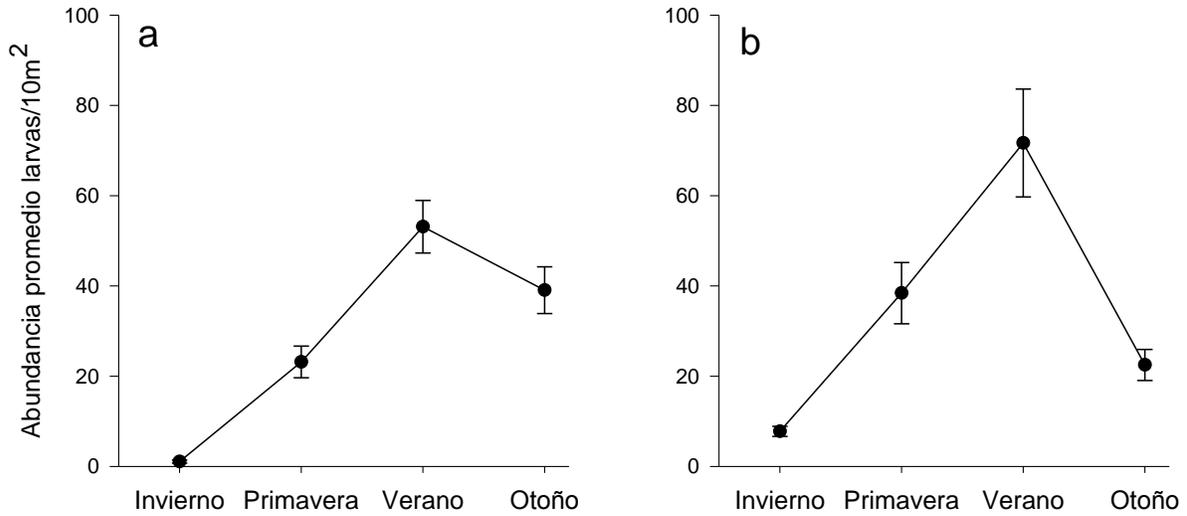


Figura 6. Abundancia promedio de larvas de *T. mexicanus* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

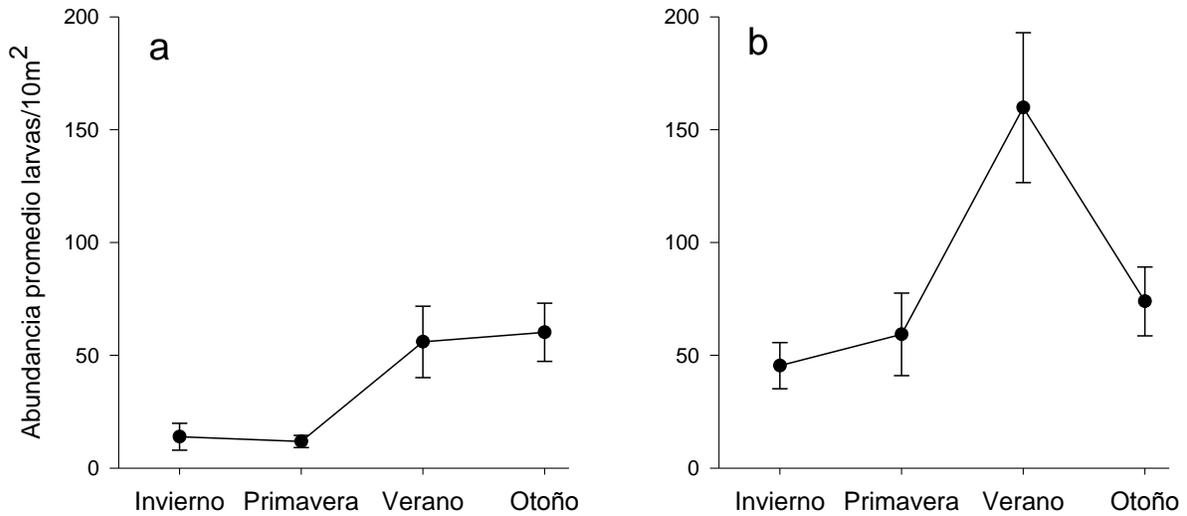


Figura 7. Abundancia promedio de larvas de *V. lucetia* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

En cuanto a las larvas de las especies demersales, los valores de abundancia se mantuvieron en los mismos órdenes de magnitud (Figs. 8 y 9). No obstante, se observaron diferencias estacionales entre las regiones asociadas a los periodos reproductivos de las especies. Por ejemplo, *P. californicus* se reprodujo todo el año con un leve incremento durante la primavera en la zona norte, mientras que en la

zona sur, la mayor actividad reproductiva se encontró en invierno (Figs. 8a y b). Por otro lado, *P. verticalis* presentó su máximo reproductivo durante el verano-otoño en la zona norte (Fig. 9a) y durante el invierno en la zona sur (Fig. 9b).

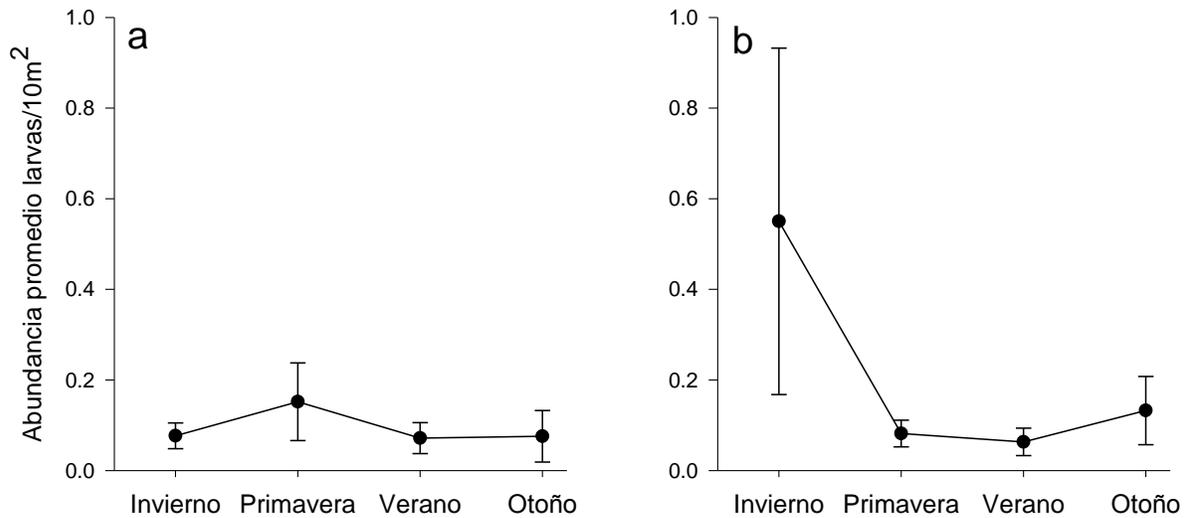


Figura 8. Abundancia promedio de larvas de *P. californicus* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

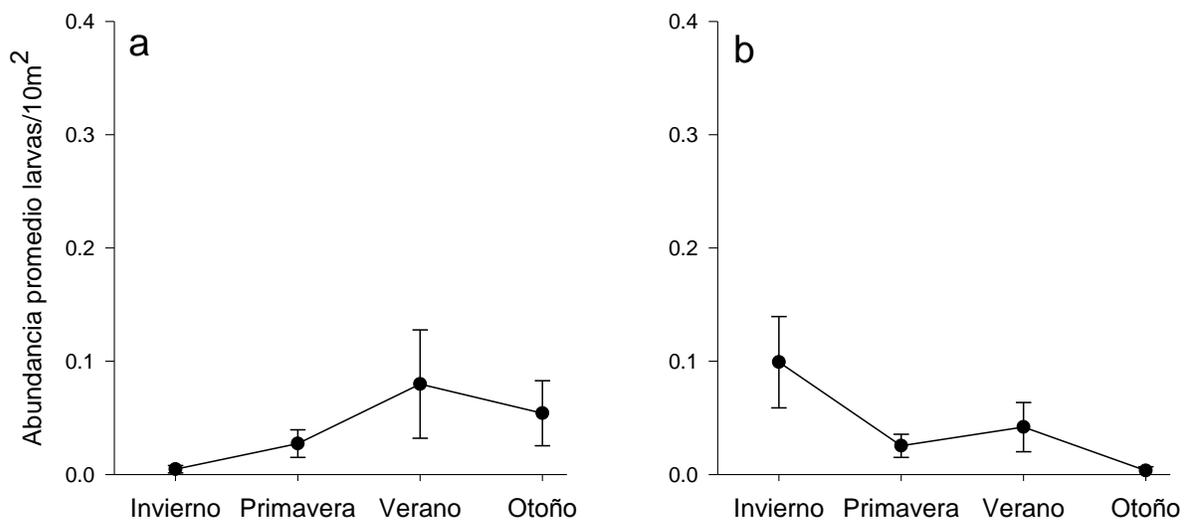


Figura 9. Abundancia promedio de larvas de *P. verticalis* en la zona norte (a) y sur (b) de la red de muestreo IMECOCAL (ver Fig. 1) para cada estación del año durante el periodo 1951-2002.

7.3 Áreas reproductivas

Las larvas de *E. mordax* mostraron un patrón de distribución paralelo a la línea de costa durante la fase 1951-1978 en las regiones norte y sur de la Península. Durante el periodo 1998-2002, el patrón general de distribución en la zona norte fue perpendicular a la línea de costa mientras que en la zona sur la distribución fue heterogéneo; además, se observaron cambios relacionados con la abundancia de esta especie para ambas zonas (Fig. 10). En el caso de *S. sagax* se observó una mayor abundancia en la zona sur durante la fase fría del régimen. El patrón general de distribución mostró una tendencia costera durante 1951-1978 y no fue claro durante 1998-2002 (Fig. 11).

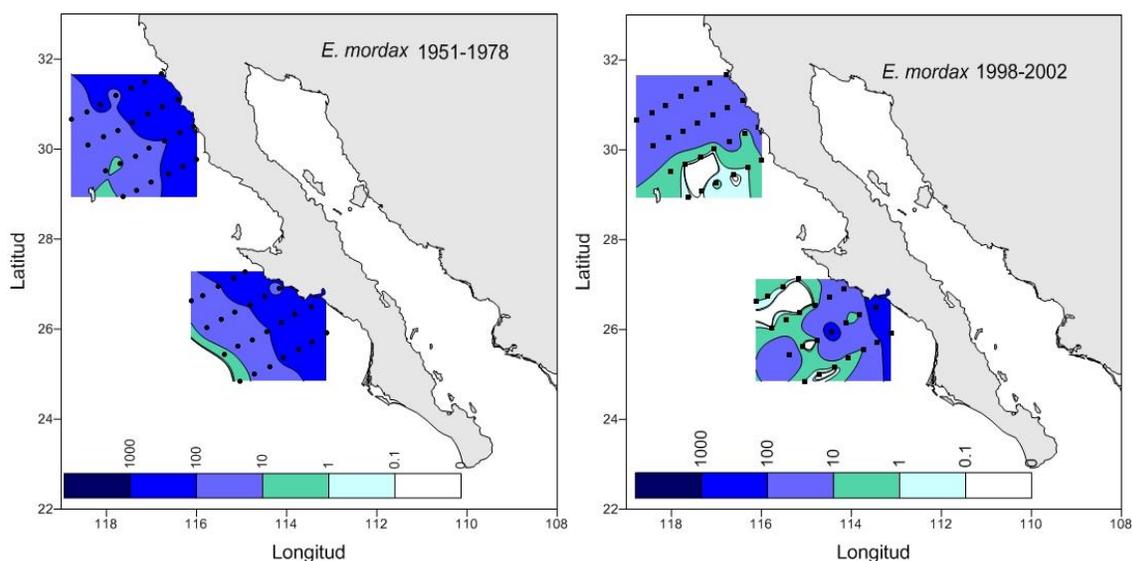


Figura 10. Distribución de larvas de *E. mordax* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

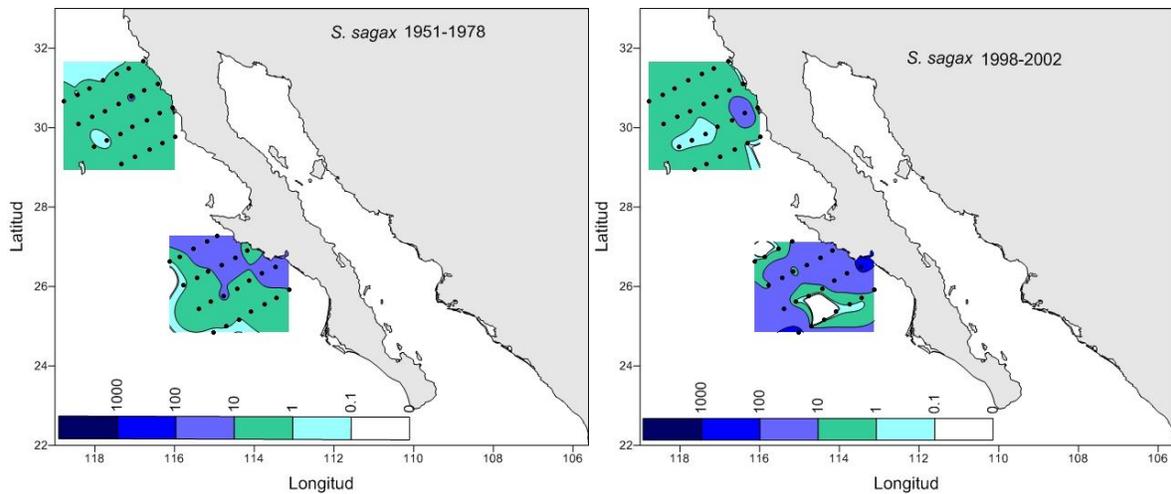


Figura 11. Distribución de larvas de *S. sagax* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

En el caso de los peces mesopelágicos, las larvas de *H. atratum* en 1951-1978 mostraron una tendencia mayormente oceánica, y una clara disminución de la abundancia en las estaciones norteñas (Fig. 12). En el periodo 1998-2002, se observó una mayor abundancia de esta especie y una distribución homogénea en la zona sur, lo cual puede ser un reflejo del efecto de El Niño 1998. Las larvas de *T. mexicanus* presentaron una distribución homogénea en las dos zonas, durante la fase fría del régimen climático (Fig. 13).

La distribución de *V. lucetia* presentó una tendencia oceánica, sin embargo en el periodo correspondiente a 1998-2002 se observó una mayor abundancia de esta especie en la zona norte y sur, lo cual es reflejo de El Niño reportado para 1998 (Fig. 14). En general los mesopelágicos presentaron una mayor abundancia durante la fase fría del régimen climático en la zona sur de la Península de Baja California.

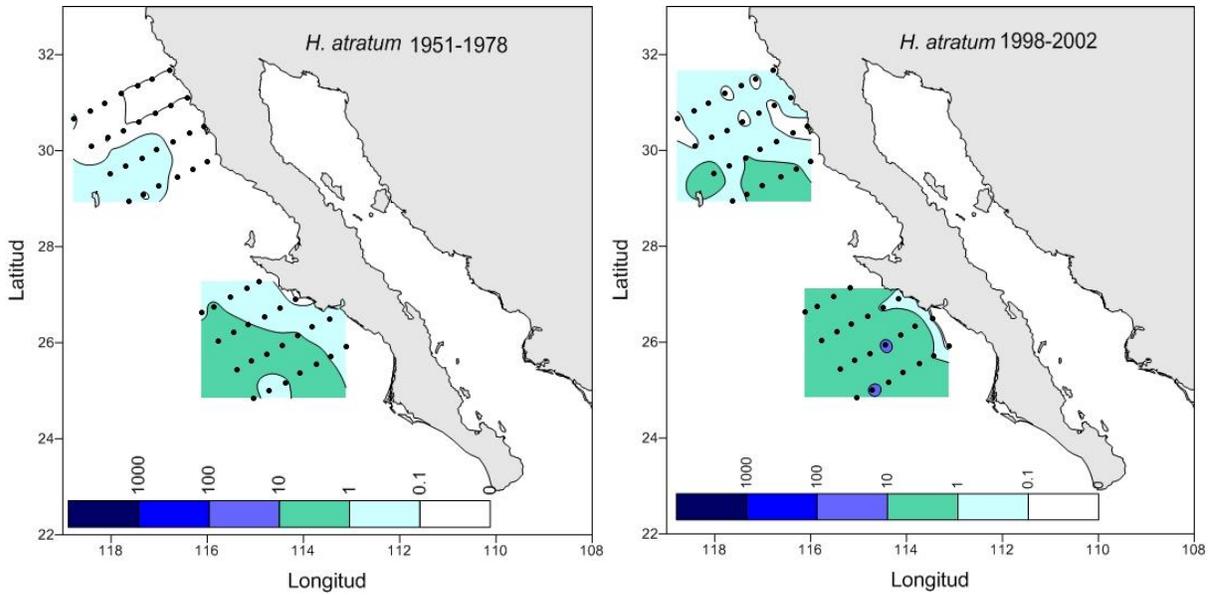


Figura 12. Distribución de larvas de *H. atratum* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

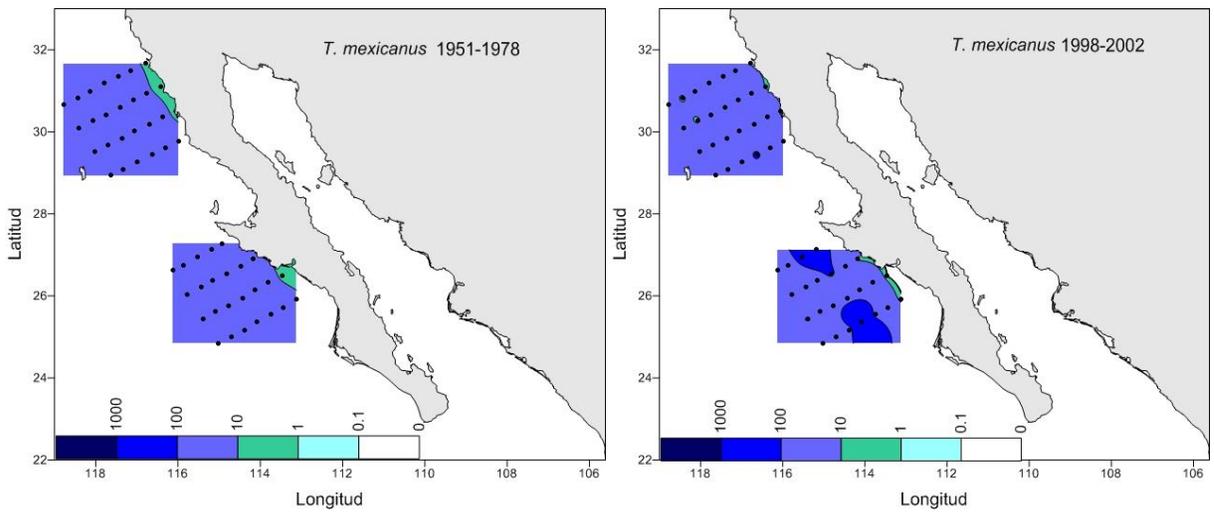


Figura 13. Distribución de larvas de *T. mexicanus* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

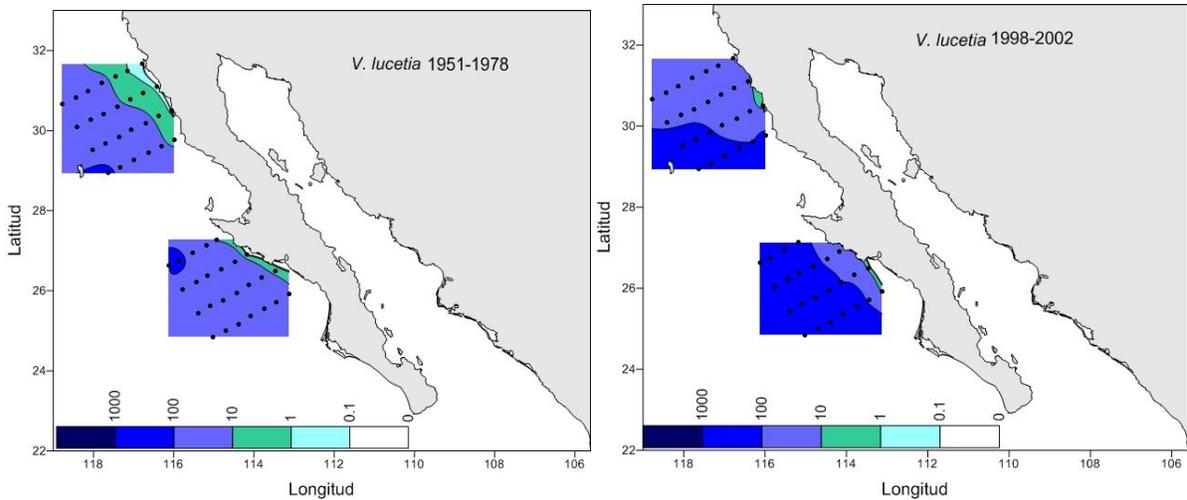


Figura 14. Distribución de larvas de *V. lucetia* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978 y 1998-2002. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

El patrón de distribución de larvas de peces demersales durante 1951-1978 mostró una tendencia oceánica-costera, tanto para *P. californicus* como para *P. verticalis* (Fig.15). No fue posible observar el patrón de distribución correspondiente 1998-2002 debido a que la abundancia durante este periodo fue muy baja y no permite distinguir ningún patrón espacial.

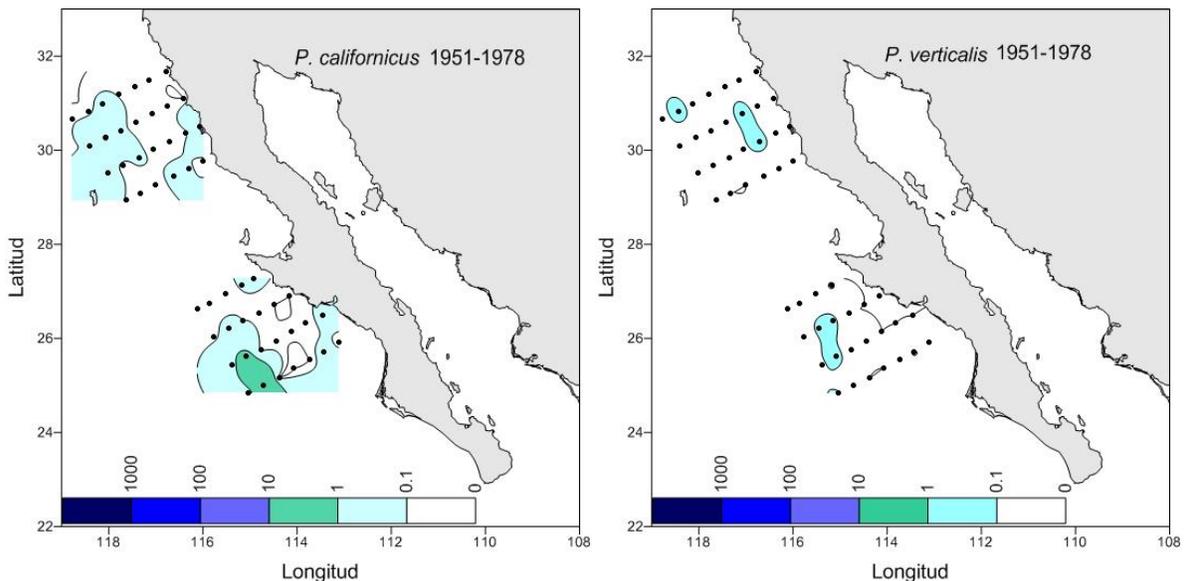


Figura 15. Distribución de larvas de *P. californicus* y *P. verticalis* en la región sur de la Península de Baja California durante 1951-1978. Los valores de abundancia son los promedios calculados en cada estación. La escala está expresada en número de larvas en 10m² de superficie marina.

7.4 Variación de la abundancia de las especies y su relación con los índices climáticos en la zona norte durante el periodo 1951-2002

En el análisis de correlación entre los índices climáticos con la abundancia de las especies indicadoras, se encontró que *E. mordax*, *H. atratum*, *V. lucetia* y *T. mexicanus* están relacionados con todos los índices excepto con el índice de surgencia. Por otro lado, no se obtuvieron correlaciones significativas, entre la abundancia de *S. sagax*, *P. californicus* y *P. verticalis* con alguno de los índices (Tabla 3). Para realizar los gráficos de correlación se tuvo en cuenta el valor más alto de R en los casos en los que una especie presentó correlación significativa con varios de los índices.

Tabla 3. Correlación de Spearman entre la abundancia de las siete especies de larvas de peces y los índices climáticos comprendidos en el periodo 1951-2002 para la zona norte. Las negritas indican el valor más alto de R obtenido.

Variables	NPI		MEI		PDO		NPGO		UI_NO	
	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p
<i>E. mordax</i>	-0.53	0.004	0.50	0.008	0.54	0.004	0.59	0.001	-0.32	0.102
<i>S. sagax</i>	-0.09	0.655	0.02	0.914	0.05	0.781	0.01	0.959	0.41	0.036
<i>H. atratum</i>	-0.93	0.000	0.95	0.000	0.97	0.000	0.95	0.000	-0.18	0.356
<i>T. mexicanus</i>	-0.77	0.000	0.78	0.000	0.78	0.000	0.79	0.000	-0.42	0.031
<i>V. lucetia</i>	-0.89	0.000	0.93	0.000	0.95	0.000	0.92	0.000	-0.20	0.309
<i>P. californicus</i>	-0.02	0.919	-0.12	0.559	-0.06	0.763	-0.07	0.726	0.07	0.723
<i>P. verticalis</i>	-0.29	0.138	0.16	0.418	0.21	0.296	0.23	0.239	-0.41	0.035

La variación de la tendencia de abundancia de especies epipelágicas en la zona norte, entre 1951-2002 (Fig. 16) sugiere que la densidad de larvas de *E. mordax* disminuyó entre 1951-1975 (fase fría del régimen) tuvo una tendencia positiva durante el inicio de la fase cálida del régimen a partir de 1975 hasta 1981 y se mantuvo encima de la media entre 1998 y 2002. Por otro lado también es notable la correspondencia entre los patrones de abundancia de *E. mordax* y el índice NPGO (Fig. 16a). En el caso de *S. sagax* la tendencia se mantuvo por encima del valor promedio desde 1951 hasta 1965. Sin embargo, entre 1966 y 1980 la abundancia disminuyó (Fig. 16b) mientras que de 1998-2002 se observó una tendencia positiva.

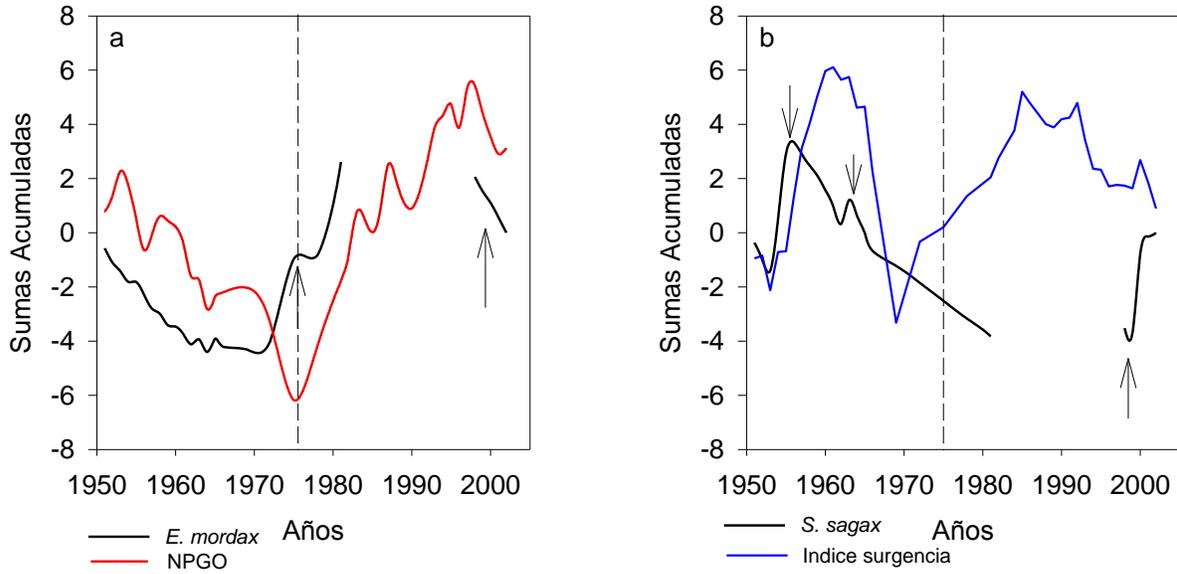


Figura 16. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) *E. mordax* y (b) *S. sagax* en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondiente al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

Los mesopelágicos *H. atratum* y *V. lucetia* en la zona norte, presentaron un patrón similar entre ellos, ya que la abundancia tuvo una tendencia negativa hasta 1998 (Figs. 17a y b). Por otro lado *T. mexicanus* mostró una tendencia negativa durante toda la fase fría del régimen (1951-1976) y esta tendencia se mantuvo de 1998 hasta 2002 (Fig. 17c).

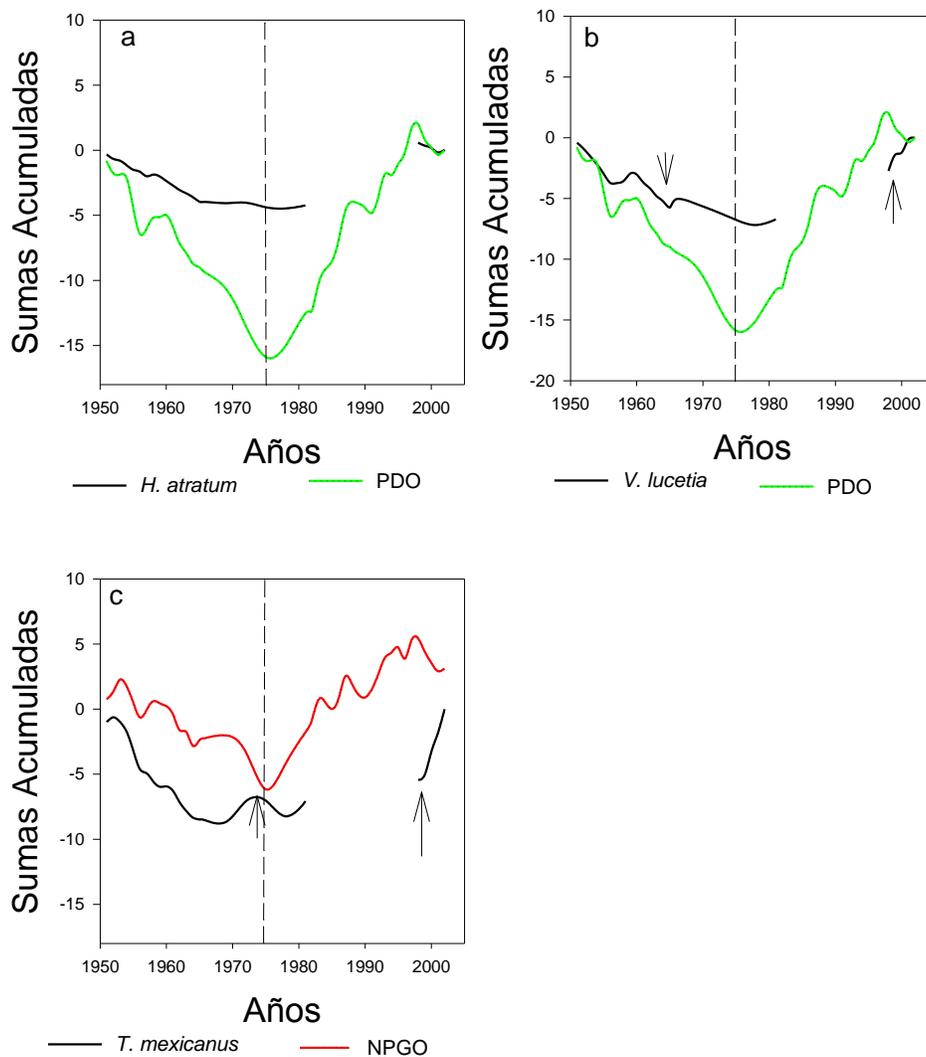


Figura 17. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas (a) *H. atratum*, (b) *V. lucetia* y (c) *T. mexicana* en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondientes al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

Las especies demersales en la zona norte reflejaron un patrón particular ya que *P. californicus* y *P. verticalis* no se correlacionaron significativamente con ninguno de los índices climáticos (Figs. 18a y 18b). En cuanto a *P. californicus*, mostró una abundancia baja con respecto a su valor promedio entre 1951 y 1962; a partir de este año la tendencia es positiva, similar al patrón que se observó entre 1998 al 2002 (Fig. 18a). La especie *P. verticalis* presentó una tendencia negativa durante el periodo 1951-1974, con un aumento de la abundancia a partir de 1975, el cual perduró hasta

el periodo 1998-2002, donde es posible discernir una disminución de la abundancia (Fig. 18b).

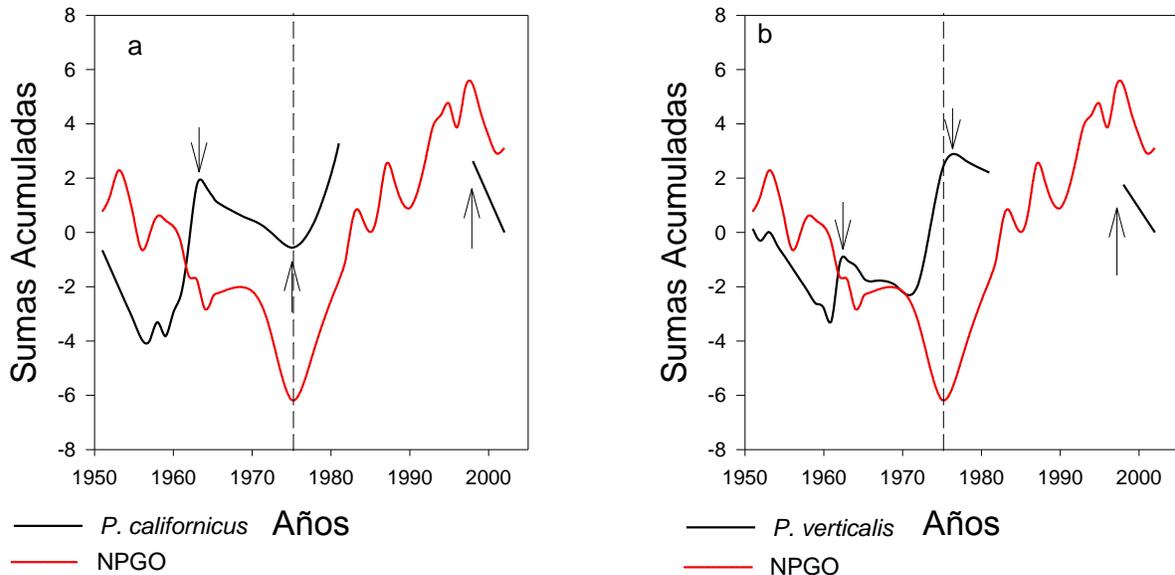


Figura 18. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) *P. californicus* y (b) *P. verticalis* en la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) correspondientes al periodo 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

La correlación entre los índices climáticos y las especies objetivo en la zona sur, indicó que el UI se correlacionó significativamente con tres de las siete especies analizadas (*E. mordax*, *P. californicus* y *P. verticalis*). Las especies mesopelágicas se correlacionaron significativamente con la mayoría de índices, sin embargo no se encontró relación con el índice de surgencia. *H. atratum* y *V. lucetia* exhibieron el valor de R más alto con el índice MEI, mientras que *T. mexicanus* presentó la correlación más alta con el índice del NPI (Tabla 4). La especie epipelágica *S. sagax* no presentó correlación significativa con ninguno de los índices empleados (Tabla 4).

Tabla 4. Correlación de Spermán entre los datos de abundancia de las especies objetivo y los índices climáticos comprendidos entre 1951-2002 para la zona sur. Las negritas indican el valor más alto de R obtenido.

Variables	NPI		MEI		PDO		NPGO		UI_SUR	
	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p
<i>E. mordax</i>	0.29	0.139	-0.42	0.030	-0.43	0.027	-0.42	0.029	-0.54	0.004
<i>S. sagax</i>	-0.15	0.441	0.19	0.334	0.15	0.464	0.14	0.493	0.48	0.011
<i>H. atratum</i>	-0.84	0.000	0.85	0.000	0.84	0.000	0.82	0.000	-0.24	0.230
<i>T. mexicanus</i>	-0.57	0.002	0.55	0.003	0.52	0.005	0.52	0.005	-0.13	0.504
<i>V. lucetia</i>	-0.81	0.000	0.83	0.000	0.79	0.000	0.79	0.000	-0.16	0.428
<i>P. californicus</i>	0.27	0.167	-0.33	0.091	-0.34	0.086	-0.34	0.087	-0.64	0.000
<i>P. verticalis</i>	-0.21	0.289	0.14	0.491	0.12	0.536	0.12	0.532	-0.77	0.000

Las especies epipelágicas en la zona sur, exhibieron la misma tendencia que en la zona norte, aunque en la zona sur el cambio en la tendencia se observó antes de 1963. En estos resultados se evidenció un patrón inverso y asincrónico entre la variación en la abundancia de *S. sagax* y *E. mordax* (Figs. 19a y b).

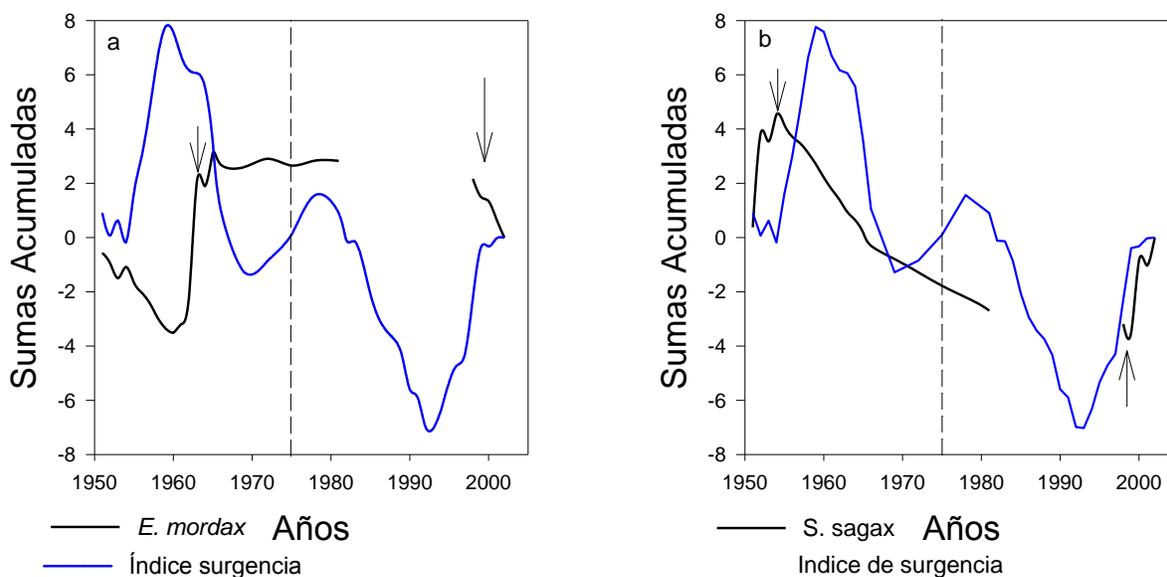


Figura 19. Tendencia observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de (a) *E. mordax* y (b) *S. sagax* en la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2000. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

Las especies mesopelágicas (Figs. 20a, b y c) básicamente tienen la misma tendencia negativa que se observó en la zona norte durante los periodos 1951-1975 y 1998-2002. Las especies mesopelágicas *H. atratum* y *V. lucetia* se correlacionaron significativamente con el MEI, mientras que *T. mexicanus* tuvo el mayor valor de correlación con el NPI. Las especies demersales *P. californicus* y *P. verticalis* en la zona sur, exhibieron un cambio en la abundancia hacia 1962 (Figs. 21a y b) y se correlacionaron negativamente con el UI.

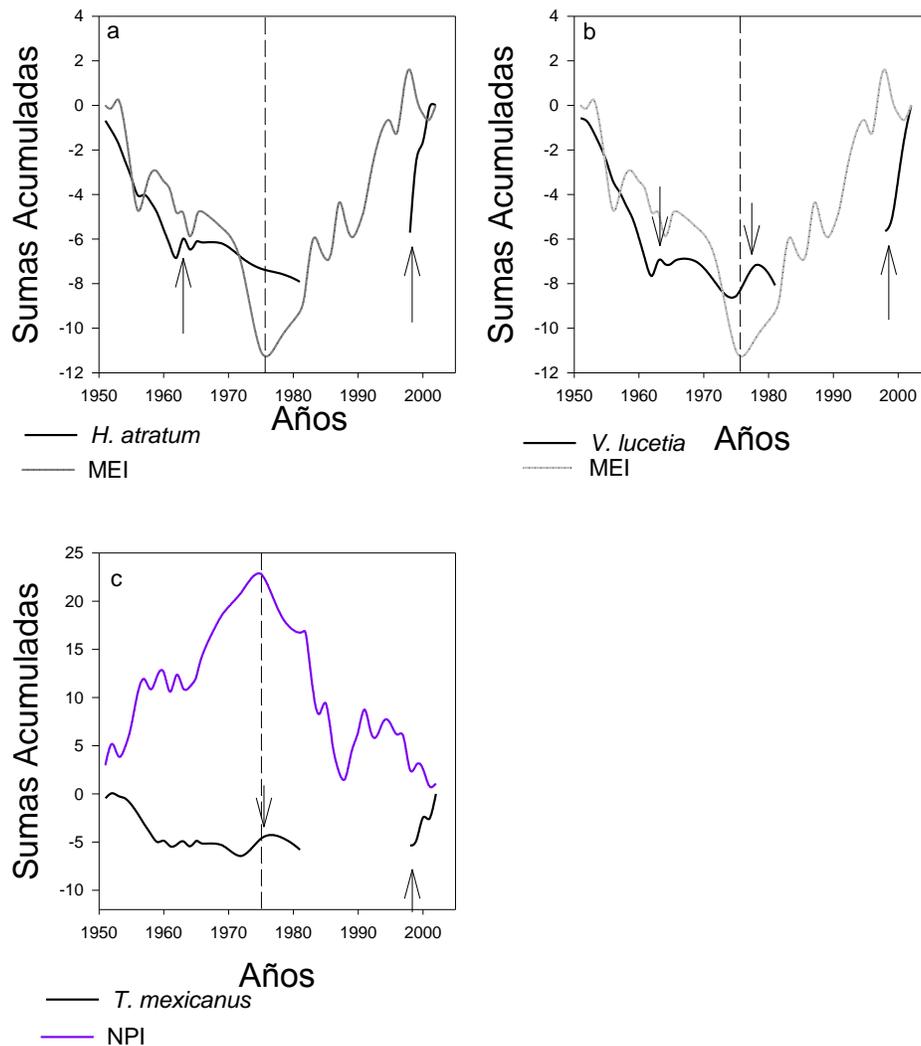


Figura 20. Tendencias observadas en las sumas acumuladas de la abundancia de larvas de peces mesopelágicos (a) *H. atratum* (b) *V. lucetia* y (c) *T. mexicanus* en la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951-2002. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

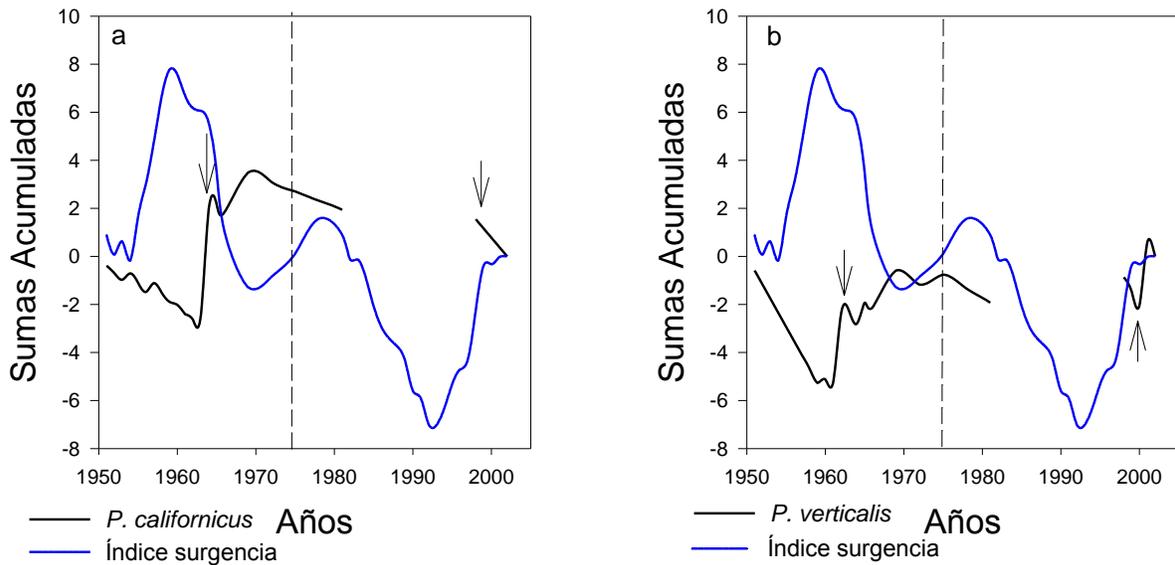


Figura 21. Tendencia observada en las sumas acumuladas de la abundancia de las especies de peces demersales (a) *P. californicus* y (b) *P. verticalis*. Las flechas indican cambios destacados en las tendencias.

7.5 Variables Oceanográficas

Temperatura superficial provincias norte y sur 1950-2010

El análisis de las anomalías de la temperatura superficial del mar mostró el patrón general que se ha documentado con respecto al cambio de régimen. Entre 1950 y 1975 se observó una tendencia al enfriamiento, misma que se revirtió a calentamiento a partir de 1977 y perduró hasta 1998. Se destaca en ambas fases la presencia de eventos de variabilidad interanual (Fig. 22).

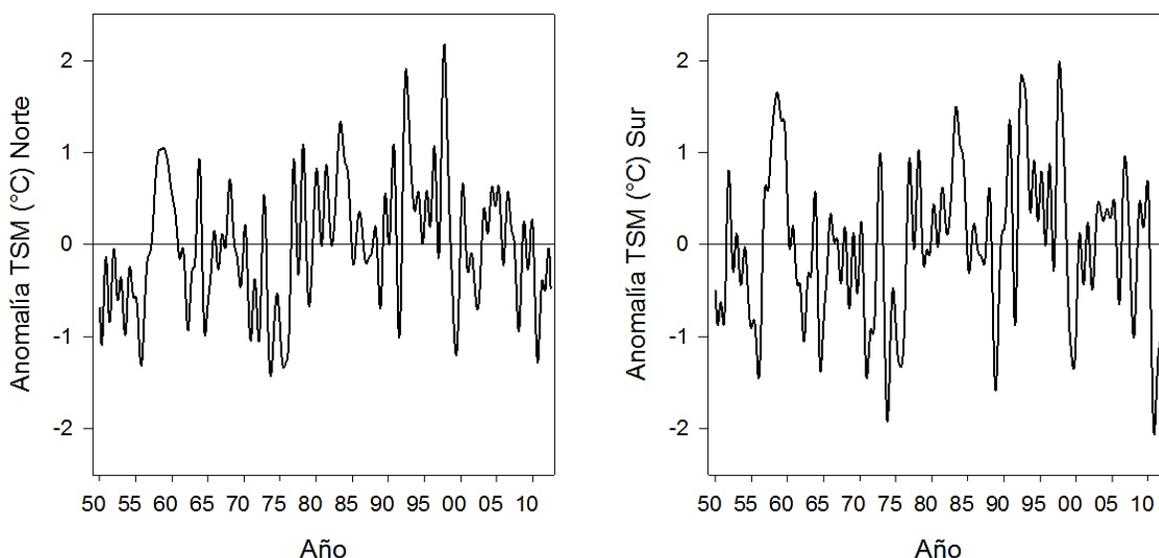


Figura 22. Anomalías mensuales de temperatura superficial en las zonas norte y sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) desde enero de 1950 hasta julio de 2012. Obtenidas de Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) y del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data SET (ICOADS).

7.6 Spiciness Vs Especies

El análisis de componentes principales realizado para la zona norte indicó que los tres primeros componentes explicaron 67 % de la variabilidad (C1= 32%; C2= 20%; C3= 15%). El análisis de los vectores propios indicó que *E. mordax* fue la especie que más contribuyó en el eje uno (-0.72) mientras que *S. sagax* (0.67) fue la especie que más aportó en el eje dos. En el plano generado por la primera y segunda componentes, se observó que las especies mesopelágicas se asociaron con años cálidos y que las especies demersales y *E. mordax* se asociaron con años fríos

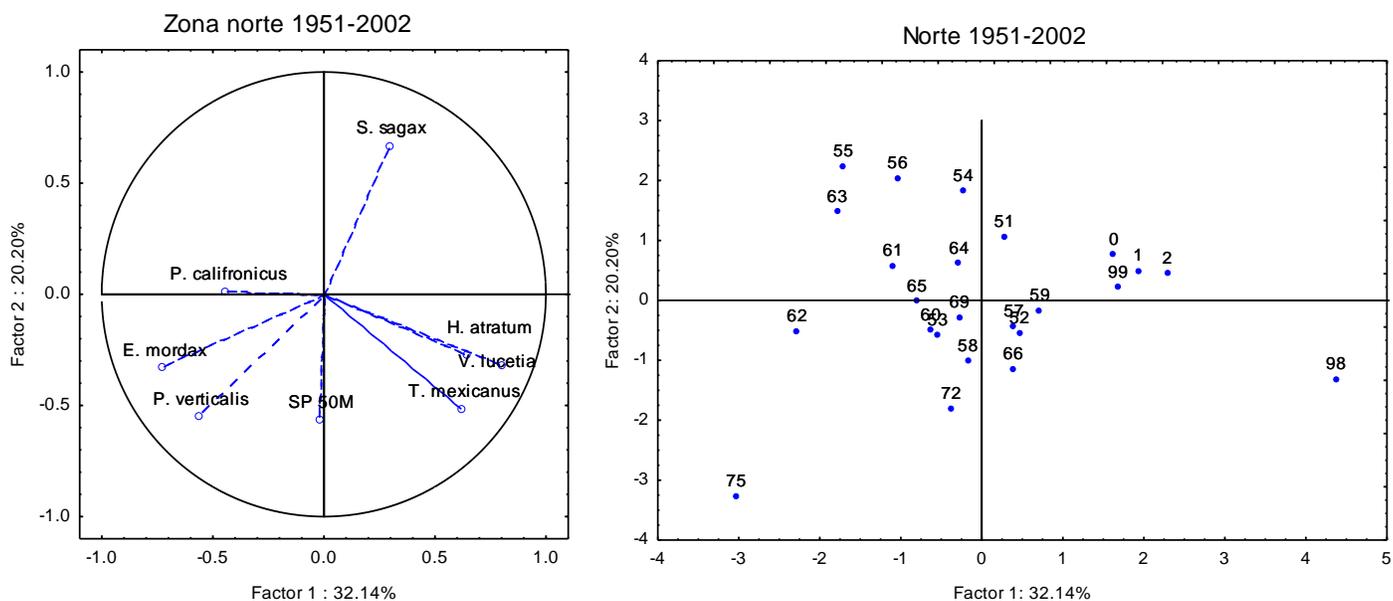


Figura 23. Representación del análisis de componentes principales; considerando la abundancia de las especies y la variable spiciness en el plano generado por las componentes 1 y 2. En la zona norte de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951- 2002

En la zona sur, los tres primeros componentes explicaron el 71% de la variabilidad (C1=36%; C2=20; C3=15%). El análisis de los vectores propios indicó que *V. lucetia* fue la especie que más contribuyó en el eje uno (0.90) mientras que, *P. verticalis* (-0.65) fue la especie que más aportó en el eje dos. En el plano generado por la primera y segunda componentes, se observó que las especies mesopelágicas y el epipelágico *S. sagax* se asociaron con años cálidos y las especies demersales y *E. mordax* se asociaron con años fríos.

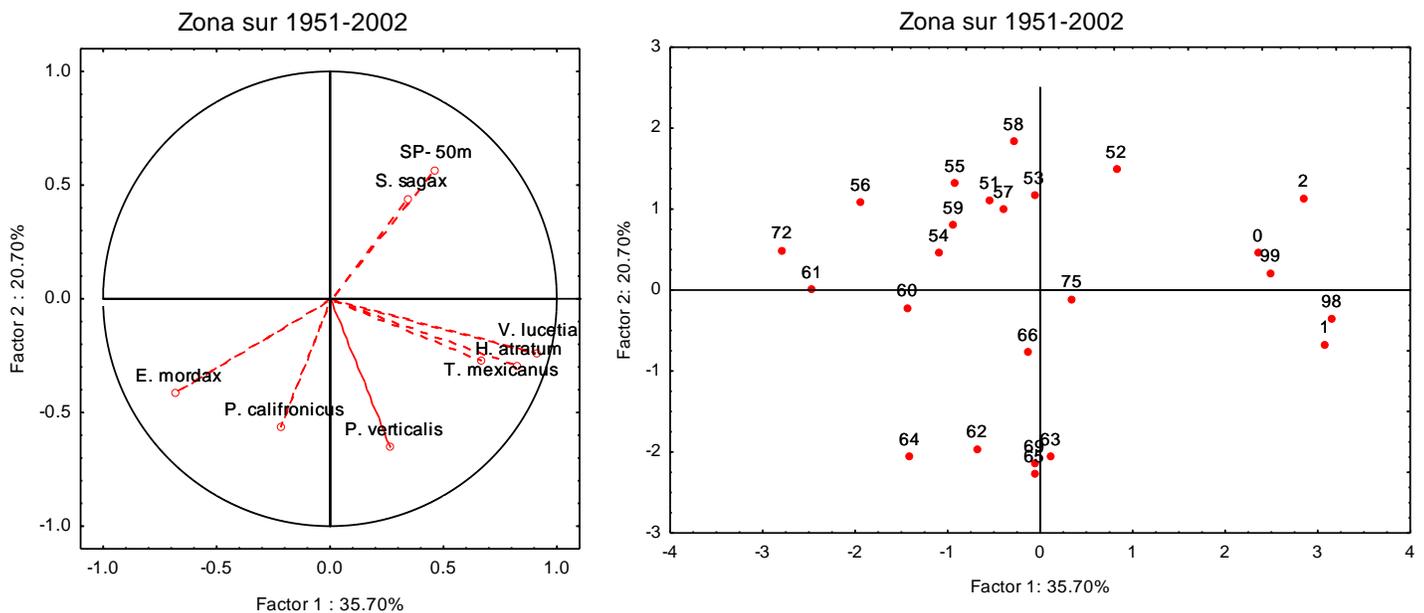


Figura 24. Representación del análisis de componentes principales; considerando la abundancia de las especies y la variable spiciness en el plano generado por las componentes 1 y 2. En la zona sur de la región IMECOCAL (ver Fig. 2) entre 1951- 2002

8. DISCUSIÓN

8.1 Especies indicadoras

Se define un indicador de un ecosistema como un elemento, proceso o propiedad del mismo a través del cual se puede cuantificar y/o estudiar de manera precisa y sencilla su funcionamiento (Isasi-Catalá, 2011). Los indicadores ofrecen información sobre condiciones ambientales y su medida hace perceptible una tendencia o fenómeno que de otra forma no es detectable inmediatamente (Niemeijer 2002). En este sentido, se ha definido una especie indicadora como aquella que por sus características (sensibilidad, distribución, abundancia, dispersión éxito reproductivo) puede ser utilizada como estimadora de los atributos o estatus de otras especies o condiciones ambientales (Caro & O’doherly 1999, Isasi-Catalá 2011).

En el ambiente pelágico, se han nominado indicadores biológicos a los mamíferos y aves marinas, peces e invertebrados. Estos indicadores han sido empleados para identificar ambientes o fenómenos oceanográficos, principalmente con base en la biogeografía de las especies, se ha documentado las relaciones entre distribución de hábitat y abundancia local (Jiménez-Rosenberg & Aceves-Medina 2009). Se han propuesto como características de indicadores biológicos a los estrechos límites de tolerancia a variables ambientales, captura e identificación taxonómica relativamente fácil, registros de presencia/ausencia, abundancia poblacional alta. En sentido contrario, en especies raras la escasa abundancia y distribución geográfica restringida se consideran atributos de indicadores biológicos (Caro & O'doherty 1999, Jiménez-Rosenberg & Aceves-Medina 2009, Isasi-Catalá 2011).

Los siete tipos de larvas de peces que se utilizaron en la presente investigación, pertenecen a especies de tres hábitats diferentes (epipelágico, mesopelagico y demersal). Aunque se han utilizado algunos de estos como organismos en estudios de variaciones estacionales o interanuales. No se ha establecido su uso, como organismos indicadores de eventos de baja frecuencia

Estas especies fueron seleccionadas como potenciales indicadoras de procesos de gran escala, bajo el supuesto que las asociaciones de larvas de peces son indicadoras de las estrategias reproductivas de los adultos (Jiménez-Rosenberg & Aceves-Medina, 2009), además son útiles para definir fronteras entre comunidades y regiones faunísticas; dado que presentan una distribución más restringida que los adultos ya que los sitios de desove suceden en intervalos ambientales más estrechos y generalmente están sujetas a procesos hidrográficos de concentración y retención.

Los ecosistemas pelágicos marinos varían en respuesta a cambios climáticos de meso y macroescala. En particular se ha probado que el plancton es un indicador biológico útil debido a que la mayoría de los organismos planctónicos crecen rápidamente con tiempos generacionales relativamente cortos, por tanto son resistentes incluso a cambios radicales en el océano (Bratkovich 1988). Además la fase planctónica de las larvas de peces es particularmente sensible a los cambios ambientales y se considera como el estadio más crítico en el éxito del reclutamiento

de los peces (Hjört, 1914). Al considerar estos antecedentes, las larvas de siete especies de peces utilizadas en este estudio cumplirían con este supuesto al ser parte del zooplancton.

En cuanto al supuesto de los límites de tolerancia estrechos con respecto a algunas propiedades de las masas de agua, se ha documentado que los mesopelágicos *V. lucretia*, y *T. mexicanus* son de afinidad subtropical. La presencia de *H. atratum* fuera de su rango promedio de distribución hacia el norte, se han relacionado con la presencia de eventos El Niño (Aceves-Medina *et al.* 2004, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010, Funes-Rodríguez *et al.* 1995, 2006, 2011). De forma inversa, incrementos en abundancia de especies pelágico-costeras como *S. sagax* y *E. mordax* parecen indicar la presencia estacional de centros de surgencia, o incluso parecen estar asociadas con la presencia de eventos de enfriamiento como es el caso de La Niña (Funes-Rodríguez *et al.* 2010).

En cuanto a las especies demersales, *P. californicus* se ha asociado a aguas subtropicales y aguas cálidas costeras (Moser & Watson 1990), mientras que *P. verticalis* es de afinidad subtropical. Sin embargo, son poco los estudios en los que se relacionan con variables ambientales o masas de agua, ya que los estudios suelen centrarse en las especies pelágico costeras de interés comercial. Entre los pocos estudios se encuentran los de Funes *et al.* (2002) y Watson *et al.* (2002) en donde se observó una relación directa de la distribución y abundancia de *P. californicus* con eventos El Niño.

Moser *et al.* (1993) realizaron un estudio sobre la distribución y abundancia de huevos y larvas en la Corriente de California de 1951-1984, en este trabajo ellos resumen la distribución espacial y temporal de 110 taxones de peces colectados en los cruceros CalCOFI. También realizaron una descripción de la variación en la abundancia (numero por 10m²) anual (1951-1984) y mensual, así como una representación gráfica de la variación en la distribución estacional. Por lo tanto, todas las larvas de las siete especies seleccionadas cumplirían con los supuestos de captura e identificación relativamente fácil, abundancia poblacional alta, registros de

presencia/ausencia e información sobre los cambios en la abundancia en las poblaciones locales.

Al considerar lo hasta aquí expuesto, se puede inferir que las especies epipelágicas *E. mordax*, *S. sagax*, las mesopelágicas *T. mexicanus*, *V. lucetia*, *H. atratum*, y las especies demersales *P. californicus* y *P. verticalis* cumplen con la mayoría de los requisitos establecidos para ser consideradas especies indicadoras de cambios ambientales de distinta frecuencia, incluyendo la escala del régimen (Moser *et al.* 1987, Moser & Smith 1993, Funes-Rodríguez *et al.* 1993, 1995, 2006, 2010, 2011, Aceves-Medina *et al.* 2004, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010). De hecho, a nivel de adultos, *E. mordax* y *S. sagax* se han asociado con la fase fría y cálida del régimen climático, respectivamente (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1992, Schwartzlose *et al.* 1999, Chávez *et al.* 2003, Takasuka *et al.* 2008, McFarlane & MacDougall 2000, Zwolinski & Demer 2012).

A nivel de larvas, sin embargo, el efecto de los ciclos climáticos de baja frecuencia ha sido escasamente documentado. Hsieh *et al.* (2008, 2009) reportaron cambios significativos en la abundancia de las especies mesopelágicas *T. mexicanus* y *V. lucetia*, los demersales *P. californicus* y *P. verticalis* y del epipelágico *S. sagax* durante la fase fría (1951-1976) y cálida (1977-1998) del régimen. Koslow *et al.* (2013) analizaron datos de ictioplancton (1951-2008) consideraron 86 taxones y *T. mexicanus*, *V. lucetia*, *E. mordax* y *S. sagax* mostraron estar fuertemente influenciadas por forzamientos ambientales.

Es importante resaltar que estos estudios sobre cambio de régimen en larvas de peces se han desarrollado solo para la región CalCOFI. Hasta ahora se desconoce los efectos de las variaciones a nivel de régimen en larvas de peces en la porción más sureña del Sistema de la Corriente de California. Por lo tanto la información obtenida sobre las siete especies, sirvió como criterio de selección, los antecedentes demostraron que *E. mordax*, *S. sagax*, *H. atratum*, *T. mexicanus* y *V. lucetia* podrían ser consideradas utilizables como organismos indicadores de variaciones de baja frecuencia. Sin embargo se hace imperativo realizar otros

análisis relacionados con: áreas y periodos reproductivos, así como definir el grado de relación entre la abundancia de las especies con los índices climáticos. Con el fin de demostrar la utilidad de estas especies como indicadores de cambios de baja frecuencia.

8.2 Áreas y periodos reproductivos

Al considerar que para los peces, los cambios en el ambiente repercuten en su abundancia y distribución debido a que las condiciones ambientales modulan su tasa de supervivencia, crecimiento, reproducción y migración (Hsieh *et al.* 2009) es importante establecer las zonas y periodos reproductivos de las especies seleccionadas y considerar la escala temporal y espacial. De esta forma los patrones de abundancia permiten inferir el efecto de un enfriamiento sostenido de la temperatura sobre procesos reproductivos, y dan una idea de cómo podría ser el comportamiento del ecosistema en sus niveles tróficos basales al presentarse una variación de largo plazo.

Para el caso de las especies epipelágicas, los resultados sugieren que *E. mordax* presentó un máximo reproductivo en la zona norte durante el invierno y se extendió hasta la primavera. Con respecto a la zona sur, el máximo reproductivo se observó sólo durante el invierno. Este resultado coincide con lo reportado por Lasker & Smith (1977), Moser & Smith (1993). Existe consenso en cuanto a que aunque en la zona de estudio hay presencia de larvas de esta especie durante todo el año; si bien la principal temporada de reproducción de *E. mordax* es en invierno, ocurren eventos importantes de reproducción hasta la primavera, después el número de larvas desciende a sus mínimos valores en verano y otoño.

Lluch-Belda *et al.* (1991) encontraron que la anchoveta, en efecto, presenta dos pulsos de máximo desove, el menor se localiza a niveles bajos de surgencia y el más importante ocurre a niveles máximos de surgencia. La especie en esta zona restringe sus desoves a intervalos de temperatura entre 11.5°C y 16.5°C. En el caso de *S. sagax*, Allen *et al.* (1990) reportaron que esta especie puede reproducirse a lo largo

de todo el año, aunque la mayor actividad se presenta de enero-agosto entre San Francisco (USA) y Bahía Magdalena (México).

Por otro lado Hernández-Vázquez (1994) menciona que la reproducción de *S. sagax* ocurre de febrero a agosto con un pico en abril y mayo en el sur de California. Lo reportado en la literatura coincide con lo encontrado en este estudio, en donde *S. sagax* se mantiene durante todo el año en la zona de estudio, presentó un máximo reproductivo durante la primavera en la zona norte, el patrón en la zona sur se observó hasta el invierno. Lluch-Belda *et al.* (1991) definieron a la sardina del Pacífico como una especie euritérmica que desova a niveles intermedios de surgencia, mientras que Torres-Villegas *et al.* (1995) reportaron que el evento reproductivo para esta especie ocurre en un amplio intervalo de temperatura (16°-27°C).

Esta tendencia de máximo desove durante la primavera se encuentra ligada a las condiciones físicas, ya que durante esta época se presentan surgencias que afectan de manera significativa la circulación regional y local, la estabilidad y estructura de la termoclina y el intercambio de las masas de agua costera y oceánica, condición que favorece una alta productividad biológica (Schwing *et al.* 2000). Tal condición aparentemente es aprovechada por esta especie para mantener sus máximos reproductivos. Cabe destacar que las larvas de las especies epipelágicas, aunque presentaron variaciones estacionales, en general exhibieron patrones similares entre las zonas norte y sur de la Península de Baja California con respecto a los periodos reproductivos de los adultos.

En cuanto a la abundancia y el patrón de distribución de sardina y anchoveta es evidente que estas especies fueron mayor en la zona sur, lo que coincide con lo publicado por Lluch-Belda *et al.* (1991). Al considerar que la sardina y la anchoveta son especies subtropicales, al parecer la zona sur presenta condiciones óptimas para el desarrollo de sus estadios larvales, ya que existe un flujo más intenso de la Corriente de California durante la primavera, pero el resto del año se presenta como un provincia tropical y subtropical (Durazo *et al.* 2010).

Adicional se encuentran las surgencias, cuya actividad es más intensa y por periodos mayores en la zona correspondiente a Punta Eugenia, asimismo la estructura de la línea de costa permite la formación de frentes y giros, donde los niveles de estratificación son mayores por lo que la producción está asociada a la batimetría (Mann & Lazier 1996). Factores que al parecer favorecerían la permanencia de los estadios larvales en la zona sur.

La mayor abundancia de larvas de ambas especies podría estar vinculada a la cercanía de Punta Eugenia como centro de actividad biológica. Algunos estudios reconocen a la parte central de Baja California como la segunda aérea en importancia en desove de anchoveta (Hernández-Rivas *et al.* 2000). Kramer & Smith (1971) observaron que en la región de Punta Eugenia hay centros de desove importantes de sardina del mismo modo Lluch-Belda *et al.* (1991) proponen a Bahía Sebastián de Vizcaíno y Punta Eugenia como la mayor región de supervivencia de sardina, y además sugieren que estas son zonas de refugio para las poblaciones de sardina durante periodos adversos, debido a la alta productividad que se mantiene a través de todo el año.

En el caso de los mesopelágicos, Moser *et al.* (1987) reportó que *H. atratum* es una especie que presenta un desove bimodal (enero-agosto) y, Moser *et al.* (1993) reportaron tres épocas de mayor abundancia: invierno, verano y otoño, principalmente este último. Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que esta especie se presenta durante todo el año. Sin embargo difieren en cuanto a que el mayor pico reproductivo se presentó en el invierno (y otro de menor intensidad en verano).

Tal vez el desfase de los máximos reproductivos esté relacionado al periodo que se analiza en cada trabajo. Estas diferencias también podrían deberse a la separación de los datos en zonas norte y sur, las cuales permitieron identificar las variaciones en estas dos zonas relacionadas con la abundancia y el patrón de distribución. Durante el periodo 1951-2002 esta especie se encontró distribuida mayormente en la zona sur, se puede inferir que durante la fase fría del régimen la

zona norte de la Península de Baja California representaría el límite de distribución para esta especie.

El patrón de distribución observado para esta especie, es consecuente al considerar la afinidad térmica. Aceves-Medina (2003) halló que *H. atratum* parece incrementar su abundancia, con el aumento de la temperatura superficial, aunque las larvas están presentes desde los 17°C hasta los 28°C, la mayor frecuencia de ocurrencia se encuentra arriba de los 19°C. Adicionalmente Hsieh *et al.* 2009 hallaron cambios significativos en la abundancia de larvas del género *Hygophum*, durante el periodo frío (1951-1976) la abundancia es menor y durante el periodo cálido esta aumenta significativamente.

T. mexicanus es una especie subtropical con una gran abundancia en el sur de la Corriente de California, desova todo el año y su máxima actividad reproductiva se observa en primavera y verano (Ahlstrom 1972). Este mismo patrón se observó en el presente trabajo. La especie se mantiene presente durante todo el año y se reproduce entre primavera y otoño con un máximo en verano, consistente con lo reportado por Moser *et al.* (1987 & 1993) y Aceves- Medina (2003). En el caso de *V. lucetia*, las épocas reproductivas coincidieron con lo reportado por Haro & Esqueda (1989) y Moser *et al.* (1993). Estos autores encontraron la mayor abundancia de larvas durante julio y agosto correspondiente a la época de verano.

Cabe la pena resaltar que aunque durante el periodo analizado el sistema se encontraba en una fase fría, no se observaron cambios en las épocas reproductivas de estos mesopelágicos, esta respuesta puede estar asociada a la estabilidad de la zona en la que habitan, ya que estas especies se encuentran en capas profundas en donde los cambios de temperatura son relativamente pequeños (Hsieh *et al.*, 2009).

En cuanto al patrón de abundancia y distribución *T. mexicanus* no mostró diferencias importantes en las zonas norte y sur, por el contrario *V. lucetia* es más abundante en la zona sur. Estas diferencias en la abundancia de *V. lucetia* entre las zonas, pueden ser debidas al dominio en la zona norte de masas de agua de origen subártico durante todo el año, lo que podría estar restringiendo su permanencia en esta zona.

Por el contrario la zona sur presenta una alternancia entre el dominio subártico y tropical-subtropical, lo que podría favorecer la permanencia de esta especie durante periodos de enfriamiento, al considerar que se han asociado incrementos en la abundancia con influencia de aguas subtropicales (Funes- Rodríguez *et al.* 1995, 2011). Mediante estos resultados se puede inferir que la fase fría del régimen climático, probablemente se expresa de forma diferente en ambas regiones y estas diferencias se reflejan en la abundancia y distribución de larvas de peces.

En el caso de las especies demersales, *P. californicus* presentó dos picos reproductivos distintos en cada zona. En la zona norte se registró en la primavera, y en la zona sur en el invierno. El resultado hallado en la zona norte difiere con lo reportado por Moser *et al.* (1993) quienes registraron la mayor abundancia en invierno, sin embargo, estos autores reportaron un descenso en la abundancia durante la primavera. Moser & Watson (1990) reportaron que esta especie en la zona frente a Baja California presenta tres desoves intensos en febrero, abril y julio y asocian los máximos de abril con la producción de alimento (microzooplancton) el cual debe potenciar el crecimiento y supervivencia de las larvas.

En este trabajo se registraron dos máximos reproductivos de *P. verticalis* aunque también presentó diferencias regionales. En la zona norte el máximo reproductivo se registró durante el verano y en la zona sur durante el invierno. Este resultado coincide con lo encontrado por Moser *et al.* (1993). Las diferencias de abundancia de larvas encontradas entre zonas, sugieren que estas especies de demersales presentan una separación poblacional entre las dos regiones, con máximos reproductivos en la zona norte en primavera-verano y en la zona sur durante el invierno.

Las diferencias observadas en los eventos reproductivo para las especies demersales, al parecer están asociadas con la biología de los organismos. Allen (1990) afirma que algunos individuos de *P. californicus* presentan movimientos ocasionales y pueden llegar a desplazarse una velocidad de 0.42 km. Además de considerar su limitado movimiento y que la fase planctónica de *P. californicus* es relativamente corta, probablemente menos de un mes (Kramer, 1990) se puede

inferir que las especies demersales están siendo directamente afectados por las variaciones ambientales, y la respuesta a estos cambios se está reflejando en los productos del desove (larvas).

Asimismo, las diferencias en los eventos reproductivos pueden estar asociadas a la dinámica física de cada una de las zonas como lo planteó Durazo (2009) y Durazo *et al.* (2010) frente a Punta Eugenia se presentan dos giros ciclónicos, estas estructuras de circulación interrumpen la interconexión hidrodinámica entre las zonas norte y sur del área de estudio, interrupción que al parecer está causando variación en los periodos reproductivos de las especies demersales, favoreciendo la separación poblacional entre las dos regiones.

Los especies demersales *P. californicus* y *P. verticalis* presentaron sus máximos reproductivos en la zona sur, durante el invierno, este resultado es inesperado al considerar que la zona sur durante el invierno y la primavera presenta un mayor dominio de la masa de agua subártica (Durazo *et al.*, 2010) y además se considera que en general una especie con afinidad a aguas cálidas que reside en aguas templadas debe desovar a finales de año cuando la temperatura es más alta (Moser & Watson 1990). Sin embargo estas diferencias podrían estar asociadas a la dinámica del zooplancton y microzooplancton como fuente de alimento, el cual estaría favoreciendo la supervivencia de las larvas.

Hsieh *et al.* (2009) sugieren que durante los periodos de calentamiento se intensifica la estratificación en la columna de agua, condición que puede crear un hábitat adecuado para las especies de peces oceánicos, pero por otro lado es una condición desfavorable para las especies costeras, debido a los cambios en la disponibilidad de alimentos. McGowan *et al.* (2003) argumentan que durante periodos de calentamiento se produce cambios en la fuente y el contenido de nutrientes, dando lugar a la disminución en la producción de fitoplancton, del mismo modo se ha planteado que durante periodos de calentamiento se presenta una disminución en el biovolumen de zooplancton. Al parecer los cambios observados en las especies demersales, son cambios en las estrategias reproductivas, forzadas por las variaciones ambientales.

En general los resultados obtenidos muestran diferencias entre zonas en cuanto a condiciones oceanográficas, los periodos reproductivos, la abundancia y los patrones de distribución de las especies epipelágicas, mesopelágicas y demersales.

8.3 Indicadores biológicos de baja frecuencia y su relación con los índices climáticos.

El índice NPGO mostró una tendencia negativa durante el periodo frío (1951-1975). Específicamente, el NPGO refleja cambios en el estrés del viento, en particular los vientos que fuerzan las surgencias costeras, por lo que se ha sugerido la utilización de este índice como un indicador primario de las surgencias, el flujo de nutrientes y el cambio potencial del ecosistema en la región CalCOFI (Di Lorenzo *et al.* 2008). Las condiciones generales que se presentan durante un periodo de enfriamiento, se han asociado con el crecimiento en las poblaciones de anchoveta (Rykaczewski & Checkley 2008).

En este trabajo se encontró que la correlación entre las larvas de *E. mordax* con el NPGO fue positiva. Adicionalmente, los resultados obtenidos mediante el análisis CUSUM indican que hay una tendencia atípica en las larvas de *E. mordax* en la región norte de la Península de Baja California. La abundancia tiene una tendencia negativa durante 1951-1975, asociada a la fase fría del régimen. Este cambio de abundancia en larvas no coincide con lo documentado para los adultos de *E. mordax*, en el que se reportó un incremento en su abundancia durante los periodos de enfriamiento (Lluch-Belda *et al.* 1992, Chávez *et al.* 2003, Rykaczewski & Checkley 2008). Algunos autores han sugerido utilizar esta especie como organismo indicador de la fase fría del régimen climático (Chávez *et al.* 2003).

Es evidente que el cambio de régimen que se documentó para 1975 se reflejó en la abundancia de larvas de *E. mordax* en la zona norte, pero los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, generan más preguntas sobre la dinámica del ecosistema y la forma como las especies responden a estos cambios climáticos. Por ejemplo ¿por qué el patrón de abundancia observado en larvas es diferente a los adultos incluso al comparar la misma serie de tiempo en el que el sistema se

encontraba en régimen frío? Según la literatura, las condiciones físicas que se presentan durante periodos de enfriamiento favorecen la reproducción de pelágicos costeros. Una mayor turbulencia derivada de vientos más intensos (Lasker & Smith 1977; Bakun & Parrish, 1982) puede favorecer la alimentación de las larvas al romper y dispersar la capa fina de partículas alimenticias, lo que resulta en concentraciones necesarias para que las larvas puedan sobrevivir. Este proceso funciona en sincronía con los eventos de surgencia como fuente promotora de los altos niveles de producción primaria.

Por lo tanto, es probable que no se trate de simplemente un estrategia reproductiva, pero entonces ¿la señal del régimen presentó un retraso en la zona más sureña de la Corriente de California y las tendencias registradas en la presente investigación, son un reflejo de este desfase temporal? Al comparar las tendencias en la abundancia de larvas de sardina y anchoveta, se estableció que estas especies no mantienen el patrón general con el que se han descrito sus fluctuaciones (Fig. 25).

Mediante el análisis CUSUM se logró establecer que *S. sagax* fue más abundante durante el inicio del periodo frío (1951) y disminuyó drásticamente a mediados de la década de los setenta. A medida que *S. sagax* disminuye, las larvas de *E. mordax* en la zona norte cambiaron su tendencia. Cabe destacar que muchos autores coinciden en que los adultos de estas especies aparecen de forma alternada (Chávez *et al.* 2003) lo cual coincide con nuestros resultados, pero con una relación inversa a la observada en adultos. En la zona sur, la tendencia de este patrón fue contraria al de la zona norte, en el cual se detectó un cambio abrupto correspondiente al año 1963. Lo anterior sugiere que esta especie, al parecer, sólo está respondiendo a los cambios de fase en la zona norte de la Península de Baja California y que en la zona sur sus variaciones probablemente son moduladas principalmente por las condiciones físicas de la zona.

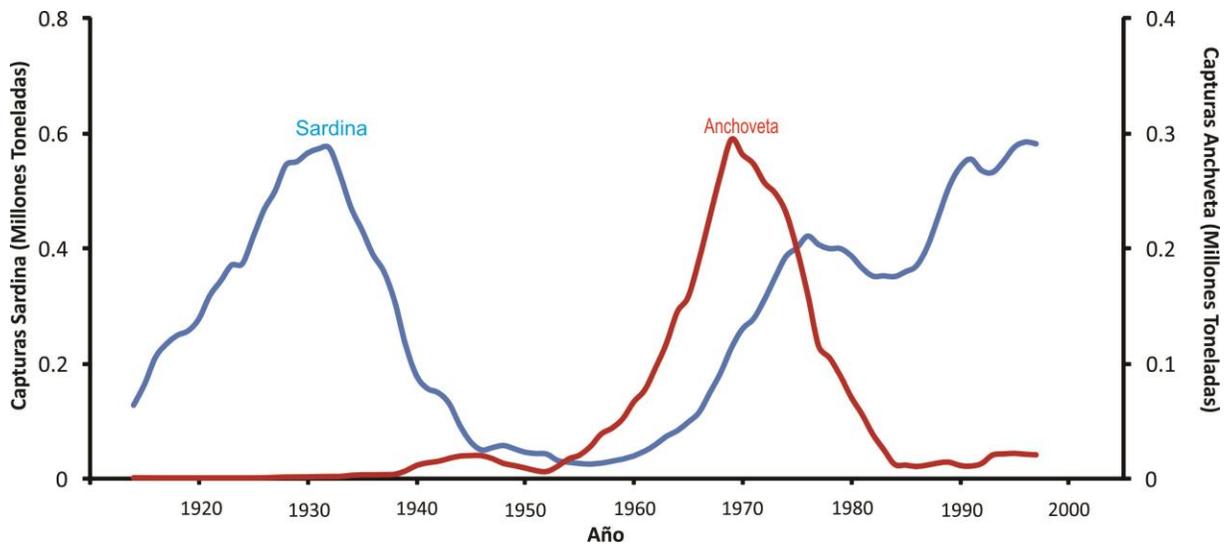


Figura 25. Series de capturas de sardina y anchoveta de California modificado de Lluch-Cota 2013, la línea azul y roja corresponde a los periodos en que la sardina y anchoveta dominan en el Pacífico.

En la zona sur, *E. mordax* se correlacionó con el índice de surgencia de manera negativa, lo cual coincidió con lo planteado por Husby & Nelson (1982) quienes encontraron que las principales áreas de desove de anchoveta, ocurren en estaciones y lugares en donde la estratificación es estable, los índices de producción de energía eólica turbulenta son relativamente bajos y la surgencia de aguas es débil. Adicionalmente en esta zona hay una contribución de aguas de surgencia desde el centro de alta producción de Punta Eugenia, también están presentes las estructuras de mesoescala las cuales pueden proporcionar el mecanismo físico por el cual agua recién emergida, rica en nutrientes, se mantiene en la zona eufótica y favorece la sobrevivencia, el transporte y el reclutamiento de larvas (Durazo *et al.* 2010).

Por otro lado, *S. sagax* no se correlacionó significativamente con ninguno de los índices analizados. Sin embargo, se detectó que aunque hubo una disminución de los adultos de esta especie a mediados de 1940 en el sistema de la Corriente de California (Fig. 25) la abundancia de larvas mantuvo valores por encima del promedio durante 1951 hasta mediados de la década de 1960. Esta tendencia se volvió a observar aun en el periodo de 1998-2002 en la región norte y sur de la Península de

baja California (Fig. 16b y 19b) tendencia inusual al considerar que durante los periodos mencionados el sistema se encontraba en la fase fría del régimen.

Los cambios observados podrían estar vinculados con las preferencias térmicas de la especie. Lluch-Belda *et al.* (1991) encontraron que las sardinias desovan en amplios rangos de temperatura, de 13°-25°C. El comportamiento de esta especie parece indicar que durante la fase fría del régimen la parte más sureña de la Corriente de California, proporcionó las condiciones adecuadas para que los adultos se reproduzcan. Adicional a esto, es conocido que la sardina presenta dos centros importantes de desove, uno en el sur de California y otro en la parte central de Baja California (Clark & Marr, 1955).

Hernández-Vásquez (1994) encontró que durante el periodo 1951-1989, las larvas y huevos de sardina fueron más abundantes desde el sur de punta baja hasta el norte de Bahía Magdalena. En relación con la preferencia térmica de *S. sagax* ya se había documentado que ésta presenta desplazamientos hacia la parte más sureña de la corriente de California durante los inviernos más fríos (Radovich 1982). Por ejemplo, García-Morales (2012) documentó desplazamientos latitudinales de los stocks templado y frío hacia el sur en los modelos de invierno y primavera.

Otra explicación a la tendencia positiva de la abundancia, durante el periodo frío en la región sur de la Corriente de California podría deberse a la presencia de centros de actividad biológica cerca de la zona de estudio (Punta Eugenia y Sebastián de Vizcaíno) y a su función como zonas de refugio durante periodos adversos para *S. sagax*. Las características de estas zonas mantienen condiciones adecuadas de alta producción biológica a lo largo del tiempo, lo que ha permitido que muchas especies las utilicen para reproducirse en periodos poco favorables de las zonas aledañas (Lluch-Belda *et al.* 1991).

El cambio de régimen también se detectó en la abundancia de larvas de *T. mexicanus* en la zona norte, donde se observó la tendencia a mantener valores por debajo del promedio durante la fase fría (1951-1975) con un cambio brusco a valores positivos a partir de 1975. Koslow *et al.* (2013) indicaron que *T. mexicanus* se

favorece por periodos cálidos cuando se presenta una disminución en el flujo de la Corriente de California, una reducción en la productividad y un incremento en la retención costera. Por lo tanto se consideró que esta especie responde a las variaciones medio ambientales.

En la zona sur *T. mexicanus* se correlacionó negativamente con el NPI. Esta correlación coincide con la ecología de la especie y con las variables físicas asociadas a este índice. Trenberth & Hurrell (1994) notaron cambios a lo largo de la costa debidas al estrés del viento en California y lo asociaron con cambios en las variables físicas que causaron cambios importantes en ecosistemas pelágicos del Pacífico Norte, en donde se registraron incrementos en la clorofila y fitoplancton. Como se había mencionado anteriormente, esta especie está relacionada con periodos cálidos y zonas de baja productividad (Koslow *et al.* 2013) por lo tanto la relación con el índice es inversa. La tendencia observada de esta especie durante la fase fría en la zona sur (Fig. 20c), sugiere que se mantuvo el patrón descrito para la zona norte, con un cambio muy marcado en 1975. Por lo tanto, esta especie podría ser considerada como un indicador para detectar procesos de baja frecuencia en la zona de estudio.

Los mesopelágicos *H. atratum* y *V. lucetia* se correlacionaron positivamente con el índice del PDO el cual se calcula utilizando las anomalías de la temperatura superficial del mar y los campos de presión atmosférica (Mantua *et al.* 1997). Durante el periodo 1951-1975, el PDO se encontraba en fase negativa (enfriamiento). Los resultados del análisis CUSUM indicaron que estas especies tuvieron una tendencia general a mantener valores por debajo del valor promedio durante el periodo estudiado. Aunque no se detectaron cambios abruptos en la abundancia, el patrón general coincide con lo que se ha reportado en cuanto a las preferencias térmicas para estas especies. Algunos autores han indicado que aumentos en la abundancia de estos mesopelágicos están asociados con periodos de calentamiento como El Niño. Hsieh *et al.* (2009) reportan que durante el periodo frío (1951-1976) la abundancia promedio de estas especies es menor comparada con la observada en el con el periodo cálido (1977-1998). Atribuyen estos aumentos en la abundancia a una

intensa estratificación en la columna de agua en la región sur de California, que podría crear un hábitat apto para las especies oceánicas.

En la zona sur, la abundancia promedio de *H. atratum* y *V. lucetia*, se correlacionó significativamente con el MEI y el PDO, Koslow *et al.* (2013) reportaron una correlación significativa de la abundancia de esta especie con la variabilidad interanual y decadal de estos índices. La correlación podría explicarse en función de los cambios en el volumen hipóxico de agua de profundidades medias en el océano Pacífico, relacionados con cambios en la profundidad de la termoclina y la respiración microbiana (Deutsch *et al.*, 2011). Durante la fase positiva del PDO se presentan temperaturas más cálidas en la superficie marina a lo largo de la costa del Pacífico Norteamericano, estos calentamientos conducen una mayor estratificación vertical, lo que reduce la ventilación de aguas más profundas. En este sentido, la concentración de oxígeno en aguas intermedias en la Corriente de California es quizás el principal determinante en la abundancia de peces mesopelágicos, y están significativamente correlacionado con el MEI, PDO y el nivel del mar.

El análisis CUSUM permitió establecer que durante la fase fría *H. atratum* mantuvo valores por abajo del valor promedio, sin detectarse cambios fuertes que pudieran relacionarse como una señal al cambio de fase registrada durante 1975. Sin embargo, el patrón observado durante el periodo de enfriamiento se ajusta a la preferencia térmica asociada a una tropicalización del ecosistema y a la que se ha asociado esta especie (Funes-Rodríguez *et al.*, 1993, 1995, 2001).

En el caso de la abundancia de *V. lucetia*, el patrón temporal durante el periodo evaluado fue a mantener una tendencia negativa. Este patrón era de esperarse ya que esta especie se ha asociado a la influencia de aguas subtropicales (Funes-Rodríguez *et al.* 1993, 1995). Mediante el análisis de CUSUM se registró un cambio drástico en la tendencia después de 1975. Se puede sugerir el uso de esta especie como indicadora de las variaciones de baja frecuencia en la zona sur de la Península de Baja California.

En el caso de las especies demersales, en la zona norte no se encontró relación con ninguno de los índices, sin embargo mediante el análisis de sumas acumuladas se observaron dos cambios fuertes en las tendencias. El primero se registró a mediados de 1963 y el otro en 1975. En general, la tendencia de estas especies durante la fase fría es a mantener valores de abundancia por debajo del promedio. Estos organismos al parecer son más sensitivos y responden de forma inmediata a las variaciones interanuales, ya que el cambio detectado en 1963 podría estar relacionado con un evento El Niño de intensidad intermedia que produjo un aumento en la abundancia. Después de este cambio, la tendencia general es negativa, y se mantiene en la serie de 1998-2002.

El patrón observado con las especies demersales durante la fase fría, coincide con lo reportado por Moser & Watson (1990) quienes reportan que *P. californicus* es una especie de afinidad por agua cálida. Por otro lado, Gadomski & Caddell (1991) reportaron que las larvas y los juveniles de esta especie tienen un amplio rango de tolerancia térmica (20°-28°C). Estos autores relacionan dichos rangos con una mayor sobrevivencia de juveniles. Esto se ve reflejado en los patrones de distribución temporal y espacial. Además coinciden en que las larvas y juveniles de *P. californicus* son más abundantes durante la primavera y el verano en el sur de California.

En el caso de *P. verticalis*, la tendencia en la variación de la abundancia durante el periodo frío evaluado es similar a *P. californicus*. Algunos autores coinciden con que esta especie se reproduce durante todo el año en la región de California y que este patrón reproductivo es típico en peces tropicales y subtropicales (Goldberg 1982). Al considerar estos antecedentes, se asume que la tendencia observada en los demersales, es reflejo de la respuesta a cambios de baja frecuencia, y que estas dos especies marcaron el cambio de régimen reportado en 1975, al presentar cambios muy marcados en su tendencia en la zona norte.

Finalmente, la abundancia de larvas de peces demersales en la zona sur, se correlacionó negativamente con el índice de surgencia. El análisis de tendencia muestra que durante la fase fría, las dos especies presentaron valores de abundancia por abajo del promedio. Gadomski & Caddell (1991) sugiere que las larvas y los

huevos de *P. californicus* presentan una alta tolerancia a temperaturas altas. Además, el transporte pasivo de *P. californicus* es influenciado por una variedad de corrientes y condiciones oceanográficas.

Los resultados de estos autores indicaron que las larvas de *P. californicus* que se encontraron con aguas más cálidas durante el transporte pueden resolver el asentamiento mucho antes que los que permanecen en aguas frías. Por lo tanto, las larvas transportadas por corrientes a lo largo de la costa eventualmente pudieren establecerse cerca de las entradas de bahías y estuarios, debido a que ahí las aguas son más cálidas. Las larvas que se transportan en alta mar durante los eventos de surgencia están expuestas a temperaturas más bajas, lo que resulta en un retraso del asentamiento, sin posibilidad de ser transportadas hacia aguas costeras someras o de crianza donde las temperaturas más cálidas pueden estimular el asentamiento.

9. CONCLUSIONES

- Las siete especies de larvas de peces utilizadas en esta investigación son útiles como organismos indicadores de procesos de baja frecuencia, como lo es el cambio de régimen.
- Se documenta por primera vez, a través de larvas de peces, la señal del cambio de régimen frente a la Península de Baja California.
- El epipelágico *E. mordax*, los mesopelágicos *T. mexicanus*, *V. lucetia* y los demersales *P. californicus* y *P. verticalis* respondieron al cambio de régimen 1975-1976. Por tanto, los registros de su abundancia y distribución se pueden considerar como indicadores de variaciones a gran escala.
- Se observó que la variación temporal de abundancia de larvas de las especies *E. mordax* y *V. lucetia* se presenta de forma diferencial al considerar la latitud y el hábitat al que se asocian los organismos adultos: epipelágicos, mesopelágicos y demersal.
- Las larvas de *T. mexicanus* pueden ser utilizadas como indicadores del cambio de régimen en las zonas norte y sur ya que estas respondieron con cambios significativos en la abundancia durante 1975-76.

10. LITERATURA CITADA

Aceves-Medina, G. 2003. Grupos de larvas de peces recurrentes en la costa de Baja California Sur y región central del Golfo de California. Tesis Doctorado. CICIMAR-IPN, La PAZ. B.C.S. México. 132p.

Aceves-Medina, G., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Funes-Rodríguez, R. Saldierna, D. Lluch-Belda, P. Smith & W. Watson. 2003. Fish Larvae from the Gulf of California. Scientia Marina, 67: 1-11.

Aceves-Medina, G., S. P. A. Jiménez-Rosenberg, A. Hinojosa-Medina, R. Funes-Rodríguez, R. Saldierna-Martínez & P. E. Smith. 2004. Fish Larvae Assemblages in the Gulf of California. Journal of Fish Biology, 65: 832-847.

Ahlstrom, E. L. 1969. Mesopelagic and bathypelagic fishes in the California Current region. California Marine Research Committee, California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 13:39-44.

Ahlstrom, E. L. 1972. Distributional atlas of fish larvae in the California Current region: Six common mesopelagic fishes *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus*, *Stenobranchius leucopsarus*, *Leuroglossus stilbuis*, *Bathylagus wesethi* and *Bathylagus ochotensis*, 1955 through 1960. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 17: 5-15.

Allen, M. J., R. J. Wolotira, T. M. Sample, S. F. Noel & C. R. Iten. 1990. West coast of North America coastal and oceanic zones strategic assessment: Data Atlas, Invertebrate and fish. NOAA. Seattle, WA. 145 p.

Allen, M. J. 1990. The Biological environment of the California Halibut, *Paralichthys californicus*. 7-29. En: C. Haugen (Ed.).Fish Bulletin 174. The California halibut, Paralichthys californicus, resource and fisheries. 447p.

Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López & V. Aguilar-Sierra. 1998. Regiones prioritarias marinas

de México.Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.189-198.

Avendaño-Ibarra, R., R. De Silva-Dávila, F. E. Ordóñez-Guillén Fátima, G. Vázquez-López, 2010. Composición estacional de larvas de peces frente a Baja California Sur (primavera y otoño de 2003). 413-430. En: Gaxiola-Castro & R. Durazo- Arvizu (eds.). Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. México, 501p.

Bakun, A & R. H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current Systems. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 23: 99-112.

Baumgartner, T. R., A. Soutar & V. Ferreira-Bartrina, 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California.California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 33: 24-40.

Beamish, R.J., D. J. Noakes, G. A. McFarlane, L. Klyashtorin, V. V. Ivanov & K. Kurashov.1999. The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56: 516-526.

Bratkovich, A. 1988. The use of planktonic organism distribution as an indicator of physical variability in marine environments. 11-34. En: D. F. Soule & G. S. Kleppel (Ed.) Marine Organism as Indicators. USA, 342p.

Caro, T. M., & G. O'Doherty. 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. Conservation Biology, 13: 805-814.

Chavez, P. F., J. Ryan, E. S. Lluch-Cota & C. M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal changes in the Pacific Ocean. Science, 299: 217-221.

Clark, F.N & J. C. Marr. 1955 Part II: population dynamics of the Pacific sardine. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 4:11-48.

Deutsch, C., H. Brix, T. Ito, H. Frenzel & L. Thompson. 2011. Climate-forced variability of ocean hypoxia. Science, 333:336–339.

Deyoung, B., M. Barange, G. Beaugrand, R. Harris, R. I. Perry, M. Scheffer, & F. Werner. 2008. Regime shifts in marine ecosystems: detection, prediction and management. Trends in Ecology & Evolution, 23: 402-409.

Di Lorenzo, E., N. Schneider, K. M. Cobb, P. J. S. Franks, K. Chhak, A. J. Miller & P. Rivière. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. Geophysical Research Letters, 35: 1-6.

Durazo, R., T. R. Baumgartner, S.J. Bograd, C. A. Collins, S. De La Campa, J. García, G. Gaxiola-Castro, A. Huyer, D. K. Hyrenbach, D. Loya, R. J. Lynn, F. B. Schwing, R. L. Smith, W. J. Sydeman & P. Wheeler. 2001. The state of California current, 2000–2001: a third straight La Niña year. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 42: 29-60.

Durazo, R., G. Gaxiola-Castro, B. Lavaniegos, R. Castro-Valdez, J. Gómez-Valdés & A. Da. S. Mascarenhas. 2005. Oceanographic Conditions West of the Baja California Coast, 2002-2003: A Weak El Niño and Subarctic Water Enhancement. Ciencias Marinas, 31: 537-552.

Durazo, R. 2009. Climate and Upper Ocean Variability off Baja California, Mexico: 1997-2008. Progress in Oceanography, 83: 361-368.

Durazo, R., A. M. Ramírez-Manguilar, L. E. Miranda, L. A. Soto-Mardones. 2010. Climatología de variables hidrográficas en la Corriente de California frente a Baja California. 25-57. En: Gaxiola-Castro G & R. Durazo (Eds.) Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. México, 501p.

Espino, M. 1997. El Niño 1997: un análisis diferencial. Centro de Estudios y Prevención de Desastres. Lima- Perú. Prevención, 9: 9-15.

Espino, M. 2003. Estrategia de gestión ambiental para el Pacífico oriental con especial mención a la pesquería peruana. Tesis Magister en Geografía, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 112 p.

Espino, M. & C. Yamashiro. 2012. La Variabilidad climática y las pesquerías en el Pacífico Suroriental. Latin American Journal Aquatic Research, 40: 705-721.

Fiedler, P.C. 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. Deep-Sea Research I, 49: 321–338.

Flament, P. 2002. A state variable for characterizing water masses and their diffusive stability: spiciness. Progress in Oceanography, 54: 493-501.

Froese, R. & D. Pauly. Editors. 2013. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (06/2013).

Funes-Rodríguez, R. 1993. Abundancia de larvas de peces de la familia myctophidae durante el niño (1982-1984) en la costa occidental de Baja California Sur. Ciencia Pesquera, 10:79-87.

Funes-Rodríguez, R., R. González-Armas & A. Esquivel-Herrera. 1995. Distribución y composición específica de larvas de peces durante y después de El Niño, en la costa del Pacífico de Baja California Sur (1983-1985). Hidrobiológica, 5: 113-125.

Funes-Rodríguez, R., A. Hinojosa-Medina, G. Aceves-Medina, S. P. A. Jiménez-Rosenberg & J. J. Bautista-Romero. 2006. Influence of El Niño on assemblages of mesopelagic fish larvae along the Pacific Coast of Baja California Sur. Fisheries in Oceanography, 3: 244-255.

Funes-Rodríguez, R., A. Zárate-Villafranco, A. Hinojosa-Medina & S. P. A. Jiménez-Rosenberg. 2010. Abundancia y diversidad de larvas de peces durante El Niño y La Niña 1997-2000. 413-431 En: Gaxiola- Castro, & R. Durazo-Arvizu (Eds.) Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. México, 501p.

Funes-Rodríguez, R., A. Zárate-Villafranco, A. Hinojosa-Medina, R. González-Armas & S. Hernández-Trujillo. 2011. Mesopelagic fish larval assemblages during El Niño-Southern Oscillation (1997-2001) in the Southern Part of the California Current. Fisheries in Oceanography, 20: 329-346.

Gadomski, D. M., & S. M. Caddell. 1991. Effects of temperature on early-life-history stages of California halibut *Paralichthys californicus*. Fishery Bulletin, 89(4): 567-576.

García-Morales, R. 2012. Variabilidad oceanográfica del habitat de los stocks de Sardinops sagax (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeidae) en el Sistema de la Corriente de California (1981-2005). Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, La PAZ. B.C.S. México. 95p.

Gaxiola-Castro, G., R. Durazo, B. Lavaniegos, M. E. De la Cruz-Orozco, E. Millán-Núñez, L. Soto-Mardones & J. Cepeda-Morales. 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. Ciencias Marinas, 34: 263-270.

Goericke, R., S.J. Bograd, G. Gaxiola-Castro, J. Gómez-Valdés, R. Hooff, A. Huyer, K. D. Hyrenbach, B. E. Lavaniegos, A. Mantyla, W. T. Peterson, F. B. Schwing, R. L. Smith, W.J. Sideman, E. Venrick & P. A. Wheeler. 2005. The State of the California Current, 2003–2004: A Rare “Normal” Year. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 45: 27–60.

Hare, S. R & N. J. Mantua. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1997 and 1998. Progress in Oceanography, 47: 103-145.

Haro, G. M.J & G. M. Esqueda. 1989. Comparación de la mortalidad en larvas de *Vinciguerria lucetia*, *Sardinops sagax* y *Opisthonema libertate* en la costa occidental de Baja California Sur, México. Investigaciones Marinas CICIMAR, 4:105-116.

Hernández-Rivas, M., S. P. Jiménez-Rosenberg, R. Funes-Rodríguez & R. Saldierna-Martínez. 2000. El centro de actividad biológica de la bahía de Sebastián Vizcaíno, una primera aproximación. 65-86. En: Lluch-Belda D, J. Elourduy, S. E. Lluch-Cota &

G. Ponce-Díaz. (Ed). BAC Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., México 368p.

Hernández-Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 35: 94-107.

Hjört, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. ICES Journal of Marine Science

Hsieh, C. H., C. S. Reiss, R. P. Hewitt, & G. Sugihara. 2008. Spatial analysis shows that fishing enhances the climatic sensitivity of marine fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 65: 947-961.

Hsieh, C. H., H. J. Kim, W. Watson, E. Di Lorenzo & G. Sugihara. 2009. Climate-Drive changes in the abundance and distribution of larvae of oceanic fishes in the southern California Region. Global Change Biology, 15: 2137-2152.

Husby, D. M. & C. S. Nelson. 1982. Turbulence and vertical stability in the California Current. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 23: 113-129.

Isasi-Catalá, E. 2011. Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. Interciencia, 36: 31-38.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A. & G. Aceves-Medina, 2009. Indicadores biológicos en el ambiente Pelágico. CICIMAR Oceánides, 24: 113-127.

Jiménez-Rosenberg, S. P. A., R. Saldierna-Martínez, G. Aceves-Medina, A. Hinojosa-Medina, R. Funes-Rodríguez, M. Hernández-Rivas & R. Avendaño-Ibarra. 2010. Caracterización de la Comunidad de Larvas de Peces, 1997-2000. 397-41. En: Gaxiola-Castro, G & R. Durazo (Eds.) Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997-2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. México, 501p.

Koslow, A., R. Goericke. & W. Watson. 2013. Fish assemblages in the southern California Current: relationships with climate, 1951–2008. Fisheries Oceanography, 3: 207-219.

Kramer, D. & P. E. Smith. 1971. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources. California current region VII. Commercial Fisheries Review, 33: 711.

Kramer, S. H. 1990. Distribution and abundance of juvenile California Halibut, *Paralichthys californicus*, in shallow waters of San Diego County. 99-126. En: C. Haugen (Ed.). Fish Bulletin 174. The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. 447p.

Lasker, R & P. E. Smith. 1977. Estimation of the effects of environmental variations on the eggs and larvae of the northern anchovy. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 19: 128-137.

Lavaniegos, B. E., L. C. Jiménez-Pérez & G. Gaxiola-Castro. 2002. Plankton Response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the Southern Region of the California Current. Progress in Oceanography, 54: 33-58.

Lavaniegos, B. E. & L. C Jiménez-Pérez. 2006. Biogeographic inferences of shifting copepod distribution during 1997–1999 El Niño and La Niña in the California Current. Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans, 4: 113–158.

Lavaniegos, B. E. 2009. Influence of a multiyear event of low salinity on the zooplankton from Mexican Eco-Regions of the California Current. Progress in Oceanography, 83: 369-375.

Lluch-Belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose & P. E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. South African Journal of Marine Science, 8: 195-205.

Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. A. Salinas-Zavala, & R. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 32: 105-111.

Lluch-Belda, D., R. A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock & R. J. M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. Fisheries Oceanography, 1: 339-347.

Lluch-Belda, D., M. R. Laurs, D. B Lluch-Cota & S. Lluch-Cota. 2001. Long-Term trends of interannual variability in the California Current System. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 42: 129-144.

Lluch-Cota, S. E. 2013. Modeling sardine and anchovy low-frequency variability. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110: 13240-13241.

Loeb, V. J., P. E. Smith & H. G. Moser. 1983. Ichthyoplankton and zooplankton abundance patterns in the California current area, 1975. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 24: 109-131.

Mann, K. H. 1993. Physical oceanography, food chains, and fish stocks: a review. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, 50: 105-119.

Mann, K. H. Lazier.1996. Dynamics of marine ecosystems, biological-physical interactions in the oceans. Second edition. Blackwell publishing, Oxford, 489p.

Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace & R. C. Francis. 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. Bulletin of the American Meteorological Society, 78: 1069–1079.

Mantua, N. J., & S. R. Hare. 2002. The Pacific decadal oscillation. Journal of Oceanography, 58: 35-44.

Mcfarlane, G. A & L. A. MacDougall. 2000. Regime shifts, ecosystem change and sardine off the West Coast of Canada. Department of Fisheries and Oceans, Nanaimo, British Columbia, Canada.47-69p.

McGowan, J.A., D. B. Chelton & A. Conversi. 1996. Plankton patterns, climate and change in the California Current. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 37: 45-68.

McGowan, J. A., S. J. Bograd, R. J. Lynn & A. J. Miller. 2003. The biological response to the 1977 regime shift in the California Current. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 50: 2567-2582.

Menzel, A., T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-kübler, P. Bissolli, O. Braslavská, A. Briede, F. M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, A. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatczak, F. Måge, A. Mestre, O. Nordli, J. Peñuelas, P. Pirinen, V. Remišová, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A. J. H. Van Vliet, F.E. Wielgolaski, S. Zach & A. Zust. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biology, 12:1969–1976.

Mora, C & A. F. Ospina. 2001. Tolerance to high temperatures and potential impact of Sea warming on reef fishes of Gorgona Island Tropical Eastern Pacific. Marine Biology 139: 765-769.

Moser, H.G., P. E Smith & L.E. Elber. 1987. Larval fish assemblages in the California Current Region, 1954–1960. A period of dynamic environmental change. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 28: 97–127.

Moser, H.G & W. Watson, 1990. Distribution and abundance of early life history stages of the California Halibut, *Paralichthys californicus*, and comparison with the Fantail Sole, *Xystreurys liolepis*. Fishery Bulletin California Department of Fish and Game, 174: 31-84.

Moser, H. G. & P. E. Smith. 1993. Larval fish assemblages in the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. Bulletin Marine Science, 53: 645-691.

Moser, H.G. 1996. The early stages of fishes in the California Current region. Allen Press Inc. Lawrence, Kansas. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports. Atlas 33. 1505pp.

Moser, H. G., R.L. Charter, P.E. Smith, D.A Ambrose, W. Watson, S.R, Charter & E.M, Sandknop. 2001. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the Southern California Bight region, 1951-1998. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Atlas 34: 166pp.

Myers, R. A. 1998. When do environment–recruitment correlations work?. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 8: 285-305.

Niemeijer, D. 2002. Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example. Environmental Science & Policy, 5: 91-103.

Ottersen, G., S. Kim, G. Huse, J. J. Polovina & N. C Stenseth. 2010. Major pathways by which climate may force marine fish populations. Journal of Marine Systems, 3: 343-360.

Overlan, J., S. Rodionov, S. Minobec & N. Bond. 2008. North Pacific regime shifts: definitions, issues and recent transitions. Progress in Oceanography, 77: 92-102.

PICES. 2005. PICES Advisory report on fisheries and ecosystem responses to recent regime shifts. North Pacific Marine Science Organization. Sidney, Canada. 12 p.

Pörtner, H. O., & M. A. Peck. 2010. Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. Journal of Fish Biology, 77: 1745-1779.

Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned, California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 23: 56-78.

Rebstock, G. A. 2002. Climatic regime shifts and decadal-scale variability in calanoid copepod populations off southern California. Global Change Biology, 1: 71-89.

Roemmich, D. & J. McGowan. 1995. Climate warming and the decline of zooplankton in the California Current. Science, 267:1324-1326.

Rykaczewski, R. R & D. M. Checkley. 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105: 1965-1970.

Salvadeo, C., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota & M. Mercuri. 2011. Review of long term macro-fauna movement by multi-decadal warming trends in the Northeastern Pacific, climate change - Geophysical Foundations and Ecological Effects, Dr Juan Blanco (Ed.), ISBN: 978-953-307-419-1, InTech, DOI: 10.5772/23754. Disponible en: <http://www.intechopen.com>

Salvadeo, C.J. 2012. Variabilidad Climática de Gran Escala y sus Efectos Ecológicos en el Pacífico Mexicano. Tesis Doctorado. CICIMAR-IPN, la Paz. B.C.S. México. 229p.

Schwartzlose, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford & J. Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. South African Journal of Marine Science, 21: 289-347.

Schwing, F. B., M. O'Farrell, J. M. Steger & K. Baltz. 1996. Coastal Upwelling indices west coast of North America. NOAA Technical Memorandum NMFS. 32p.

Schwing, F. B., C. S. Moore, S. Ralston & K. M. Sakuma. 2000. Record coastal upwelling in the California Current in 1999. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 41: 148-160.

Smith, P. & S. Richardson. 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larvae surveys. FAO Fisheries Technical Paper. 100p.

Smith, P. E. & G. H. Moser. 2003. Long-Term Trends and variability in the larvae of Pacific sardine and associated fish species of the California Current region. Deep-Sea Research II, 50: 2519-2536.

Stenseth, N. C., A. Mysterud, G. Ottersen, J.W. Hurrell, K. S Chan & M. Lima. 2002. Ecological effects of climate fluctuations. Science, 297: 1296-1292.

Takasuka, A., Y. Oozeki, H. Kubota. & S.E. Lluch-Cota. 2008. Contrasting spawning temperature optima: why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? Progress in Oceanography, 77: 225-232.

Torres-Villegas, J. R., R. I. Ochoa-Báez, L. Gómez-Álvarez & García-Melgar, G. 1995. Comparison of seasonal variability in the reproduction of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) from Baja California Sur, Mexico, in the years 1982-1992. Scientia Marina, 59: 225-264.

Trenberth, K. E., & J. W. Hurrell. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. Climate Dynamics, 9: 303-319.

Watson, W., R. L. Charter, H. G. Moser, D. A. Ambrose, S. R. Charter, E. M. Sandknop & E. A. Lynn. 2002. Distributions of planktonic fish eggs and larvae off two state ecological reserves in the Santa Barbara Channel vicinity and two nearby islands in the Channel Islands National Marine Sanctuary, California. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, 43: 141-154.

Whitehead, P.J. 1985. FAO Species catalogue. Clupeoid fishes of the world. (Suborder CLUPEOIDEI) An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf-herrings. Part 1. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. Whitehead, P.J.P. 1985. FAO Fisheries Synopsis, 303 p.

Whitehead, P.J. 1985. FAO Species catalogue. Clupeoid fishes of the world. (Suborder CLUPEOIDEI) An annotated and illustrated catalogue of the herrings,

sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf-herrings. Part 2. Engraulididae. Whitehead, FAO Fisheries Synopsis, 7 (2):305-579.

Wolter, K. & Timlin, M. 1998. Measuring the strength of ENSO events: how does 1997/98 rank? Weather, 53: 315-324.

WoRMS Editorial Board. 2013. World Register of Marine Species. Disponible en: <http://www.marinespecies.org>.

Zwolinski, J. P., & D. A. Demer. 2012. A cold oceanographic regime with high exploitation rates in the Northeast Pacific forecasts a collapse of the sardine stock. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109: 4175-4180.

11. ANEXO

Organismos estudiados

Se realizó el análisis cualitativo con base en la literatura de cada una de las especies *Engraulis mordax*, *Sardinops sagax*, *Hygophum atratum*, *Vinciguerria lucetia*, *Triphoturus mexicanus* y *Paralichthys californicus*, al considerar las características más relevantes con el fin de evaluar su utilidad como especies indicadoras de cambio de régimen, para esto se tuvieron en cuenta datos de distribución, hábitat, temporada de desove entre otros.

Orden: Clupeiformes

Familia: Engraulidae

Género: *Engraulis*

Especie: *Engraulis mordax* (Girard, 1854)

Nombre común: Anchoveta de California, Anchoveta Norteña y Anchoa del Pacífico Norte (Enciclopedia of Life, FAO Fish 1985).

Distribución global: Columbia Británica, Zona Económica Exclusiva de Canadá, Aguas Costeras del Sudeste de Alaska, Zona de Pesca FAO 67(a), Pacífico Nororiental y Pacífico Norte.

Hábitat: Epipelágicas, cardumen en aguas costeras (Moser 1996, Froese & Pauly 2013)

Rango de Profundidad: 0-300 m (Froese & Pauly 2013, EOL)

Temporada de desove: Durante todo el año con un pico en el invierno-primavera y un mínimo entre verano-otoño (Moser 1996).

Patrón ELH: Ovíparos; huevos y larvas planctónicos epipelágicos

Generalidades: Las anchovetas son pequeñas la mayoría <20 cm, se alimentan principalmente de plancton (eufáusidos, copépodos y larvas de decápodos) (Moser

1996 & Froese & Pauly 2013). Estos peces se mantienen en agregaciones, algunas especies viven en agua dulce. Los adultos son ligeramente comprimidos, con una longitud preanal cerca de la mitad de dos tercios de la longitud del cuerpo, y con una boca grande. Las anchovetas son uno de los peces de mayor importancia económica, ya que soportan una de las pesquerías más grandes del mundo. Se utiliza principalmente como carnada, aunque algunas especies son preparadas de diferentes formas para consumo directo humano. Moser 1996 describe que las larvas de *Engraulis mordax* son relativamente fáciles de distinguir de acuerdo a sus características básicas.

Orden: Clupeiformes

Familia: Clupeidae

Género: *Sardinops*

***Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)**

Nombre común: Sardina Española, Sardina, Sardina Monterrey (FAO Fish (b) 1985, Froese & Pauly 2013, Bailly 2013)

Distribución global: Kamchatka Alaska y a lo largo de la costa Este del Pacífico, Cabo San Lucas, Baja California Sur; en el Norte del Golfo de California Guaymas, Sonora.

Hábitat: Epipelágicas, forman cardúmenes sobre la plataforma continental, frecuentemente cerca de la costa. (Moser 1996, Froese & Pauly 2013).

Temporada de desove: Durante todo el año en la región CalCOFI, con picos en primavera y verano, mínimo en el otoño y el invierno frente a California.

Patrón ELH: Ovíparos; huevos y larvas planctónicos epipelágicos.

Generalidades: La mayoría de larvas de clupeidos obtenidas en CalCOFI en las colecciones de ictioplancton frente a California y Baja California son de *Sardinops sagax*. La mayoría de adultos son de tamaños pequeños a medianos (10-30 cm), se alimentan de plancton, los juveniles se alimentan de zooplancton como copépodos (crustáceos) y los adultos de fitoplancton (FAO Fish 1985, Moser 1996 & Froese & Pauly 2013). La sardina es ligeramente a fuertemente comprimido, con una longitud preanal alrededor de la mitad de tres cuartas partes la longitud del cuerpo y por lo general con boca pequeña. *S. sagax* se encuentran entre los peces de mayor importancia económica, y soporta grandes pesquerías comerciales.

Variación en la distribución y abundancia de la especie *E. mordax* y *S. sagax*

Lluch-Belda *et al.* (1989) afirmaron que el impacto en los cambios de régimen se ejemplificaba con los ciclos de la abundancia de las anchovetas (*Engraulis* spp) y las

sardinias (*Sardinops* spp) en las corrientes limítrofes, de este modo la mayor abundancia de anchovetas se alcanza durante el régimen frío asociado a la alta productividad, mientras que la abundancia de sardina es mayor en condiciones cálidas y menos productivas (Chávez *et al.* 2003). Los cambios en la abundancia son dramáticos: la biomasa desovante de la anchoveta en el corriente de california varió en magnitud en la segunda mitad del siglo XX (1985). Por otro lado Minobe (2000) sugiere que los cambios tempranos en la distribución de la sardina podrían ser un indicador de los cambios de régimen.

Al tener en cuenta los trabajos realizados a mesoescala Funes-Rodríguez *et al.* (1995) reportaron en los resultados de su estudio que las mayores capturas de larvas de *E. mordax* se obtuvieron en aguas con temperaturas superficiales de 15°C a 16°C y que la mayor abundancia de *S. sagax* se obtuvo en aguas con temperatura superficial de 19°C a 23°C. Aceves-Medina (2003) reportó que *E. mordax* tienen una tendencia a disminuir el área de desove durante los años cálidos y a extenderse durante años fríos.

Orden: Stomiiformes

Familia: Phosichthyidae

Género: *Vinciguerria*

Especie: *Vinciguerria lucetia* (Garman, 1899)

Nombre común: Portador de luz, Panamá Lightfish (EOL, Froese & Pauly 2013)

Distribución: Pacífico Occidental y Central: Papua Nueva Guinea, Pacífico Oriental: en toda la región actual de California, usualmente al sur de Punta Concepción.

Hábitat: Epipelágica y mesopelágica

Temporada de desove: Durante todo el año, mayor en verano y otoño con un máximo en Septiembre-Octubre.

ELH patrón: ovíparos, huevos y larvas epiplanctónicas

Generalidades: Los Phosichthyidae contienen alrededor de 18 especies distribuidas en siete géneros. Seis especies representadas en tres géneros se encuentran en la región CalCOFI, entre estas se encuentran larvas de *Vinciguerria lucetia*, los adultos phosichthyidos son pequeños (usualmente <10 cm), delgados excepto *Ichthyococcus irregularis*, comprimidos, biolumincentes.

Generalidades de los Mictófidos

Los peces linterna son los más ubicuos en los océanos del mundo y pueden tener la mayor biomasa de peces oceánicos. Ahlstrom (1969) han calculado que la abundancia de las especies de mictófidos es muy alta y tal vez sea superior a la de cualquier especie de vertebrado, además que sus larvas son las más numerosas del ictioplancton de las muestras de aguas oceánicas. De las 80 especies representadas en 23 géneros en la corriente de California y aguas adyacentes, para el noreste del Pacífico se han identificado 50 especies con representantes de los 23 géneros. Entre las larvas de peces linterna más abundantes encontradas en la región CalCOFI se encuentran *Triphoturus mexicanus* y *Stenobranchius leucopsarus*. Los peces linterna

tienen una variedad de órganos luminosos, los más prominentes están pareados en grupos de hileras, los fotóforos están en la región ventral y lateral del cuerpo. Algunos mictófidios realizan migraciones verticales, probablemente asociadas con alimentación de crustáceos planctónicos Ahlstrom (1969) sugiere que el papel ecológico de los mictófidios es importante, ya que sirven como vínculo entre la comunidad de zooplancton y los grandes peces depredadores incluidos atunes y peces de pico. En la noche algunos peces linterna migran hacia arriba de la capa de mezcla y durante el día se mantienen a profundidades de 300 a 2000 m. Las larvas de *T. mexicanus* pasan sus etapas larvales en la zona epipelágica a 200 m de la superficie (Moser 1996, Sassa *et al.* 2002).

Orden: Myctophiformes

Familia: Myctophidae

Género: *Triphoturus*

Especie: *Triphoturus mexicanus* (Gilbert, 1890)

Nombre común: Linternilla mexicana, Pez linterna (EOL)

Distribución: Pacífico Este, poblaciones del norte de San Francisco, California y sur de México, incluido Golfo de California, hacia el oeste 127°W; poblaciones al sur de Perú y Chile. (Moser 1996, Froese & Pauly 2013)

Hábitat: Subtropical Mesopelágico (Moser 1996 & Funes-Rodríguez *et al.* 1993)

Temporada de desove: Durante todo el año en el área CalCOFI; sin embargo es más abundante durante la primavera y el otoño, con máximos en Agosto-Septiembre.

ELH patrón: Ovíparos huevos y larvas planctónicas

Orden: Myctophiformes

Familia: Myctophidae

Género: *Hygophum*

Especie: *Hygophum atratum* (Garman, 1899)

Nombre común: Thickhead Lanternfish (EOL)

Distribución: Pacífico Este desde 30°N A 30°S; distribuido en el Este del Pacífico tropical, Sur del Mar de China. Aguas con bajas cantidades de oxígeno. (Moser 1996, Froese & Pauly 2013)

Hábitat: Mesopelágico, en las noches migra hacia la superficie

Temporada de desove: Las larvas están presentes durante todo el año en el área CalCOFI, con máximos de abundancia en Noviembre.

ELH patrón: ovíparos huevos y larvas planctónicos

Variación en la distribución y abundancia de las especies *H. atratum*, *T. mexicanus* y *V. lucetia*

Ahlstrom (1969, 1972) determinó que la abundancia de las larvas de *V. lucetia* en el área CalCOFI está fuertemente influenciada por la temperatura del agua. Su menor abundancia ocurrió en años más fríos de lo normal, tales como 1956, y la mayor abundancia durante años más cálidos como son el caso 1957 y 1959. Funes-Rodríguez *et al.* 2011 reportó que durante el ENSO de 1997-2001 *V. lucetia* componía aproximadamente el 51% de la abundancia de especies mesopelágicas y *T. mexicanus* 4.6%, estas especies se encontraron a lo largo de la península, con mayor abundancia relativa durante El Niño (septiembre 1997 a julio 1998). Después de las condiciones de El Niño las larvas de *V. lucetia* se limitaron en gran medida a la zona de Punta Eugenia, al presentar un aumento en la abundancia y una distribución más amplia en aguas oceánicas, durante el verano y el otoño. Por otro lado las larvas de *T. mexicanus* se distribuyeron ampliamente, pero las densidades se mantuvieron relativamente bajas a excepción de julio de 2000 cuando presentaron un aumento.

Aceves-Medina (2003) encontró que *T. mexicanus* muestra un pico de abundancia a los 23°C, en la costa occidental de la Península de Baja California Sur, pero esta especie se encuentra desde los 16°C hasta los 27°C. Aunque después de los 23°C la abundancia disminuye paulatinamente al incrementarse la temperatura. Halló que con anomalías térmicas muy altas o muy bajas la abundancia disminuye, mientras que anomalías cercanas a cero, encontró la mayor abundancia. También encontró que *H. atratum* y *V. lucetia* parecen incrementar su abundancia con el incremento de la temperatura superficial, estas especies se encuentran ampliamente distribuidas en la Península de Baja California Sur, no obstante la distribución de estas especies refleja el hábitat de los adultos, que son afines principalmente a las aguas cálidas del Pacífico central. Aunque las larvas están presentes desde los 17°C hasta los 28°C, la mayor frecuencia de ocurrencia se encuentra arriba de los 19°C. Estos resultados coinciden por lo encontrado por Funes-Rodríguez *et al.* 2006, quienes encontraron

que estas dos especies alcanzaron su abundancia máxima durante los periodos con anomalías positivas y resaltaron que estas especies son características de la parte sur de la Corriente de California durante El Niño.

Orden: Pleuronectiformes

Familia: Paralichthyidae

Género: Paralichthis

Especie: *Paralichthys californicus* (Ayres, 1859)

Nombre común: Lenguado californiano, California Halibut

Distribución: Pacífico Oriental: río Quillayute en el norte de Washington, Bahía Magdalena, Baja California Sur (Moser 1996, Froese & Pauly 2013).

Hábitat: Fondos suaves, generalmente arena, alrededor de 180 m de profundidad; comúnmente en zonas bahías y estuarios.

Temporada de desove: Larvas capturadas alrededor del año en el área CalCOFI, con mayor abundancia durante Enero-Abril y Junio-Agosto.

ELH patrón: ovíparos; huevos y larvas planctónicas.

Generalidades: La familia Paralichthyidae tiene alrededor de 85 especies agrupadas en 16 géneros. Los Paralichthyidae están representados en la región de la Corriente de California por 8 géneros y aproximadamente 19 especies. *P. californicus* alcanza las mayores tallas de la familia Paralichthidae, alcanza tallas de 1.5 m de longitud total y un peso de 32 kg. *P. californicus* soporta importantes pesquerías comerciales y recreativas desde principios del siglo XX, estas pesquerías cada vez han estado más reguladas en respuesta a la disminución de las capturas (Moser & Watson 1990). Estudios de distribución vertical de larvas de *P. californicus* en aguas cercanas a la plataforma muestran que estas larvas se limitan a la parte superior en los primeros 30 m en la columna de agua y se concentran en la parte menos profunda de dicha zona (Moser & Watson 1990).

Variación en la distribución y abundancia de *P. californicus*

Moser & Watson (1990) analizaron la distribución de las larvas de *P. californicus* que fueron obtenidas desde 1951-1981 en la región CalCOFI. Encontraron que estas larvas fueron más frecuentes entre Bahía Magdalena, Baja California y Punta Concepción. Hallaron que *P. californicus* mostró claramente afinidad por el agua cálida y presentó un limitado desove fuera del centro de California. El promedio de incidencia en toda la serie histórica 1951-1981 fue mayor al 12 % en la Bahía de Sebastián Vizcaíno. Ellos reportaron que los desembarques comerciales para el Sur de California corresponden a la tendencia en la abundancia larval excepto durante 1951-1958 donde los desembarques variaron de 1.000.000 libras (1947) a 250.000 libras (1958) y luego aumento bruscamente a 800.000 libras (1964) y volvió a disminuir 117.000 libras (1973). La pesca de lenguado de california ha seguido una tendencia habitual de agotamiento de las poblaciones típicas de otras pesquerías, excepto que los periodos de mayor abundancia son reconocibles a intervalos de aproximadamente 20 años.

Orden: Pleuronectiformes

Familia: Pleuronectidae

Género: Pleuronichthys

Especie: *Pleuronichthys Verticalis* (Jordan & Gilbert, 1980)

Nombre común: Platija Cornuda

Distribución: Punta Reyes, California Bahía Magdalena, Baja California Sur; población aislada en el Golfo de California

Hábitat: Fondos suaves a 10-200m de profundidad

Temporada de desove: Larvas capturadas alrededor del año en el área CalCOFI, con mayor abundancia durante marzo y agosto.

ELH patrón: ovíparos; huevos y larvas planctónicas.