

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



VARIACIÓN DE CAPTURA DE LA ANCHOVETA (*Engraulis mordax*) RELACIONADA A LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN COSTAS DE BAJA CALIFORNIA.

T E S I S

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

BRENDA ILIANA VEGA RODRÍGUEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. DICIEMBRE, 2007

"VARIACIÓN DE CAPTURA DE LA ANCHOVETA (*Engraulis mordax*) RELACIONADA A LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN COSTAS DE BAJA CALIFORNIA"

RESUMEN

La anchoveta norteña *Engraulis mordax*, registró elevados valores de captura en los años setenta y ochenta del siglo pasado. A principios de los noventa la pesquería de anchoveta colapsó y desde entonces los desembarques han sido escasos. Para proponer alternativas de protección y administración del recurso deben establecerse patrones en su distribución espacio-temporal y su relación con las variables ambientales. En el presente trabajo se utilizaron los datos de captura de SAGARPA y de la empresa Pesquera Zapata correspondientes al periodo 1972-2006 y 1978-1989 respectivamente, para analizar su distribución temporal y espacial, así como también asociarla con variables ambientales. Con el estadístico Kruskal Wallis se compararon las magnitudes de captura extraídas en zonas de influencia de surgencia provocada por punta (porción de tierra proyectada hacia el interior del mar) contra las obtenidas cerca y lejos de la costa. La temperatura superficial del mar y la captura de anchoveta se relacionaron con la correlación de Spearman. Por otro lado, se empleó la prueba estadística de correlación canónica para establecer la relación de la captura de anchoveta, sardina y macarela con el Índice de Oscilación del Sur, Oscilación Decadal del Pacífico y el Índice de Surgencias. Se observó que la anchoveta tuvo un comportamiento similar a través de todos los años analizados, pues en invierno las capturas eran escasas y generalmente estas se realizaban al norte de Baja California. Conforme avanzaba el año, los desembarques se hacían cada vez más abundantes, hasta alcanzar un máximo pico en verano. Mientras tanto, los cercos pesqueros se realizaban dentro de un área cada vez más extensa, desde Tijuana hasta Punta San Carlos. Después del período de alta productividad venía una reducción paulatina en los volúmenes y área de pesca, hasta llegar de nuevo a un mínimo en invierno. Esta tendencia en la distribución de la anchoveta sugiere que migra al norte

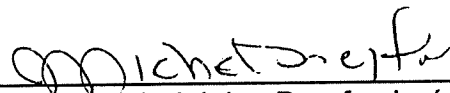
durante invierno para llevar a cabo su reproducción y en primavera regresa a las costas de Baja California para alimentarse y prepararse para su siguiente ciclo reproductivo. Se encontró que las capturas realizadas en zonas de influencia de surgencia provocada por punta fueron mayores en nueve y once años con respecto a lo pescado cerca y lejos de la costa respectivamente. En las correlaciones anuales entre la temperatura y la captura, se encontraron asociaciones positivas en 1981, 1988 y 1989, mientras que en 1982, 1983 y 1984 fueron negativas. Este resultado se debe probablemente a que la anchoveta se relaciona directamente con la temperatura, pero de 1982 a 1984 hubo anomalías térmicas positivas fuertes, causadas por el fenómeno de El Niño, que influyeron negativamente en el desarrollo de los organismos de *E. mordax*, así como en su hábitat. El análisis de correlación canónica indicó que la anchoveta tiene una mayor relación con el índice de surgencias. Por otro lado, *E. mordax* y *Sardinops sagax* se asociaron con ODP durante los periodos fríos y cálidos respectivamente.



M. C. Ricardo Vidal Talamantes
Presidente del jurado



Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal



Dr. Michel Jules Dreyfus León
Sinodal

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

VARIACIÓN DE CAPTURA DE LA ANCHOVETA (*Engraulis mordax*) RELACIONADA A LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN COSTAS DE BAJA CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

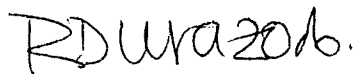
PRESENTA

BRENDA ILIANA VEGA RODRÍGUEZ

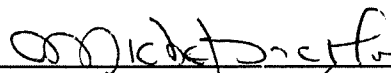
Aprobada por:



M. C. Ricardo Vidal Talamantes
Presidente del jurado



Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal



Dr. Michel Jules Dreyfus León
Sinodal

Agradecimientos

A mi director de tesis el M. C. Ricardo Vidal Talamantes y a mis sinodales Dr. Reginaldo Durazo Arvizu y Dr. Michel Jules Dreyfus León por sus acertados comentarios, ideas y su preocupación por el progreso de mi tesis.

A CONACYT y a toda la sociedad mexicana por la beca No. 199039.

Al M. C. Ricardo Vidal Talamantes por la beca otorgada del proyecto No. 0583 de la 11ª Convocatoria de Proyectos de Investigación Interna de la Universidad Autónoma de Baja California.

Al Dr. Tom Barnes por proporcionarme la base de datos de la empresa Pesquera Zapata S. A. de C. V.

Al Capitán Carlos Nuza y la Ocean. Rosa A. Jimenez por la información brindada para llevar a cabo este estudio.

A mi mamá y mi familia por su apoyo y amor incondicional.

A Uli por acompañarme en esta aventura y por sus lindas palabras cuando más lo necesité.

A mis amigos y compañeros por animarme en todo momento.

Índice del trabajo

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	6
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1 Área de estudio.....	7
2.2 Análisis de la distribución de la captura de anchoveta y su relación con la temperatura superficial del mar.....	10
2.2.1 Datos.....	10
2.2.2 Análisis estadísticos.....	13
2.3 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales.....	20
2.3.1 Datos.....	20
2.3.2 Análisis estadísticos.....	22
3. RESULTADOS.....	27
3.1 Distribución temporal y espacial de la captura de <i>E. mordax</i> y su relación con la temperatura superficial del mar.....	27
3.1.1 Distribución temporal.....	27
3.1.2 Distribución espacial.....	30
3.1.3 Relación entre la magnitud de la captura y la temperatura superficial de mar.....	40
3.2 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales.....	42
3.2.1 Desarrollo de la pesquería de pelágicos menores.....	42
3.2.2 Resultados estadísticos de la correlación canónica entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales.....	44
4. DISCUSIÓN.....	70
4.1 Distribución temporal y espacial de la captura de <i>E. mordax</i> y su relación con la temperatura superficial del mar.....	70
4.2 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales.....	77
5. CONCLUSIONES.....	82

Literatura Citada.....	84
Anexo.....	95

Lista de tablas

Tabla I	Número de semanas analizadas en cada uno de los años durante el período 1981-1989.....	12
Tabla II	Detalle estadístico del contraste entre IP y CC.....	39
Tabla III	Detalle estadístico del contraste entre IP y LC.....	39
Tabla IV	Descripción estadística de las correlaciones entre la variabilidad de la captura anual y la temperatura superficial del mar.....	41
Tabla V	Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1972-1978.....	45
Tabla VI	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1972-1978.....	46
Tabla VII	Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1984-1989.....	47
Tabla VIII	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1984-1989.....	47
Tabla IX	Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1990-1999.....	49
Tabla X	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1990-1999.....	50
Tabla XI	Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 2000-2006.....	51

Tabla XII	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 2000-2006.....	52
Tabla XIII	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1972-1978.....	53
Tabla XIV	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1972-1978.....	54
Tabla XV	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1984-1989.....	55
Tabla XVI	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1984-1989.....	55
Tabla XVII	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1990-1999.....	57
Tabla XVIII	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1990-1999.....	58
Tabla XIX	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 2000-2006.....	60
Tabla XX	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 2000-2006.....	60

Tabla XXI	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1972-1978.....	62
Tabla XXII	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1972-1978.....	62
Tabla XXIII	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1984-1989.....	64
Tabla XXIV	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1984-1989.....	64
Tabla XXV	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1990-1999.....	66
Tabla XXVI	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1990-1999.....	67
Tabla XXVII	Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 2000-2006.....	68
Tabla XXVIII	Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 2000-2006.....	69

Lista de figuras

Figura 1	Localización geográfica del área de estudio. Códigos de los cuadrángulos de 5' x 5' utilizados para registrar la ubicación de la captura (reproducido a partir de Arenas <i>et al.</i> , 1994).....	9
Figura 2	Clasificación de las estaciones de captura en los grupos IP (negro), CC (gris) y LC (blanco).....	17
Figura 3	Variación mensual de la captura de anchoveta del período 1972 – 2006. Datos registrados por SAGARPA .	28
Figura 4	Serie anual de captura de anchoveta durante los períodos 1972-2006 y 1978-1989 registrado por SAGARPA y la Pesquera Zapata S.A. de C.V respectivamente.....	29
Figura 5	Distribución espacial de la captura de la anchoveta durante el período de 1978 a 1989, datos registrados por Pesquera Zapata S. A. de C. V.....	32
Figura 6	Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de abril y mayo.....	33
Figura 7	Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de junio y julio.....	34
Figura 8	Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de agosto y septiembre. ..	35
Figura 9	Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de octubre y noviembre...	36
Figura 10	Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de diciembre y enero.	37
Figura 11	Variación anual de la captura de las poblaciones de pelágicos menores (1972-2006).....	43
Figura 12	Comportamiento mensual del Índice de Surgencias del período 1972-2006.....	72

Figura 13	Variación mensual del Índice de Oscilación del Sur durante el periodo 1972 a 2006.....	76
Figura 14	Variación mensual del Índice de Oscilación Decadal del Pacífico durante el periodo 1972 a 2006.....	78

Variación de captura de la anchoveta (*Engraulis mordax*) relacionada a la variabilidad ambiental en costas de Baja California.

1. INTRODUCCIÓN

Las surgencias de la costa oeste de Baja California, ocurren durante primavera-verano y aportan elevadas concentraciones de nutrientes a las capas superficiales del mar. Con ello, se disparan los procesos de fotosíntesis que alcanzan altos niveles de producción primaria. La gran cantidad de energía y biomasa, a través de las redes tróficas, se transfiere a toda la comunidad. En consecuencia, no es raro encontrar elevados valores de captura dentro de las pesquerías de pelágicos menores asociados a estos eventos.

Dentro de las especies de pelágicos menores se encuentra la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), recurso pesquero que ha registrado una captura anual de hasta más de 250 mil toneladas (Pedrín-Osuna *et al.*, 1992; Vidal-Talamantes, 1995). Esta población comenzó a explotarse debido a que su abundancia se incrementó sustancialmente cuando de forma paralela, disminuía la biomasa de otro recurso comercialmente importante, la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax caeruleus*) (Pedrín-Osuna *et al.*, 1992; Spratt, 1975). En México, la pesquería de anchoveta inició en 1950 con desembarques insignificantes, pero en 1964 se construyeron dos plantas procesadoras en Ensenada, y para 1975 ya se contaban con nueve naves industriales para el

enlatado y elaboración de harinas para consumo de animales de granja (Chávez *et al.*, 1977).

A lo largo del desarrollo en la pesquería de *E. mordax* en aguas frente a Baja California, se identifican cuatro fases: la primera es del crecimiento de la pesquería, comprende de 1972 a 1981; la segunda se identificó entre 1982 y 1983, cuando hubo un descenso notable en la captura del recurso; la tercera va de 1984 a 1989, la pesca mostró una relativa estabilidad pero no volvió a alcanzar los grandes desembarques de la etapa inicial; en la cuarta, desde 1990 hasta la actualidad, ha disminuido la captura de tal forma que es casi nula durante todo el año (Vidal-Talamantes, 1995).

La importancia de este recurso ha motivado la realización de diversas investigaciones. Algunas han examinado las formas de los cardúmenes de *E. mordax* (Squire, 1978), han propuesto modelos administrativos y bioeconómicos (Jean-Didier y Conrad, 1994; Radovich y MacCall, 1979), han analizado la composición por edades (Collins y Spratt, 1969; Gallardo-Cabello, 1983; Gonzáles-Dávila, 1990; Mais, 1981; Sunada y Silva, 1980; Vidal-Talamantes, 1991), la mortalidad (MacCall, 1973; Pedrín-Osuna *et al.*, 1992), la alimentación (Bagarinao y Hunter, 1983; Chiappa-Carrara *et al.*, 1989; Chiappa-Carrara y Gallardo-Cabello, 1993; Hunter y Dorr, 1982; Robinson, 2004), su madurez sexual y fecundidad (Hunter y Macewicz, 1980), la densidad mínima de esperma para asegurar el éxito reproductivo (Leong, 1989), y su genética (Díaz-

Jaimes *et al.*, 1999; Hedgecock *et al.*, 1994; Lecomte *et al.*, 2004; Uribe-Alcocer *et al.*, 1996).

Otros estudios han centrado su atención en la biomasa desovada (Cotero-Altamirano y Green-Ruiz, 1997; Lo y Methot, 1989; Stauffer, 1980; Vrooman y Smith, 1970), en su distribución espacial horizontal (Curtis, 2004) y vertical (Moser y Pommeranz, 1999). Algunos otros han investigado aspectos ecológicos de la población. Como el desove de la anchoveta y la distribución de sus larvas relacionado a la temperatura del mar, intensidad del viento y concentración de productores primarios (Alvariño, 1980; Fiedler, 1983; Hunter, 1976; Jiménez *et al.*, 1985; Lasker, 1975; Lluch-Belda *et al.*, 1991; Wroblewski *et al.*, 1989). Nelson *et al.*, (1994), examinaron las fases de vida de la anchoveta relacionadas a la variabilidad del medio natural. García-Franco *et al.*, (1999) identificaron la asociación entre el medio ambiente y el contenido de ácidos grasos en los organismos de *E. mordax*.

Se ha documentado que las poblaciones de peces son afectadas por los fenómenos ambientales de periodicidad interanual e interdecadal. La anchoveta norteña no es la excepción, pues Fiedler (1984) y Fiedler *et al.* (1986), mencionan que El Niño Oscilación del Sur (ENOS) repercutió negativamente en el desarrollo de los organismos de la población de *E. mordax*. Por otro lado, Baumgartner *et al.* (1992), observaron que durante casi 2000 años, las poblaciones de sardina y anchoveta tienden a variar en períodos de 60 y 100

años respectivamente. Se ha sugerido que estas fluctuaciones naturales entre especies dependen de cambios decadales en los regímenes climáticos (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2002; Schwartzlose *et al.*, 1999). Los picos de abundancia de la anchoveta ocurren en períodos fríos mientras que los de la sardina en los cálidos (Chávez *et al.*, 2003) y al parecer, están relacionados con un patrón recurrente de una variabilidad climática interdecadal en la cuenca del Pacífico llamada Oscilación Decadal del Pacífico (Mantua *et al.*, 1997).

Aunque la abundancia de la anchoveta es mucho menor a la que había hace veinticinco años, los pescadores la siguen extrayendo del mar, pues es un recurso que todavía es de importancia comercial. El declive en los desembarques de esta pesquería ha tenido consecuencias negativas en el sector social de Baja California. Paralelo a los efectos económicos derivados de la pesca de este organismo, también se encuentran los relacionados al medio ambiente. La disminución de la población de *E. mordax* podría repercutir negativamente en la estabilidad de la comunidad de la cual forma parte, ya que se trata de una especie que transfiere energía y biomasa desde niveles tróficos inferiores a los superiores. Como ejemplo, el pelicano gris (*Pelecanus occidentalis californicus*) depende básicamente de la disponibilidad de anchoveta durante sus períodos de precrianza y crianza (Anderson *et al.*, 1980).

Debido a la importancia de la anchoveta nortea, se requiere de un manejo integral que evite la sobrepesca y un eventual desabasto. Por ello hay

que proponer medidas que permitan protegerla y administrarla adecuadamente al identificar patrones en su distribución y en su relación con parámetros ambientales.

En el presente trabajo se utilizaron los datos de captura de SAGARPA y la empresa Pesquera Zapata S.A. de C.V. correspondientes al período 1972-2006 y 1978-1989 respectivamente. Se analizó la distribución espacio-temporal de la captura de anchoveta, así como su relación con la temperatura superficial del mar. También se relacionaron las capturas de los pelágicos menores comercialmente explotados (la anchoveta norteña *E. mordax*, la sardina del Pacífico *S. sagax* y la macarela *Scomber japonicus*) con tres variables ambientales (Índice de Oscilación del Sur, Oscilación Decadal del Pacífico e Índice de surgencias), con la finalidad de identificar las asociaciones que tienen estas especies entre ellas y con los fenómenos ambientales anuales, interanuales y decadales.

1.1 Objetivos

Objetivo general

- Estudiar la variabilidad espacio-temporal de la captura de la anchoveta *E. mordax* y su relación con la variabilidad ambiental.

Objetivos particulares

- Analizar la distribución temporal y espacial de la captura de *E. mordax* en la costa de Baja California.
- Identificar los sitios principales de la distribución de las capturas de anchoveta.
- Relacionar la captura de *E. mordax* con la temperatura superficial del mar.
- Establecer las relaciones entre la captura de las poblaciones de pelágicos menores y las variables climáticas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza frente a las costas de Baja California, México, desde la frontera con Estados Unidos de América ($32^{\circ} 35' N$), a Punta San Carlos ($29^{\circ} 35' N$) hasta aproximadamente 40 millas náuticas fuera de la costa (Fig. 1).

Dentro de esta zona transita la Corriente de California, que es la rama oriental del giro anticiclónico que domina el norte del Océano Pacífico (Lynn, 1966). Sus aguas superficiales fluyen hacia el sureste, se caracterizan por ser relativamente eutróficas, frías y de baja salinidad (Haury *et al.*, 1993; Hernández-Vazquez, 1987). La velocidad promedio de la corriente es de 12 a 25 cm/s (Schwartzlose y Reid, 1972). El flujo más intenso aparece en primavera y verano (Lynn y Simpson, 1987).

La Corriente Subsuperficial también fluye frente a las costas de Baja California. Se origina en el este del Pacífico ecuatorial y su dirección es hacia el polo norte (Sverdrup *et al.*, 1942). Las características físico-químicas son bajos niveles de oxígeno, altas temperaturas y altas salinidades (Lynn y Simpson, 1987). Mientras que su velocidad es relativamente baja, 10 cm/s (Schwartzlose y Reid, 1972). Esta corriente emerge a la superficie a profundidades menores

de 50 m cuando el viento ejerce un esfuerzo mínimo (octubre a febrero) (Lynn y Simpson, 1987).

La época de surgencias costeras es en primavera y verano, cuando los fuertes vientos del noroeste mueven las aguas costeras superficiales fuera de la costa y son remplazadas por aguas de mayor profundidad, más frías, más salinas (Reid, 1958) y con altas concentraciones de nutrientes. Esta es la razón por la cual es un sitio productivo en las pesquerías y económicamente importante (Barton y Argote, 1980).

Las corrientes antes descritas, tienen variaciones en sus estructuras en escalas estacionales e interanuales. Dichas modificaciones se relacionan con cambios en la circulación atmosférica de latitudes medias asociadas a eventos del Niño (Durazo *et al.*, 2005).

Las características superficiales de la Corriente de California, cambian abruptamente frente al norte de Baja California. La zona es conocida como Frente de Ensenada. El frente está formado por un intrincado conjunto de corrientes, es persistente y varía de año a año (Haury *et al.*, 1993).

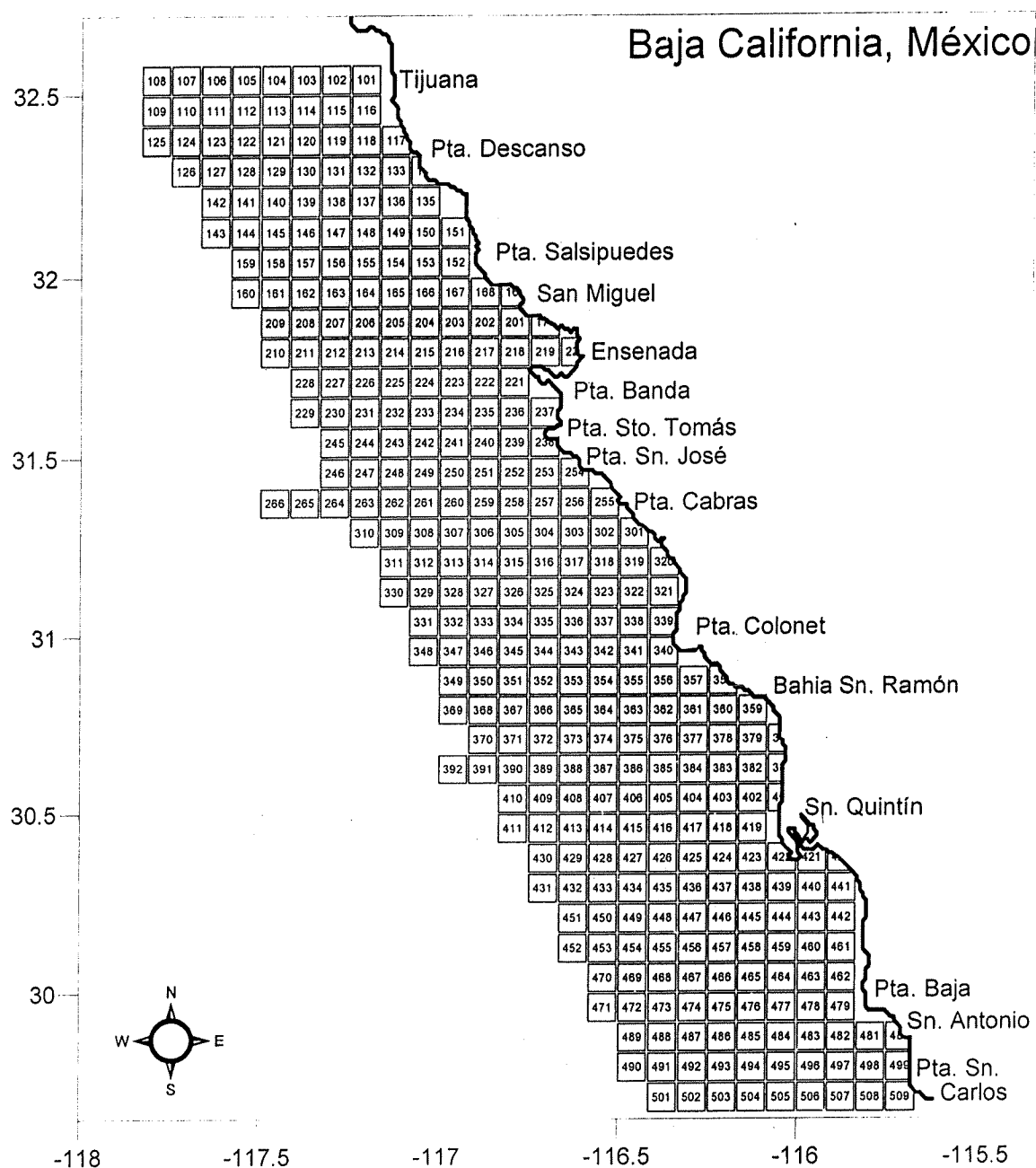


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio. Códigos de los cuadrángulos de 5' x 5' utilizados para registrar la ubicación de la captura (reproducido a partir de Arenas *et al.*, 1994).

2.2 Análisis de la distribución de la captura de anchoveta y su relación con la temperatura superficial del mar

2.2.1 Datos

Captura de anchoveta

Los datos de captura de *E. mordax* utilizados para analizar la distribución espacio-temporal y su relación con la temperatura superficial del mar, provienen de dos fuentes. Una de ellas procede de los registros de la Subdelegación de Pesca de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Estos datos corresponden a los desembarques realizados por toda la flota de Baja California del lado del Océano Pacífico de 1972 a 2006. Con esta base de datos se examinó la variación mensual de la captura de anchoveta.

Para analizar la distribución espacio-temporal de la captura y relacionarla con la temperatura superficial del mar, se utilizaron los datos de captura obtenidos por la compañía Pesquera Zapata, S.A. de C.V durante el período 1978-1989. Arenas *et al.* (1994) proporcionaron la base de datos, la cual fue convertida a un formato para su uso en computadora en código ASCII.

El área de pesca fue dividida en cuadrángulos de 5' x 5' de latitud y longitud, los cuales fueron numerados para indicar el área de captura (Fig. 1). De esta manera se obtuvo la localización aproximada del sitio de pesca para llevar a cabo el análisis de la distribución espacial de la captura de anchoveta.

Temperatura superficial del mar

Los datos de temperatura superficial del mar, se obtuvieron a partir de las imágenes generadas por el sensor Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST) del radiómetro "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) que esta a bordo de los satélites NOAA-7, -9, -11 y -14 de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los datos e imágenes están disponibles en <http://poet.jpl.nasa.gov/>. El proceso de obtención de los valores del MCSST lo proveen McClain *et al.*, (1985). La resolución espacial de cada píxel es de 18 km. La resolución temporal es el promedio semanal de 8 días (cada promedio de ocho días traslapa al promedio previo por un día). Los valores promedio de temperatura utilizados en este estudio corresponden a las condiciones oceanográficas que prevalecieron durante la noche, debido a que en la madrugada se realizaba la pesca de anchoveta (Chávez *et al.*, 1977).

El registro de estos datos de temperatura inició en noviembre de 1981. Por esta razón, esta parte de la investigación abarcó nueve años. En la tabla I se muestra el número de semanas analizadas en cada año.

Tabla I. Número de semanas analizadas en cada uno de los años durante el período 1981-1989.

Año	Número de semanas
81	5
82	34
83	23
84	34
85	31
86	26
87	26
88	24
89	24

Con el programa Surfer (Smith *et. al.*, 1995) y el método geoestadístico de Kriging se produjeron mapas interpolados a partir de los datos promedio de temperatura superficial del mar. Así, se observaron las tendencias de la temperatura mediante la posición de las isothermas trazadas con una aproximación de 0.1°C. Posteriormente con la posición de cada captura se determinó el valor de temperatura prevaleciente en el sitio y fecha del reporte de pesca. Para ello, se tomó el valor de la isoterma sobre la cual se realizó la captura de anchoveta.

Además se elaboraron mapas en donde se muestra el Promedio Climatológico Mensual para cada píxel. Inicialmente se obtuvo el promedio mensual a través de los valores promedio semanales. Este procedimiento se realizó para cada uno de los meses en cada uno de los años. Después el Promedio Climatológico Mensual fue el resultado de promediar todos los abriles obtenidos en el promedio mensual y así ocurrió con todos los marzos, etc. Con la finalidad de observar un patrón espacial de distribución, se incluyeron en los mapas la suma acumulativa de captura de cada cuadrángulo que hubo en todos los abriles, marzos, etc.

2.2.2 Análisis estadísticos

Prueba de normalidad

Antes de analizar estadísticamente la distribución espacial de la captura de anchoveta y de correlacionarla con la temperatura superficial del mar, se procedió a probar la normalidad de las muestras de estas dos variables. La prueba que se utilizó fue la técnica gráfica quantil-quantil (Q-Q). Como primer paso, se ordenaron las observaciones del conjunto de datos $Q(p)$. Posteriormente, se obtuvo el valor p correspondiente de cada valor de la muestra analizada (Jobson, 1992):

$$p = \frac{i - 0.5}{n} \quad (1)$$

Donde i , es la posición que ocupó la observación, y n es el número de datos dentro de la muestra. A partir de los valores p , se obtuvo el valor teórico $Q^*(p)$, mediante una transformación Z. Después, se compararon los cuantiles observados $Q(p)$ con los cuantiles teóricos, $Q^*(p)$. Si la distribución de la muestra observada es aproximadamente normal, la gráfica Q-Q tendrá una tendencia lineal. Para probar que los datos observados presentaban un comportamiento normal, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (ρ) entre $Q(p)$ y $Q^*(p)$ (Daniel, 2000):

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (2)$$

La prueba de hipótesis consistió en comparar ρ con el valor crítico del coeficiente de correlación ($\rho_{0.1(2), n}$) consultado en tablas (Zar, 1999). Las hipótesis a probar fueron:

$H_0: \rho = 0$ (distribución no normal)

$H_A: \rho \neq 0$ (distribución normal)

Debido a que la mayor parte de las muestras no mostraron una distribución normal, se procedió a utilizar pruebas estadísticas no paramétricas.

Comparación de la magnitud de captura en tres diferentes zonas

Para identificar las zonas principales de la distribución de las capturas de anchoveta, se analizó la importancia de los cabos o puntas dentro del hábitat de esta especie. Principalmente de las siguientes estructuras Punta Descanso, Punta Salsipuedes, Punta San Miguel, Punta Banda, Punta Santo Tomás, Punta San José, Punta Cabras, Punta Colonet, San Quintín, Punta Baja, Punta San Antonio y Punta San Carlos. Para ello, se clasificaron las estaciones de capturas en tres grupos, cuadrángulos con influencia de surgencia provocadas por puntas (IP), cuadrángulos cercanos a la costa (CC) y cuadrángulos lejanos a la costa (LC) (Fig. 2).

Se utilizó la suma acumulada de captura de cada estación correspondiente a un mes (si el análisis fue a nivel mensual) o a un año (si el análisis fue a nivel anual). Para probar que las capturas mensuales o anuales, fueron mayores en IP en comparación a CC y LC, se utilizó el estadístico de Kruskal-Wallis (Zar, 1999). Esta prueba consistió en combinar las observaciones de los dos grupos en una sola serie de tamaño n , las cuales fueron clasificadas en orden ascendente. Posteriormente, las observaciones se sustituyeron por rangos desde uno, que fue asignado a la observación menor,

hasta n , que se le estableció a la observación mayor. Cuando dos o más observaciones tuvieron el mismo valor, a cada una de ellas se le dio la media de los rangos en los cuales se encontraba empatada. Los rangos que se asignaron a las observaciones en cada uno de los dos grupos se sumaron por separado para dar dos grupos de sumas de rangos. El algoritmo matemático de Kruskal-Wallis es:

$$H = \left(\frac{12}{N(N+1)} \right) \times \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N-1) \quad (3)$$

Donde n_i es el número de observaciones en el grupo i , N es el número total de observaciones en todos los grupos k (en este estudio son dos) y R_i es la suma de los rangos de las observaciones n_i en el grupo i . El valor de H se comparó con el valor crítico de la distribución estadística X^2 con $k-1$ grados de libertad y un α de 0.1 (Zar, 1999). Las pruebas de hipótesis fueron:

H_0 : La magnitud de captura en IP es igual a la de CC (o LC)

H_A : La magnitud de captura en IP es diferente a la de CC (o LC)

Cuando hipótesis nula se rechazó, se utilizó la mayor suma total de los rangos para determinar si IP representó más magnitud de captura en comparación a CC o LC.

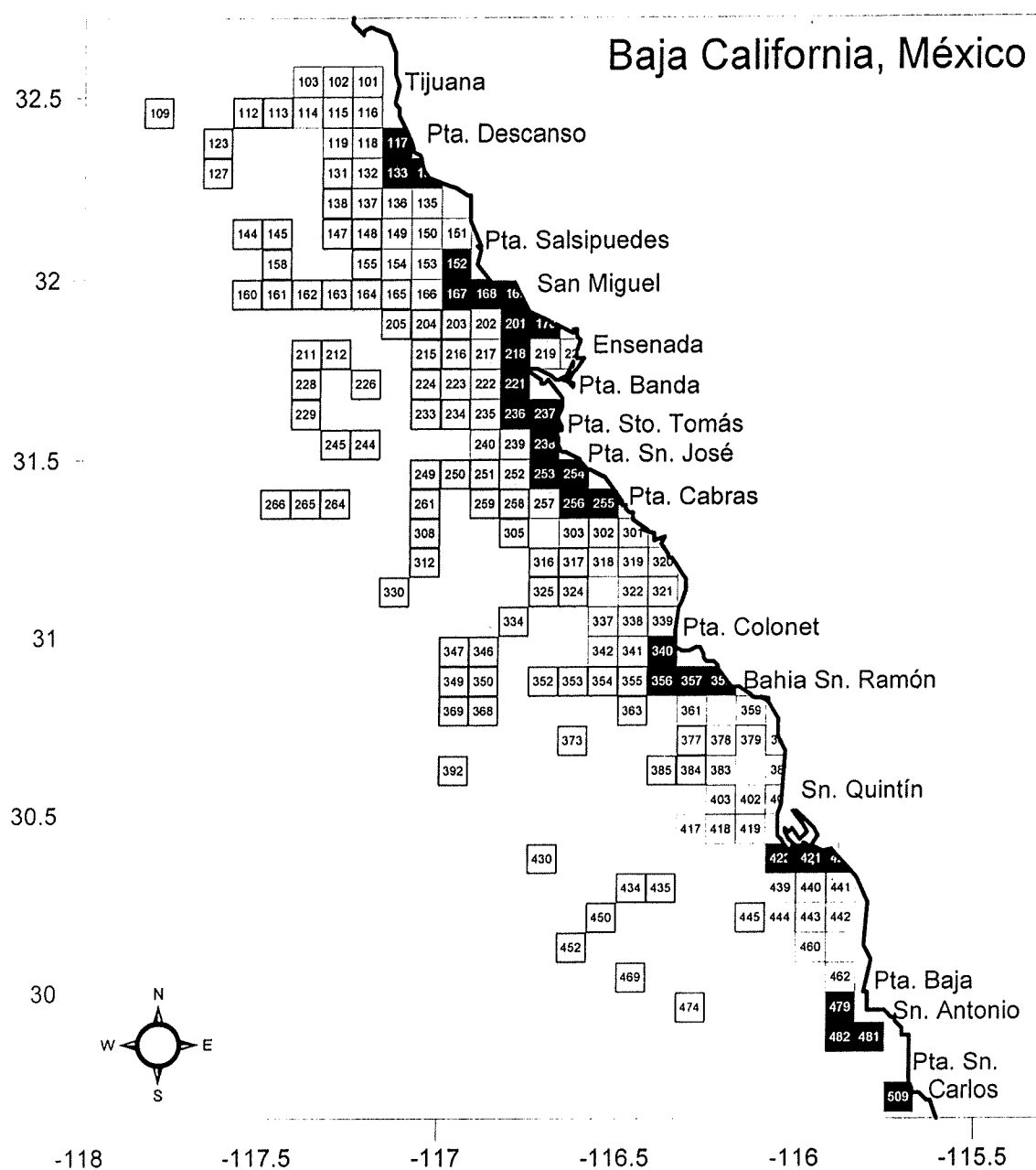


Figura 2. Clasificación de las estaciones de captura en los grupos IP (negro), CC (gris) y LC (blanco).

Relación de la magnitud de captura y la temperatura superficial del mar

La captura de anchoveta y la temperatura superficial de mar se relacionaron a través de la prueba estadística correlación de Spearman (Gould y Gould, 2002). La cual consistió en ordenar los datos y remplazarlos por su respectivo orden, es decir, al valor más grande dentro de la variable "X", se le asignó el valor de n , mientras que al más pequeño se le designó la cifra uno, de esta forma se obtuvo r_{xi} . El mismo procedimiento se aplicó para la variable "Y", para tener r_{yi} . Posteriormente, se estimó la diferencia d_i de cada par de r_{xi} y r_{yi} :

$$d_i = r_{xi} - r_{yi} \quad (4)$$

Después los valores d_i se elevaron al cuadrado y se sumaron ($\sum d_i^2$). Finalmente se realizó la correlación r_s aplicando la siguiente ecuación.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

El valor de r_s , se comparó con el valor crítico del coeficiente de correlación de Spearman ($r_{s\ 0.1\ (2),\ n}$) consultado en tablas (Zar, 1999). Cuando las muestras fueron mayores a 100 se utilizó una aproximación de la distribución t de student (Zar, 1999):

$$t = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1-r_s^2}{n-2}}} \quad (6)$$

El valor de t , se comparó con el valor crítico correspondiente ($t_{0.1(2), n}$).

Las pruebas de hipótesis fueron:

$H_0: r_s = 0$ (no asociación entre variables)

$H_A: r_s \neq 0$ (asociación entre variables)

Este análisis se realizó a nivel mensual y anual, consistió en utilizar los valores de la suma semanal acumulada de captura de cada cuadrángulo y la temperatura promedio semanal correspondiente, generados durante un mes y año respectivamente.

2.3 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales

2.3.1 Datos

Pelágicos menores

Los datos mensuales de captura de pelágicos menores (anchoveta, sardina y macarela) fueron proporcionados por la Subdelegación de Pesca de SAGARPA y corresponden a todos los desembarques realizados en el estado de Baja California, del lado del Océano Pacífico. El registro comenzó en enero de 1972 y finalizó en septiembre de 2006. Sin embargo, el período que va de 1979 a 1983 no fue incorporado al análisis, pues los datos de captura correspondientes a las poblaciones de sardina y macarela, estuvieron ausentes de esta fuente.

Índice de Oscilación del Sur

Los valores mensuales del Índice de Oscilación del Sur están disponibles en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>, de la NOAA. El cálculo del este índice se puede observar en el Anexo.

Oscilación Decadal del Pacífico

El índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) se obtuvo de <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>. Pertenece al Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean en donde colaboran la NOAA y la Universidad de Washington. Mantua *et al.* (1997) describen los registros ambientales que utilizaron así como el proceso para elaborar el ODP.

Índice de surgencias

Los valores promedio mensuales del índice de surgencias, se tomaron de <ftp://orpheus.pfeg.noaa.gov/outgoing/upwell/monthly/upindex.mon> y pertenecen a la NOAA. Fueron estimados según la metodología propuesta por Bakun (1973) con base en la teoría del transporte de masas de Ekman debido a la presión por el viento. Los datos corresponden a la localización geográfica 33° N y 119° W.

2.3.2 Análisis estadísticos

Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales

Para identificar y cuantificar las asociaciones entre las capturas de pelágicos menores (anchoveta norteña, sardina del Pacífico y macarela) y las variables ambientales (ENSO, ODP y surgencias), se utilizó la herramienta estadística, llamada correlación canónica. El objetivo de la correlación canónica, es enfocarse en la correlación entre la combinación linear (regresión linear) de las variables de un conjunto $Y_{(n \cdot p)}$ (que es una matriz Y representada por p variables, cada una con sus n datos) por ejemplo las capturas de pelágicos menores, y la combinación linear de las variables del otro conjunto de variables $X_{(n \cdot q)}$ (que es una matriz X representada por q variables, cada una con sus n datos), en este caso las ambientales.

Las observaciones o datos de los grupos de variables se representaron de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} Y \\ X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_n \\ \vdots \\ Y_{np} \\ X_n \\ \vdots \\ X_{nq} \end{pmatrix} \quad (7)$$

De la matriz anterior, se construyó otra de correlaciones (Rencher, 2001):

$$R_{(p+q) \times (p+q)} = \begin{pmatrix} R_{yy} & R_{yx} \\ R_{xy} & R_{xx} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$\begin{matrix} (pxp) & (pxq) \\ (qxp) & (qxq) \end{matrix}$

Donde R_{yy} es la submatriz de correlaciones de las p variables de la matriz Y , R_{yx} es la submatriz de correlaciones de las variables de las matrices Y y X , R_{xx} es la submatriz de correlaciones de las q variables de la matriz X , mientras que R_{xy} es la transpuesta de R_{yx} .

La relación entre los grupos de variables $Y_{(n \times p)}$ y $X_{(n \times q)}$ se halló al encontrar dos nuevas variables llamadas canónicas, que son (Jobson, 1992):

$$U = \beta' Y = \beta_1 Y_1 + \beta_2 Y_2 + \dots + \beta_p Y_p \quad (9)$$

y

$$V = \alpha' X = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_q X_q \quad (10)$$

Para ello se buscaron vectores β y α que maximizaron la correlación entre los primeros pares de variables canónicas U y V (Johnson y Wichern, 1992). Los coeficientes de los vectores β y α en las variables canónicas son los eigenvectores, también llamados pesos canónicos, los cuales ponderan la

importancia de cada variable original sobre la variable canónica. La correlación canónica entre U y V se obtuvo:

$$Corr(U, V) = \frac{\alpha' R_{xy} \beta}{\sqrt{\beta' R_{yy} \beta} \sqrt{\alpha' R_{xx} \alpha}} \quad (11)$$

Se introducen las siguientes restricciones

$$\alpha' \sum_{xx} \alpha = \beta' \sum_{yy} \beta = 1 \quad (12)$$

Para maximizar la correlación sujeta a las restricciones anteriores se redujo a resolver los dos sistemas de ecuaciones homogéneas:

$$(R_{yy}^{-1} R_{yx} R_{xx}^{-1} R_{xy} - \lambda_a I_a) \alpha = 0 \quad (13)$$

$$(R_{xx}^{-1} R_{xy} R_{yy}^{-1} R_{yx} - \lambda_b I_b) \beta = 0 \quad (14)$$

Donde I_b (qxq) e I_a (pxp) son las matrices identidad y λ es el eigenvalor y es igual a la correlación al cuadrado.

Posteriormente se calculó la correlación canónica de los siguientes pares de variables canónicas y así sucesivamente. El mínimo de correlaciones

canónicas que se pueden calcular, son $s = \min(p, q)$, que corresponden a s pares de variables canónicas (Rencher, 2001).

Antes de realizar el análisis e interpretación de las correlaciones y las variables canónicas, debe probarse $H_0: \rho_1 = 0$ contra $H_a: \rho_1 \neq 0$. Al aceptar H_a se considera que la correlación entre U y V es significativa. La significancia puede ser probada por (Johnson, 2000):

$$\Lambda_1 = \frac{|S|}{|S_{yy}| |S_{xx}|} = \frac{|R|}{|R_{yy}| |R_{xx}|}, \quad (15)$$

La cual está distribuida como $\Lambda_{p,q,n-1-q}$. Se rechaza H_0 si $\Lambda_1 \leq \Lambda_\alpha$. Si los parámetros exceden el intervalo de los valores críticos para Λ de Wilks, se puede utilizar la aproximación (Rencher, 2001):

$$X^2 = - \left[n - \frac{1}{2}(p + q + 3) \right] \ln \Lambda_1 \quad (16)$$

La cual está aproximadamente distribuida como X^2 con pq grados de libertad. Se rechaza H_0 si $X^2 \geq X_{\alpha}^2$. Debe aplicarse la prueba de hipótesis para cada una de las correlaciones canónicas que resultaron del análisis. Si la

primera correlación resulta significativa, entonces se procede con la siguiente y sucesivamente hasta que se acepte H_0 , es decir, cuando las correlaciones dejaron de ser significativas.

Jobson (1992), menciona que es útil determinar los coeficientes de correlación entre las variables originales y las variables canónicas. Estas correlaciones, son llamadas correlaciones estructurales, y al examinarlas, también pueden interpretarse las variables canónicas.

Para analizar la relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales, se utilizó la función ACAPE en el programa computacional MATLAB (Trujillo-Ortiz *et al.*, 2004). Las correlaciones entre ambos conjuntos de variables fueron anuales, de 1972 a 2006. Los datos utilizados corresponden a valores mensuales. Debido a que las respuestas de las poblaciones tienen un retraso en el tiempo ante los estímulos ambientales (Cushing, 1975), se realizaron las correlaciones canónicas con desfases en el tiempo de un mes y dos meses.

3. RESULTADOS

3.1 Distribución temporal y espacial de la captura de *E. mordax* y su relación con la temperatura superficial del mar

3.1.1 Distribución temporal

La serie de valores mensuales promedio de captura del período 1972-2006 muestra la siguiente tendencia en la distribución temporal (Fig. 3). En los tres primeros meses del año la captura era pequeña. Pero a partir de abril los desembarques aumentaban paulatinamente hasta alcanzar un máximo valor de captura en julio. Después los volúmenes de captura descendían gradualmente hasta un mínimo relativo al finalizar el año.

Por otro lado, en la figura 4 se observa que los valores anuales de captura de los barcos muestreados de la empresa Pesquera Zapata, durante el período 1978-1989, muestran una tendencia muy similar a la que presentaron los datos registrados por SAGARPA.

El comportamiento de las capturas durante 1978-1989 fue como se describe a continuación. En 1978 la captura total fue de 135,038 t, mientras que la de Pesquera Zapata fue de 16,727 t. Al paso de los años fueron aumentando los volúmenes de captura. En 1981 se registró el máximo valor de

captura en SAGARPA y en la empresa pesquera con 258,745 t y 48,553.15 t respectivamente. En el año de 1983 disminuyó la magnitud de la captura a 9,447.9 t. En los años siguientes la captura osciló alrededor de 17,000 t.

Los datos de la Pesquera Zapata representan una muestra del total de desembarques registrados por SAGARPA. Por este motivo, puede decirse que el análisis de la distribución espacio-temporal realizado con los datos de los barcos muestreados de la empresa Pesquera Zapata es representativo del total de capturas efectuadas en la región.

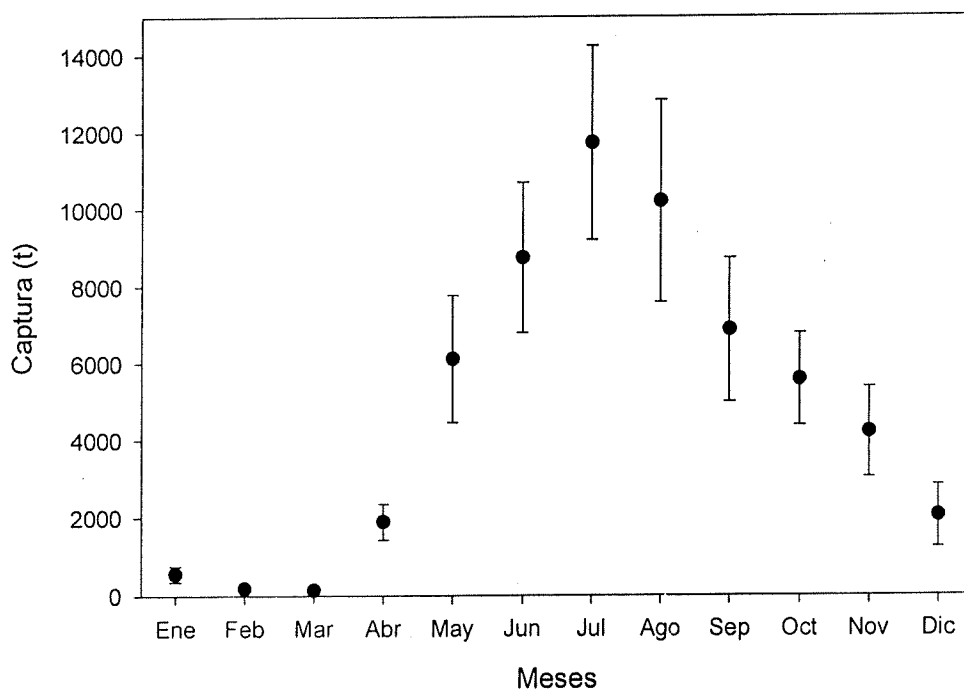


Figura 3. Variación mensual de la captura de anchoveta del período 1972 – 2006. Datos registrados por SAGARPA.

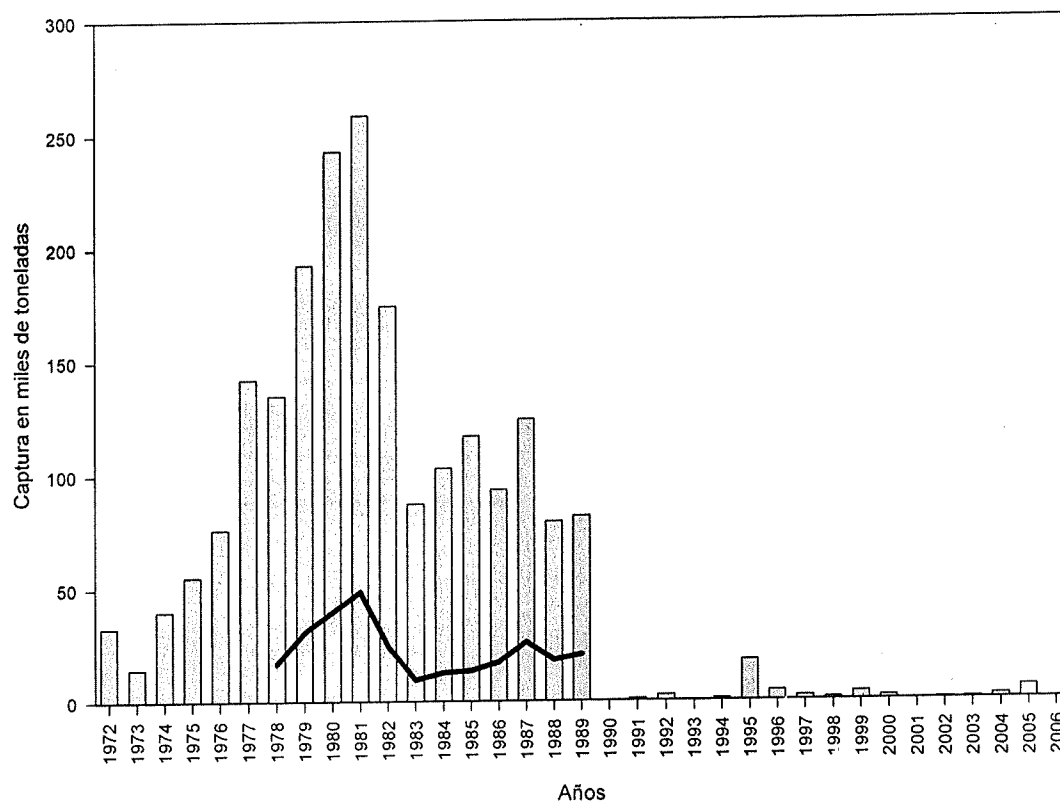


Figura 4. Serie anual de la captura de anchoveta durante los períodos 1972-2006 y 1978-1989 registrado por SAGARPA y la Pesquera Zapata S.A. de C.V. respectivamente. La línea indica las capturas de los barcos muestreados de la empresa Pesquera Zapata S.A. de C.V.

3.1.2 Distribución espacial

En la figura 5 se observa la captura acumulada de 1978 a 1989. El sitio en donde se obtuvo la mayor magnitud de captura acumulada estuvo entre Punta Banda ($31^{\circ} 43' N$) y Punta Santo Tomás ($31^{\circ} 34' N$), el cual sumó un total de 23,064.8 t.; el segundo sitio en importancia estuvo frente a Bahía San Ramón ($30^{\circ} 49' N$) que tuvo un total de 18,591.47 t; el tercer lugar se situó entre Punta Descanso ($32^{\circ} 17' N$) y Punta Salsipuedes ($32^{\circ} 00' N$) con 18,336.7 t. El resto de los sitios representaron un total menor a 16 mil toneladas cada uno.

La distribución mensual de la captura de anchoveta se describe a partir de abril, ya que en este mes empezaba la temporada de pesca de la Pesquera Zapata S.A. de C.V. Esta empresa generalmente finalizaba sus operaciones hasta diciembre, aunque en cuatro años se extendió hasta enero y posterior a 1983 el ciclo pesquero parecía no estar claramente definido, pues finalizaba de uno a tres meses antes de que terminara el año.

En abril las capturas se realizaron desde el norte de Punta Descanso ($32^{\circ} 17' N$) hasta aproximadamente el sur de Punta Colonet ($30^{\circ} 58' N$) a una temperatura promedio de $16.3^{\circ}C$ (Fig. 6). En mayo la pesca se extendió hasta el sur de San Quintín ($30^{\circ} 26' N$) y las capturas se efectuaron a una temperatura promedio de $16.5^{\circ}C$ (Fig. 6). En junio y julio los barcos ampliaron

su actividad hasta Punta Baja ($29^{\circ} 57' N$) y las capturas se realizaron a una temperatura promedio de $17.4^{\circ}C$ y $18.9^{\circ}C$ respectivamente (Fig. 7). En agosto la región de pesca abarcó desde el sur de Tijuana ($32^{\circ} 35' N$) hasta Bahía San Quintín ($30^{\circ} 26' N$) a una temperatura promedio de $20.1^{\circ}C$ (Fig. 8). En septiembre pescaron desde el norte de Punta Descanso hasta aproximadamente Bahía San Ramón ($30^{\circ} 49' N$) a una temperatura promedio de $20.6^{\circ}C$ (Fig. 8). En octubre y noviembre las actividades de pesca cubrieron desde el sur de Tijuana ($32^{\circ} 35' N$) hasta el sur de Punta Baja ($29^{\circ} 57' N$) a una temperatura promedio de $19.9^{\circ}C$ y $18.4^{\circ}C$ respectivamente (Fig. 9). En diciembre la captura se realizó desde el norte de Salsipuedes al sur de San Quintín ($30^{\circ} 26' N$) a una temperatura promedio de $16.7^{\circ}C$ (Fig. 10). Finalmente en enero la distribución de la captura se ubicó desde el norte de Punta Descanso ($32^{\circ} 17' N$) hasta aproximadamente Punta San José ($31^{\circ} 28' N$) a una temperatura promedio de $15.7^{\circ}C$ (Fig. 10).

La distribución de las capturas a lo largo del ciclo pesquero parece indicar que la extensión del hábitat de la anchoveta se expande hacia el sur durante primavera-verano y se contrae hacia el norte durante otoño-invierno. Por otro lado, la magnitud de la captura y su distribución aumentó o disminuyó en función a la temperatura. Esto puede indicar una asociación entre la temperatura y la captura, la cual puede ser confirmada a través del análisis de correlación anual.

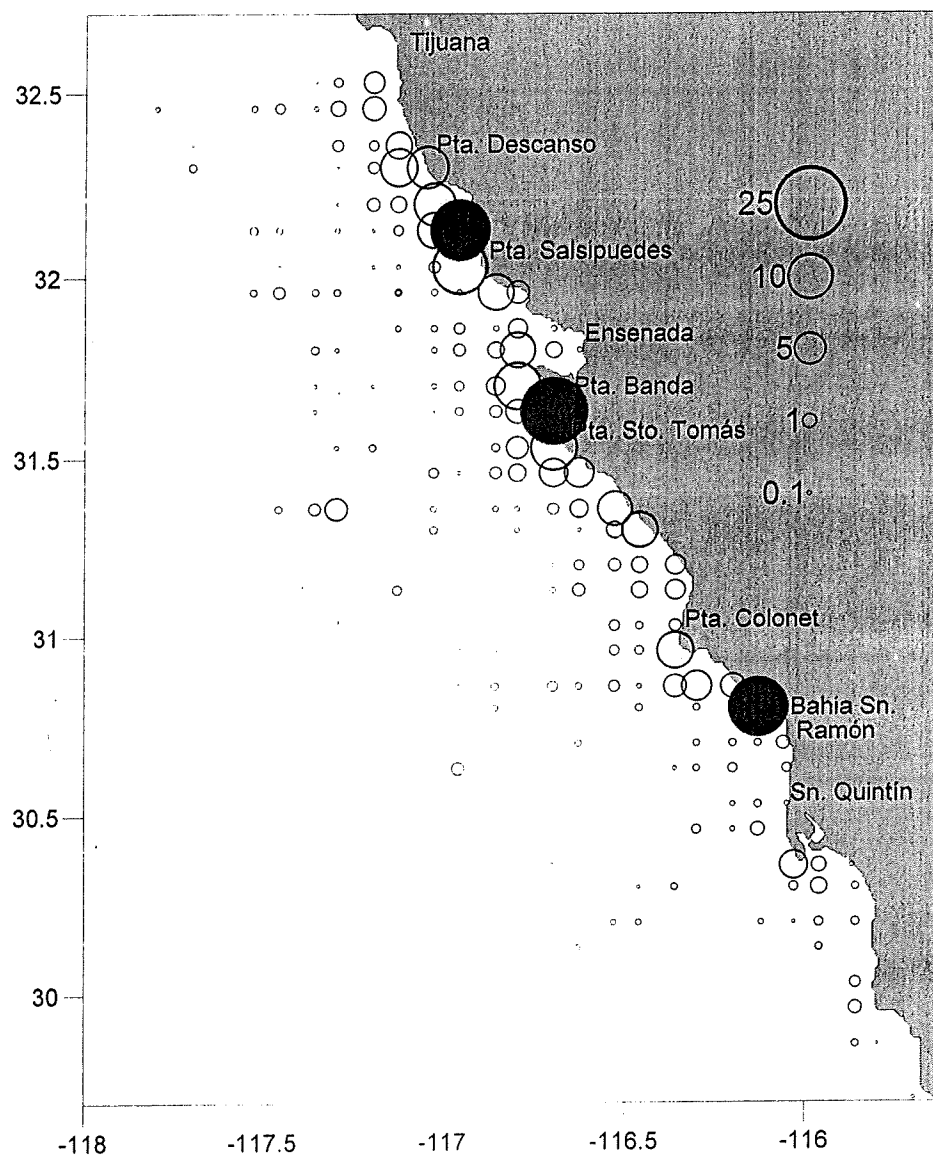


Figura 5. Distribución espacial de la captura de la anchoveta durante el período de 1978 a 1989, datos registrados por Pesquera Zapata S. A. de C. V. Las unidades que se muestran en la leyenda, equivalen a miles de toneladas.

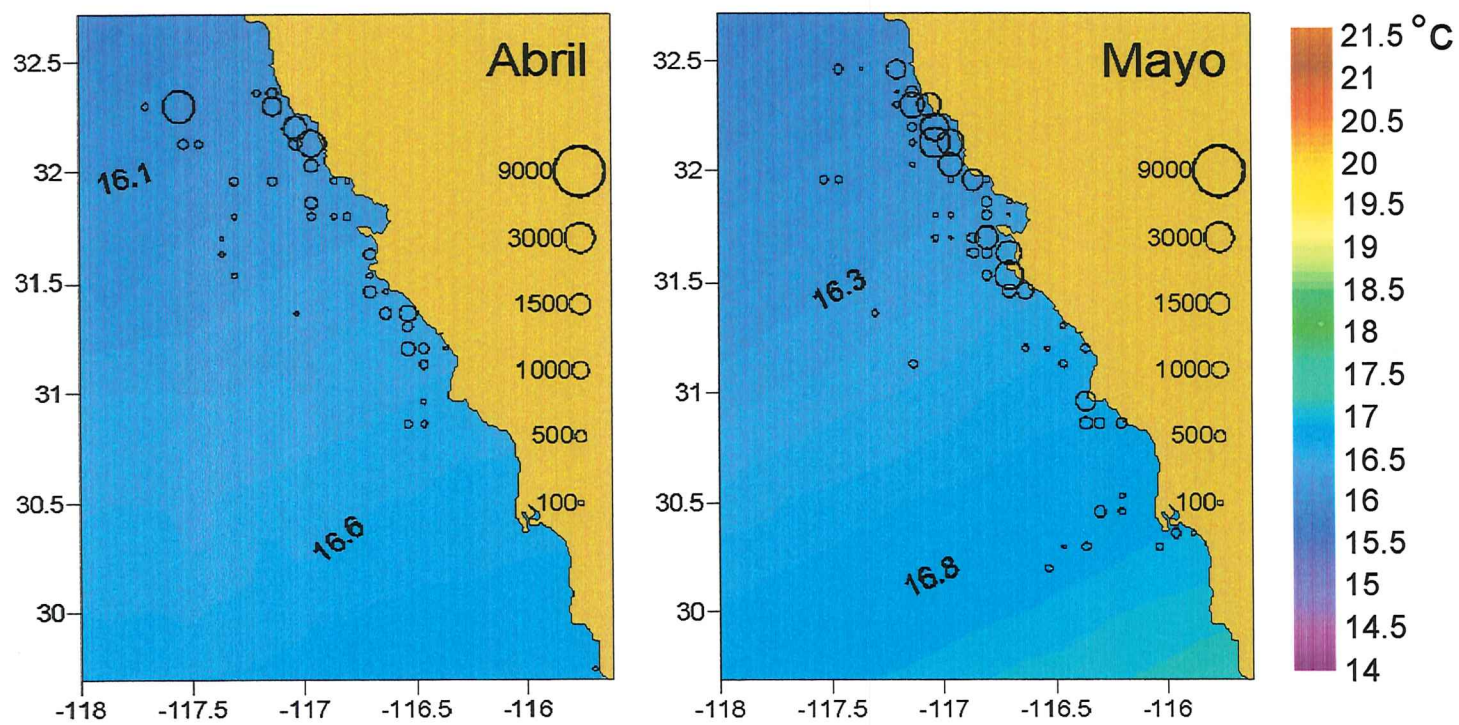


Figura 6. Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de abril y mayo. Las unidades de captura que se muestran en las leyendas equivalen a toneladas.

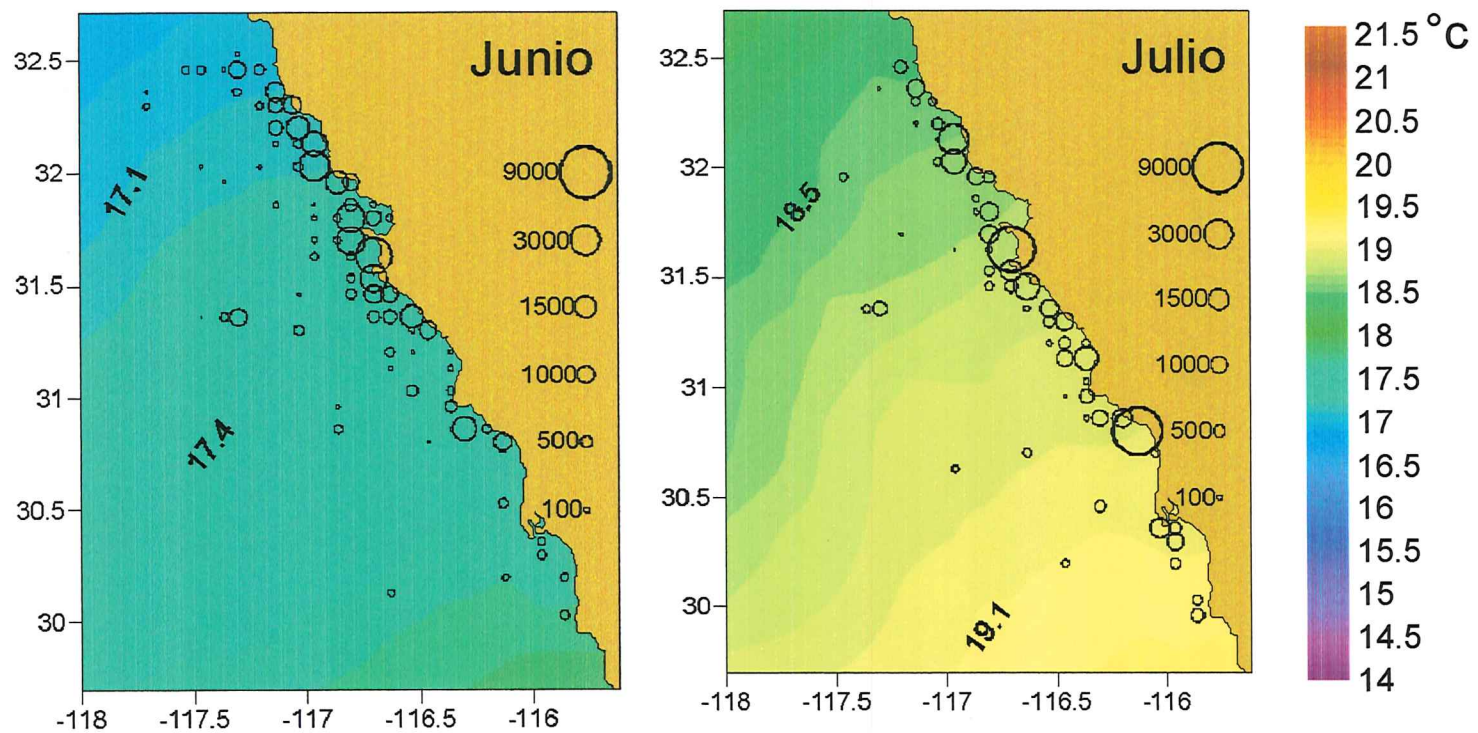


Figura 7. Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de junio y julio. Las unidades de captura que se muestran en las leyendas equivalen a toneladas.

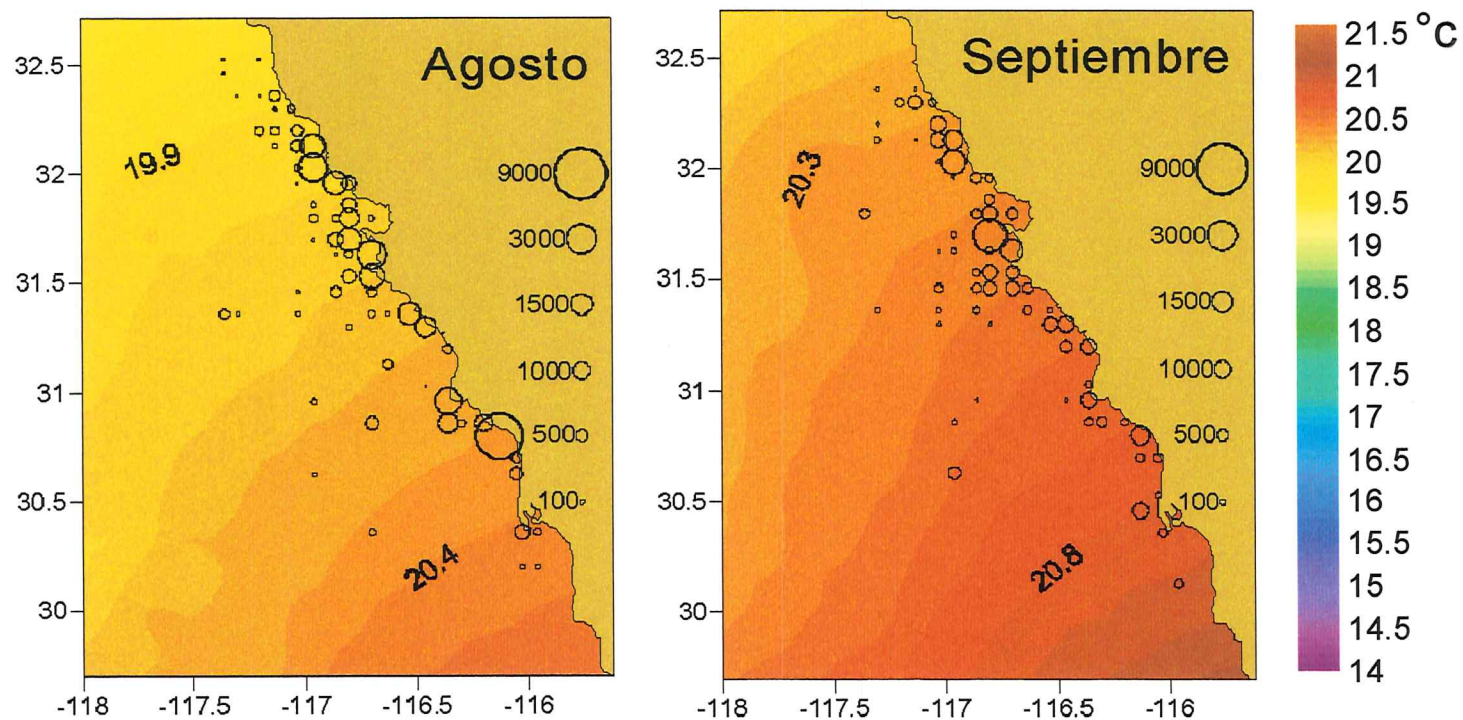


Figura 8. Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de agosto y septiembre. Las unidades de captura que se muestran en las leyendas equivalen a toneladas.

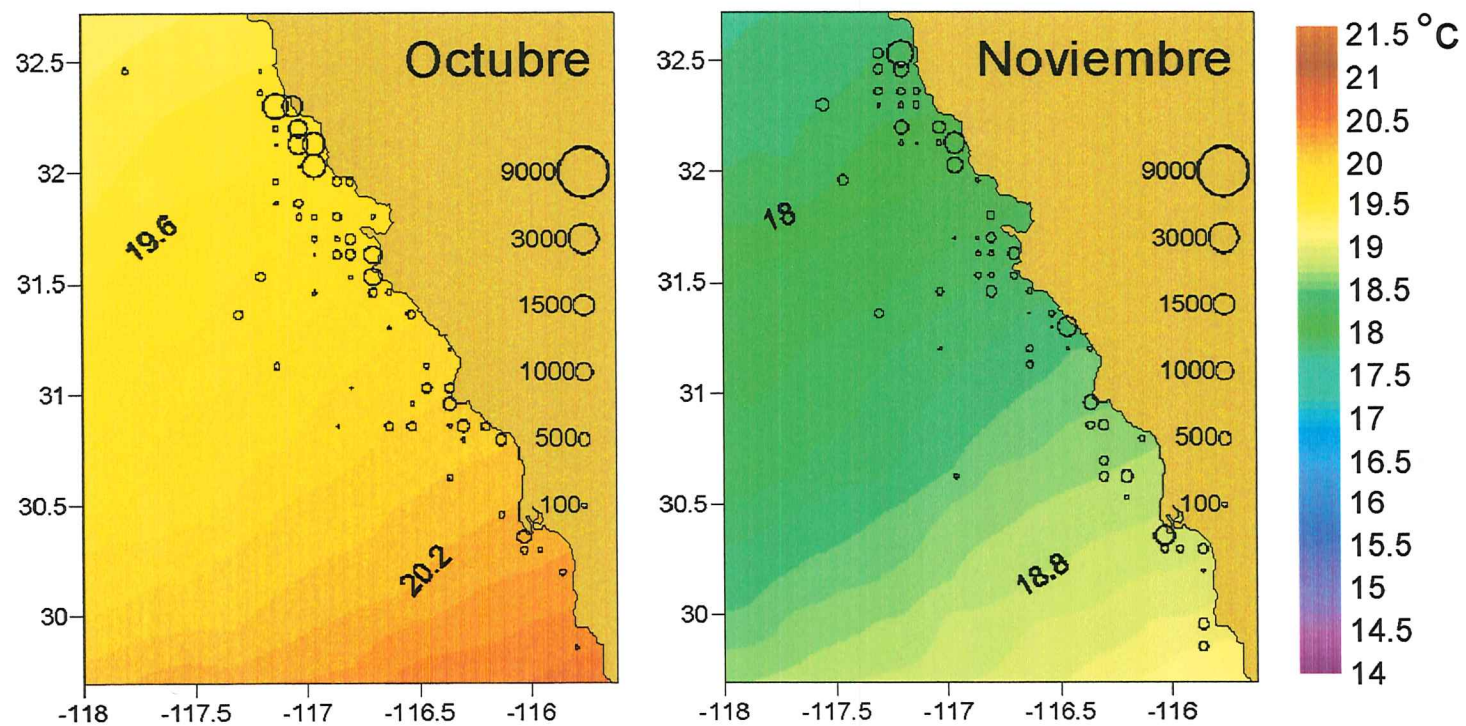


Figura 9. Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de octubre y noviembre. Las unidades de captura que se muestran en las leyendas equivalen a toneladas.

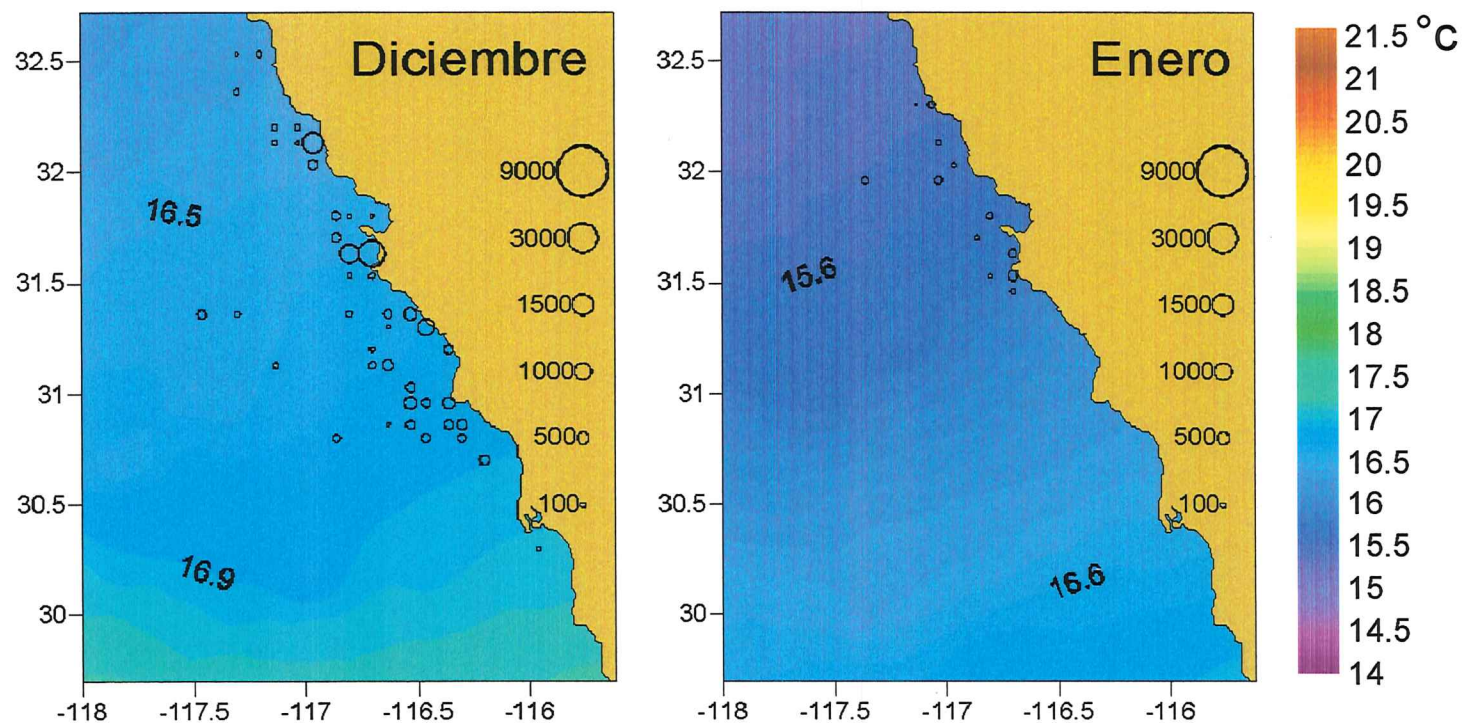


Figura 10. Distribución de la captura de anchoveta y promedio climatológico de la temperatura superficial del mar, correspondientes a los meses de diciembre y enero. Las unidades de captura que se muestran en las leyendas equivalen a toneladas.

La comparación de las capturas realizadas en IP y en CC en 81 meses, mostró que en el 70.4% de los meses las capturas fueron más grandes en IP y el 29.6% de los meses restantes las capturas fueron mayores en CC (Anexo). Cuando se contrastaron las capturas de IP y LC en 40 meses, se observó que en el 70% de estos la captura fue mayor en IP, mientras que en el 30% de los meses las capturas fueron mayores en LC (Anexo).

Al analizar la distribución de los volúmenes de pesca de cada año, se observó que en nueve años las capturas fueron más grandes en IP y en los tres restantes fueron mayores en CC (Tabla II). Además, al contrastar los desembarques de IP y LC se encontró que IP tuvo mayores volúmenes de pesca en los once años analizados (Tabla III). Estos resultados indican que IP tiene las mayores capturas. En la figura 4 se puede observar que en las puntas es en donde estas se concentran, por lo tanto son sitios productivos para la pesca.

Tabla II. Detalle estadístico del contraste entre IP y CC. La cuarta y quinta columna corresponden a la suma de rangos de IP Y CC respectivamente. En la última columna se señala cuando la captura fue mayor en IP. El valor crítico de $X^2_{0.1,2}$ es igual a 2.706.

Año	n en IP	n en CC	R IP	R CC	H calc	IP con mayores capturas
78	13	15	213	193	7.3	√
79	19	28	530	598	8.6	
80	19	35	681	804	14.2	
81	19	22	469	392	9.3	√
82	15	18	325	236	12.4	√
83	10	16	171	180	9.6	
84	20	27	578	550	10.4	√
85	18	17	378	252	9.2	√
86	16	18	309	286	7.0	√
87	16	12	245	161	6.4	√
88	11	12	400	139	285.2	√
89	10	6	89	47	6.2	√

Tabla III. Detalle estadístico del contraste entre IP y LC. La cuarta y quinta columna corresponden a la suma de rangos de IP Y LC respectivamente. En la última columna se señala cuando la captura fue mayor en IP. En 1989 la pesca de la Pesquera Zapata sólo se realizó en IP y CC, por lo tanto este análisis estadístico llega hasta 1988. El valor crítico de $X^2_{0.1,2}$ es igual a 2.706.

Año	n en IP	n en LC	R IP	R CC	H calc	IP con mayores capturas
78	13	15	231	175	9.8	√
79	19	29	598	578	13.8	√
80	19	21	522	298	18.9	√
81	19	16	415	215	11.8	√
82	15	2	138	15	6.2	√
83	10	3	79	12	8.3	√
84	20	9	351	84	11.8	√
85	18	7	271	54	11.0	√
86	16	5	203	28	11.0	√
87	16	1	151	2	8.0	√
88	11	1	75	3	7.0	√

3.1.3 Relación entre la magnitud de la captura y la temperatura superficial de mar.

El análisis de correlación mensual consistió en relacionar la suma semanal acumulada de captura y la temperatura promedio semanal generados durante cada mes. Se analizaron 54 meses de los cuales las siguientes fechas presentaron una asociación positiva, octubre y diciembre de 1982, agosto de 1987 y mayo de 1989. Además hubo una relación negativa en julio de 1987. El bajo número de correlaciones significativas puede deberse a que los datos de temperatura no tuvieron variaciones mayores a 1°C dentro de un periodo mensual. Debe recordarse que los datos de temperatura superficial del mar utilizados, corresponden a promedios de ocho días. Por esta razón, los sucesos que perduraron durante un reducido tiempo fueron encubiertos por el promedio.

Con respecto a las correlaciones anuales (relación entre la suma semanal acumulada de captura y la temperatura promedio semanal generados durante cada año), se encontraron asociaciones positivas en 1981, 1988 y 1989, mientras que en 1982, 1983 y 1984 fueron negativas (Tabla IV). Este resultado puede significar que hay una relación directa entre la captura de anchoveta y la temperatura superficial del mar, pero que durante 1982-1984 hubo algún evento que alteró la asociación entre ambas variables.

Tabla IV. Descripción estadística de las correlaciones anuales entre la captura y la temperatura superficial del mar. La cuarta columna representa la aproximación de la distribución t de student de R_s cuando el número de observaciones fue mayor a 100.

Año	n	R_s	Z calc	Valor crítico de R_s	Correlación significativa
81	13	0.6332	-	0.484	√
82	154	-0.1416	-1.7633	1.654	√
83	60	-0.3625	-	0.214	√
84	118	-0.4193	-4.9745	1.658	√
85	87	-0.0121	-	0.177	
86	79	0.1477	-	0.186	
87	76	-0.0661	-	0.19	
88	56	0.2946	-	0.222	√
89	50	0.4052	-	0.235	√

3.2 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales

3.2.1 Desarrollo de la pesquería de pelágicos menores

En la figura 11, se observan cuatro fases dentro del desarrollo de la pesquería de pelágicos menores. En la primera década se observó un incremento constante en los desembarques de la anchoveta, mientras que las de sardina y macarela permanecieron casi imperceptibles o nulas. Para la segunda década, se notó el mayor pico de captura de la anchoveta con 258,745 t. y posteriormente un drástico descenso de la misma en 1983, cuyo peso total fue de 87,429 t. Posterior a este suceso, las poblaciones de sardina y macarela, comenzaron a evidenciarse ligeramente.

En la tercera década, se observó un abrupto colapso de la pesquería de la anchoveta en 1990 cuando se registraron 98.9 t. Por otro lado, las capturas de sardina y macarela incrementaron a 11,123.4 t. y 38,804 t. respectivamente. Durante la década de los noventa la anchoveta ya no se recobró, mientras que la sardina y la macarela tuvieron oscilaciones. La reducción en la captura de anchoveta no fue debido a una disminución en el esfuerzo pesquero hacia *E. mordax*, pues la flota de Baja California realizó la pesca sin seleccionar la especie. En la cuarta década, el volumen de pesca de la sardina fue la más grande en comparación con las otras dos especies.

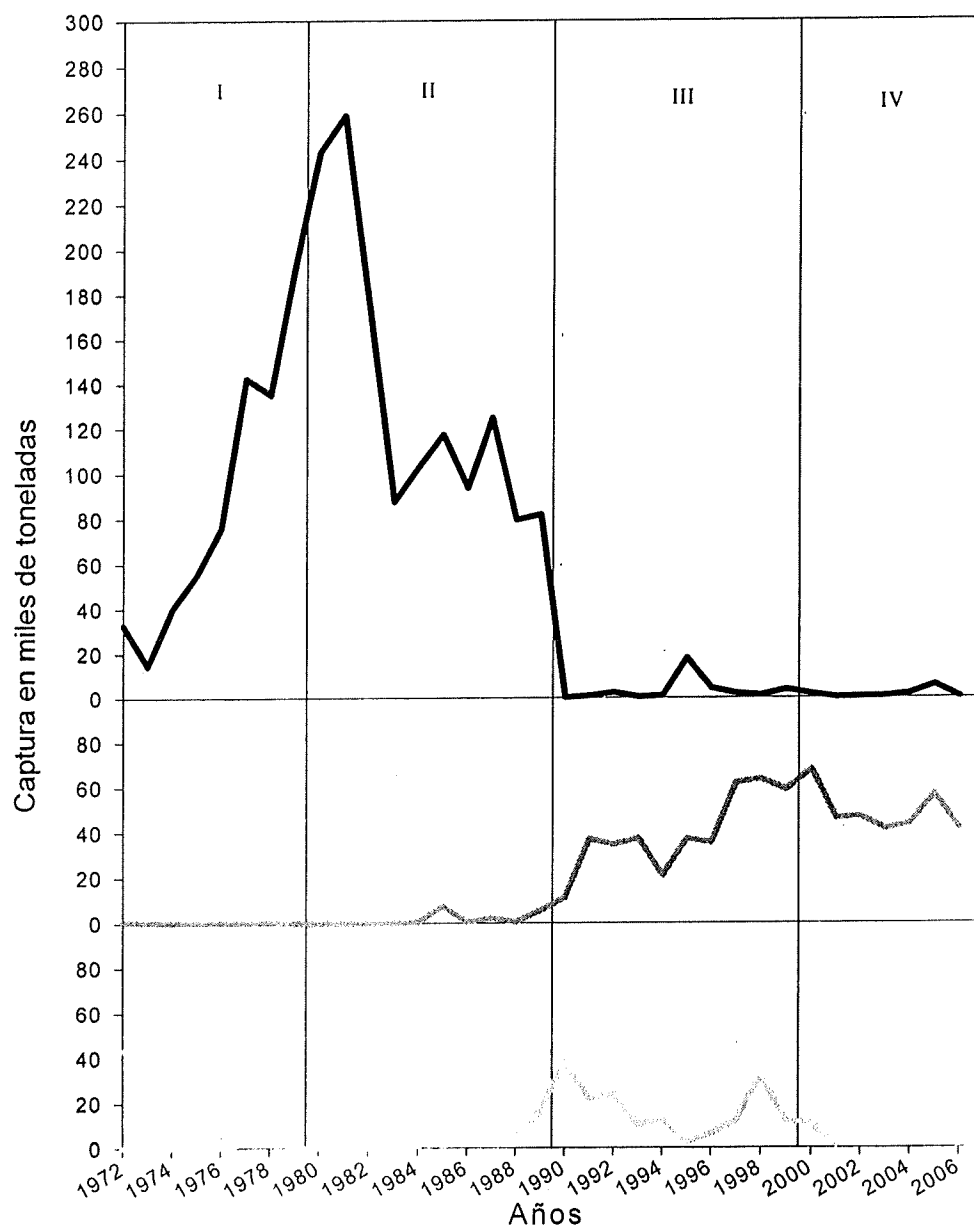


Figura 11. Variación anual de la captura de las poblaciones de pelágicos menores (1972-2006). La línea negra corresponde a la captura de anchoveta, la línea gris de sardina y la línea gris claro de macarela. Datos registrados por SAGARPA.

3.2.2 Resultados estadísticos de la correlación canónica entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales

En la siguiente sección, se detallan los resultados de las correlaciones canónicas entre las variables de capturas de pelágicos menores y las variables ambientales. Así mismo se mencionan aquellas variables que contribuyeron en la significancia de las correlaciones canónicas. Las correlaciones estructurales (relación entre las variables originales y las variables canónicas), algunas ocasiones presentaron las mismas asociaciones que se observaron en las variables canónicas (U y V). Cuando las correlaciones estructurales brindaron información adicional, se mencionó en el escrito. Debe recordarse que de 1979 a 1983 no se llevó a cabo este análisis por la ausencia de datos.

Los primeros cuatro bloques decadales, corresponden a las correlaciones entre variables sin ningún desfase ambiental. En la década de los setenta, se encontraron dos correlaciones canónicas significativas en 1972 y una en 1976 (Tabla V). En la tabla VI, se puede observar que en la correlación de 1972, la captura de sardina tuvo un coeficiente relativamente alto dentro de U_1 , mientras que en V_1 presentó una mayor influencia el índice de surgencias (SGR). En las correlaciones estructurales, ODP también mostró una asociación con las variables ya mencionadas. Con respecto a la segunda correlación canónica, en 1972, las variables que conformaron la correlación entre U_2 y V_2 , fueron la captura de la anchoveta y las variables ambientales ODP y SGR. Por

otro lado, las variables captura de anchoveta, índice de oscilación del sur (IOS) y ODP mostraron el mayor coeficiente en las correlaciones estructurales. En 1976 hubo un balance entre las capturas de anchoveta, sardina y macarela en U_1 , mientras que las variables IOS y SRG tuvieron una alta participación en la variable canónica V_1 . Estas asociaciones también se presentaron en las correlaciones estructurales, con la diferencia que en estas hubo un coeficiente alto en ODP, en vez de SGR.

Tabla V. Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1972-1978. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
72	0.9454	0.0029	√
	0.8161	0.0817	√
	0.0887	0.8076	
73	0.6350	0.6358	
	0.5568	0.5345	
	0.2160	0.5494	
74	0.8334	0.2199	
	0.5667	0.5597	
	0.1051	0.7729	
75	0.8532	0.2489	
	0.3918	0.8012	
	0.2258	0.5311	
76	0.9790	0.0009	√
	0.6036	0.3860	
	0.3091	0.3855	
77	0.7274	0.3945	
	0.6067	0.4298	
	0.2238	0.5348	
78	0.8543	0.1781	
	0.5411	0.5820	
	0.1842	0.6109	

Tabla VI. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1972-1978. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
72	$U_1 = 0.6458 A + 1.0207 S - 0.1205 M$ $V_1 = 0.2049 IOS - 0.3225 ODP + 0.8950 SGR$	0.2625	0.7741	-0.3347	-0.0622	-0.6625	0.8929
	$U_2 = 0.9217 A - 0.1322 S + 0.4169 M$ $V_2 = 0.2420 IOS + 1.0834 ODP + 0.8207 SGR$	0.8943	-0.5361	0.2515	-0.5952	0.7484	0.406
76	$U_1 = 0.5699 A + 0.5572 S + 0.5125 M$ $V_1 = -0.8970 IOS + 0.1835 ODP - 0.6079 SGR$	0.7195	0.5034	0.6038	-0.7656	0.8831	-0.2486

En la tabla VII, se puede observar que 1984, 1987 y 1989 tuvieron correlaciones canónicas significativas. Las variables canónicas correspondientes a estos años, se muestran en la tabla VIII. En 1984, la variable canónica U_1 estuvo básicamente representada por la captura de anchoveta, la cual tuvo una asociación con las variables ODP y SGR. En 1987 la correlación entre U_1 y V_1 se dio principalmente por las variables de la captura de anchoveta y SGR. En el año de 1989 se obtuvieron dos correlaciones canónicas significativas. En la primera, la variable captura de anchoveta se correlacionó con las variables ODP Y SGR. En la segunda, la captura de la sardina y la macarela se relacionaron con las tres variables ambientales. Los mayores coeficientes en las correlaciones estructurales fueron las variables captura de sardina, captura de macarela e IOS.

Tabla VII. Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1984-1989. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
84	0.9211	0.0504	√
	0.5230	0.6016	
	0.2127	0.5557	
85	0.8512	0.3987	
	0.3746	0.9026	
	0.0992	0.7999	
86	0.8425	0.1532	
	0.6370	0.4151	
	0.0624	0.8642	
87	0.9553	0.0076	√
	0.6322	0.3863	
	0.2046	0.5712	
88	0.6883	0.8952	
	0.6058	0.7378	
	0.3240	0.5333	
89	0.8679	0.0285	√
	0.7864	0.0867	√
	0.3381	0.3400	

Tabla VIII. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1984-1989. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
84	$U_1 = -1.2839 A + 0.1444 S + 0.3111 M$ $V_1 = 0.1766 IOS + 0.6660 ODP - 0.5395 SGR$	-0.9577	-0.5555	-0.4799	0.3446	0.7999	-0.7532
87	$U_1 = 0.8189 A - 0.2351 S + 0.2444 M$ $V_1 = 0.2002 IOS + 0.3695 ODP + 0.9622 SGR$	0.9331	-0.3115	0.6659	-0.4225	0.5080	0.9321
89	$U_1 = 1.0613 A - 0.4456 S + 0.2423 M$ $V_1 = -0.1564 IOS + 0.4227 ODP + 0.6175 SGR$	0.8822	0.2103	0.65	-0.1725	0.9338	0.9366
	$U_2 = 0.4285 A + 0.5060 S - 0.7452 M$ $V_2 = 0.8687 IOS + 1.4795 ODP - 1.3150 SGR$	0.4482	0.7575	-0.5699	0.5164	0.3040	-0.0773

En la década de los noventa, los años 1994, 1997, 1998 y 1999 tuvieron correlaciones canónicas significativas (Tabla IX). En la tabla X, se muestran las variables canónicas que corresponden a estos años. En 1994 se presentó una correlación entre la captura de la sardina y la macarela y la variable ambiental ODP. El año de 1997 hubo una mayor correlación entre las variables de captura de la anchoveta y la sardina y las variables ambientales ODP y SGR. Estas mismas variables, a excepción de ODP, tuvieron un coeficiente alto dentro de las correlaciones estructurales. En 1998 la relación se presentó entre la captura de la macarela y ODP y dentro de las correlaciones estructurales también se incluye la variable IOS. Finalmente en 1999 se observó un balance entre las variables de las capturas de la anchoveta y la sardina, además presentaron una asociación con las variables ambientales IOS, ODP y SGR. En las correlaciones estructurales las variables con mayor participación fueron la captura de anchoveta, IOS y ODP.

Tabla IX. Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1990-1999. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha= 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
90	0.7796	0.3263	
	0.5423	0.5108	
	0.2936	0.4109	
91	0.7927	0.2071	
	0.6672	0.3209	
	0.1877	0.6040	
92	0.7087	0.6701	
	0.3461	0.8352	
	0.2527	0.4818	
93	0.7300	0.5156	
	0.5131	0.6487	
	0.1563	0.6668	
94	0.9073	0.0202	√
	0.6742	0.1549	
	0.4958	0.1458	
95	0.7252	0.5808	
	0.3760	0.7458	
	0.3184	0.3705	
96	0.8550	0.1028	
	0.6778	0.3147	
	0.1307	0.7191	
97	0.8536	0.0778	√
	0.6401	0.2203	
	0.4591	0.1828	
98	0.8329	0.0727	√
	0.7740	0.1437	
	0.0047	0.9897	
99	0.8595	0.0464	√
	0.7726	0.1316	
	0.1867	0.6059	

Tabla X. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 1990-1999. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
94	$U_1 = 0.0770 A + 0.7825 S + 0.5322 M$ $V_1 = 0.2305 IOS - 1.1023 ODP + 0.5777 SGR$	0.2050	0.8450	0.6070	-0.4377	-0.8872	0.2129
97	$U_1 = 0.5668 A - 0.5360 S - 0.1074 M$ $V_1 = -0.5274 IOS - 1.6616 ODP + 1.4868 SGR$	0.8825	-0.8146	-0.5884	0.1953	-0.2297	0.4851
98	$U_1 = -0.2825 A - 0.2799 S - 0.8161 M$ $V_1 = 0.1865 IOS + 1.1235 ODP - 0.3919 SGR$	-0.3418	-0.4679	-0.9465	-0.8746	0.9406	-0.2714
99	$U_1 = -1.1415 A + 1.1780 S + 0.4825 M$ $V_1 = 1.4684 IOS - 1.1327 ODP + 1.3074 SGR$	-0.5574	0.1763	0.3234	0.4371	-0.4877	-0.1486

En la última década, se obtuvo una correlación significativa en 2001 (Tabla XI). La variable canónica U_1 fue representada por la captura de la sardina y la macarela, mientras que ODP tuvo un alto coeficiente en V_1 (Tabla XII).

Las capturas de la sardina y la macarela fueron casi nulas durante los setenta y la mayor parte de los ochenta. Esto debió repercutir en la poca participación que tuvieron dentro de las correlaciones canónicas. La variable biológica que aportó más a la correlación canónica durante las dos primeras décadas analizadas fue la captura de la anchoveta que generalmente se relacionó con SGR. La captura de la anchoveta y SGR tienen un comportamiento mensual muy similar, a principios de año ambos presentan

valores bajos, en verano registran un pico y posteriormente vuelven a descender. De esta conducta, puede provenir la relación estadística observada entre la captura de anchoveta y SGR.

En las siguientes dos décadas, que abarcan de 1990 a 2006, la captura de anchoveta ya había colapsado. Por lo que la participación de la anchoveta fue menor, mientras que la sardina y macarela tuvieron una mayor presencia dentro de las correlaciones canónicas. Las variables de captura de la sardina y la macarela se asociaron con ODP, lo cual correspondería a una relación de estas dos especies con períodos cálidos.

Tabla XI. Descripción estadística de la correlación canónica sin desfase en el tiempo entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 2000-2006. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
00	0.7259	0.5072	
	0.5392	0.6169	
	0.1029	0.7774	
01	0.9165	0.0595	√
	0.5358	0.6217	
	0.1098	0.7629	
02	0.8857	0.1230	
	0.4874	0.6501	
	0.2373	0.5097	
03	0.8807	0.1905	
	0.3811	0.8753	
	0.0731	0.8411	
04	0.6869	0.5058	
	0.6055	0.4784	
	0.0975	0.7889	
05	0.7459	0.4474	
	0.5429	0.5926	
	0.1526	0.6742	
06	0.8066	0.4622	
	0.7672	0.4059	
	0.0275	0.9535	

Tabla XII. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas sin desfase en el tiempo correspondiente al período 2000-2006. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
01	$U_1 = 0.3093 A - 0.5003 S + 0.77 M$ $V_1 = 0.2304 IOS + 0.8258 ODP - 0.0904 SGR$	0.2062	-0.6299	0.8066	0.696	0.9689	-0.4368

Las correlaciones canónicas significativas al realizar el desfase de un mes en las variables ambientales, se describen a continuación. En la primera década se tuvieron correlaciones significativas en 1972, 1975, 1976 y 1978 (Tabla XII). En la tabla XIV, se muestran las variables canónicas y correlaciones estructurales correspondientes a estos años. En 1972 hubo dos correlaciones significativas. En la primera las variables de la captura de la anchoveta y la sardina fueron las que mayormente contribuyeron en la variable canónica U_1 . Con respecto a V_1 , esta fue una función de ODP y SGR. En la segunda las capturas de los tres pelágicos menores participaron en U_2 y estas a su vez se relacionaron con IOS. Estas mismas variables, excepto la captura de macarela, tuvieron coeficientes altos en las correlaciones estructurales. En 1975 la captura de anchoveta tuvo una relación con SGR. En el año 1976, la asociación se dio principalmente entre la captura de anchoveta y ODP, mientras que en las correlaciones estructurales también se incluye la variable IOS. Finalmente en el

año 1978, la correlación entre las variables canónicas U1 y V1 estuvo principalmente en función de la captura de anchoveta y SGR.

Tabla XIII. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1972-1978. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
72	0.9434	0.0036	√
	0.8038	0.0954	√
	0.1190	0.7437	
73	0.8066	0.1916	
	0.6509	0.3407	
	0.2230	0.5362	
74	0.8117	0.2576	
	0.5467	0.5242	
	0.2638	0.4620	
75	0.9311	0.0203	√
	0.5961	0.3409	
	0.3877	0.2691	
76	0.9310	0.0168	√
	0.6653	0.2801	
	0.2959	0.4072	
77	0.8745	0.2158	
	0.3618	0.8936	
	0.0833	0.8193	
78	0.9351	0.0306	√
	0.4749	0.5815	
	0.3438	0.3314	

Tabla XIV. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1972-1978. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
72	$U_1 = 0.8796 A + 0.9052 S - 0.0723 M$ $V_1 = 0.1275 IOS - 0.5750 ODP + 0.7710 SGR$	0.5329	0.5612	-0.3212	-0.1004	-0.7327	0.7672
	$U_2 = 0.6608 A - 0.4941 S + 0.4077 M$ $V_2 = -0.8037 IOS + 0.2376 ODP + 0.1218 SGR$	0.8264	-0.7888	0.1790	-0.9844	0.6756	0.5921
75	$U_1 = 0.8632 A + 0.0502 S - 0.3406 M$ $V_1 = -0.7547 IOS + 0.1137 ODP + 1.1004 SGR$	0.9426	-0.1586	-0.5704	-0.2381	0.2721	0.7173
76	$U_1 = 0.7364 A + 0.3739 S + 0.4202 M$ $V_1 = -0.2381 IOS + 0.8072 ODP + 0.0203 SGR$	0.8579	0.3334	0.5796	-0.8420	0.9840	0.2581
78	$U_1 = -1.0546 A + 0.1721 S + 0.0605 M$ $V_1 = 0.0636 IOS + 0.3142 ODP - 0.9047 SGR$	-0.9840	-0.1629	-0.1608	-0.6127	0.5524	-0.9565

En la década de los ochenta, hubo correlaciones significativas en 1984, 1987 y 1989 (Tabla XV). En estos tres años la mayor correlación se dio entre la captura de anchoveta y SGR (Tabla XVI). Aunque en 1989, dentro de las correlaciones estructurales también se observó, aunado a las variables mencionadas, un alto coeficiente en la variable ODP.

Tabla XV. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1984-1989. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
84	0.9492	0.0113	√
	0.6289	0.4079	
	0.1665	0.6462	
85	0.9090	0.2327	
	0.2073	0.9906	
	0.0191	0.9611	
86	0.8296	0.1236	
	0.6541	0.2653	
	0.3588	0.3093	
87	0.9642	0.0089	√
	0.4931	0.7193	
	0.0068	0.9852	
88	0.9722	0.2263	
	0.6080	0.8061	
	0.0000	1.0000	
89	0.9905	0.0001	√
	0.5677	0.5200	
	0.2021	0.5760	

Tabla XVI. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1984-1989. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A); sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
84	$U_1 = 1.1312 A - 0.5049 S + 0.2863 M$ $V_1 = 0.1337 IOS - 0.0930 ODP + 1.0061 SGR$	0.9605	0.5584	0.6823	-0.2609	-0.4505	0.9869
87	$U_1 = 0.8377 A + 0.1685 S + 0.2888 M$ $V_1 = -0.0448 IOS + 0.0513 ODP + 0.9753 SGR$	0.9629	0.0811	0.6222	-0.3994	0.1808	0.9974
89	$U_1 = 1.0603 A - 0.3128 S + 0.1849 M$ $V_1 = -0.0731 IOS - 0.0447 ODP + 1.0196 SGR$	0.9403	0.3415	0.5943	-0.2704	0.8182	0.9973

En el período 1990-1999, los años que tuvieron correlaciones significativas fueron 1991, 1994, 1997 y 1999 (Tabla XVII). Los coeficientes de las variables canónicas y de las correlaciones estructurales se pueden observar en la tabla XVIII. En 1991 la captura de sardina tuvo coeficiente relativamente alto en la variable canónica U_1 y se correlacionó con IOS y SGR. En las correlaciones estructurales la captura de sardina, IOS y ODP presentaron altos coeficientes. En el año de 1994 las capturas de la sardina y la macarela se correlacionaron con ODP y SGR. En 1997 y 1999 la variable canónica U_1 fue principalmente una función de las capturas de la sardina y la macarela, mientras que la variable ODP fue la que más influyó en V_1 en 1997 y SGR en 1999. Con respecto a las correlaciones estructurales, en 1997 las capturas de las tres especies de pelágicos menores y ODP presentaron elevados coeficientes. En 1999 esto sucedió para las capturas de la sardina y la macarela, así como de IOS y SGR.

Tabla XVII. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 1990-1999. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
90	0.7787	0.5783	
	0.2466	0.9660	
	0.1168	0.7482	
91	0.9162	0.0644	√
	0.5097	0.6618	
	0.1400	0.7000	
92	0.6479	0.8469	
	0.2854	0.9425	
	0.1323	0.7158	
93	0.8040	0.2809	
	0.4596	0.5367	
	0.4056	0.2456	
94	0.9400	0.0131	√
	0.6752	0.3124	
	0.1622	0.6547	
95	0.7220	0.6051	
	0.4556	0.7755	
	0.0718	0.8439	
96	0.8695	0.1660	
	0.5123	0.6728	
	0.0900	0.8048	
97	0.9396	0.0162	√
	0.6460	0.3788	
	0.1436	0.6927	
98	0.7737	0.2117	
	0.6547	0.2692	
	0.3505	0.3214	
99	0.9509	0.0142	√
	0.5640	0.5442	
	0.1662	0.6466	

Tabla XVIII. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 1990-1999. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
91	$U_1 = 0.3736 A + 1.0572 S - 0.4009 M$ $V_1 = -0.7320 IOS + 0.3940 ODP - 0.5008 SGR$	0.3133	0.8390	0.0101	-0.8178	0.7720	-0.1940
94	$U_1 = 0.2946 A + 0.5761 S + 0.6715 M$ $V_1 = 0.3342 IOS - 0.7888 ODP + 0.9346 SGR$	0.3916	0.6858	0.7290	-0.5904	-0.6629	0.7216
97	$U_1 = 0.2551 A - 0.6018 S - 0.4317 M$ $V_1 = -0.9674 IOS - 2.1900 ODP + 1.0119 SGR$	0.8175	-0.8005	-0.7172	0.3232	-0.6563	-0.1232
99	$U_1 = 0.0914 A - 0.7668 S + 0.4298 M$ $V_1 = -0.3457 IOS + 0.0912 ODP + 0.7213 SGR$	-0.5837	-0.9298	0.7917	-0.8180	0.1317	0.9778

En la última década analizada, las correlaciones canónicas que resultaron significativas fueron en 2000, 2001, 2005 y 2006 (Tabla XIX). En la tabla XX, se detallan las variables canónicas y las correlaciones estructurales correspondientes a estos años. En el año 2000 se dio una asociación directa entre la captura de la macarela y SGR, aunque en las correlaciones estructurales también se incluye la variable IOS. En 2001 las capturas de anchoveta, sardina y macarela se relacionaron con IOS y ODP, pero al examinar los coeficientes de las correlaciones estructurales se observa una participación de las tres variables ambientales. En el penúltimo año, 2005, la mayor correlación estuvo en función de la captura de macarela y ODP. Finalmente en 2006, U_1 fue representada por la captura de anchoveta, mientras que V_1 fue una función de IOS y SGR.

Al realizar el desfase de tiempo por un mes, entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, se observó un mayor número de correlaciones significativas. Generalmente en las décadas setenta y ochenta la relación se dio prácticamente entre la captura de la anchoveta y SGR. Estas dos variables muestran el mismo comportamiento estacional al adelantar un mes el efecto de las variables ambientales, lo cual pudo derivar en un mayor número de correlaciones significativas.

De 1990 a 2006, la captura de la sardina y la macarela tuvieron una mayor participación dentro de las correlaciones canónicas, pues como ya se explicó la captura de la anchoveta representó escasos desembarques durante este tiempo. Las variables ambientales no presentaron un patrón claro, sin embargo SGR predominó en las correlaciones canónicas.

Tabla XIX. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de un mes entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales correspondiente al período 2000-2006. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
00	0.9104	0.0151	√
	0.7862	0.1232	
	0.0628	0.8633	
01	0.9770	0.0034	√
	0.4120	0.8401	
	0.0615	0.8661	
02	0.8248	0.1757	
	0.6517	0.3839	
	0.0520	0.8867	
03	0.8342	0.1201	
	0.6935	0.2735	
	0.1697	0.6396	
04	0.5843	0.9272	
	0.2655	0.9613	
	0.0949	0.7945	
05	0.8693	0.0790	√
	0.6660	0.2984	
	0.2534	0.4804	
06	0.9717	0.0313	√
	0.6896	0.2514	
	0.6495	0.1164	

Tabla XX. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de un mes en el tiempo, correspondientes al período 2000-2006. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
00	$U_1 = 0.3206 A + 0.2597 S - 0.9027 M$ $V_1 = -0.7230 IOS + 0.6794 ODP - 1.7601 SGR$	0.1326	0.3974	-0.9463	0.6186	-0.0830	-0.8543
01	$U_1 = 0.4910 A - 0.6042 S + 0.5935 M$ $V_1 = 0.6091 IOS + 0.5770 ODP + 0.0551 SGR$	0.4149	-0.7080	0.6208	0.8733	0.8749	-0.6667
05	$U_1 = -0.0501 A + 0.4820 S + 0.8561 M$ $V_1 = -0.6523 IOS - 1.2680 ODP + 0.5363 SGR$	-0.4952	0.4926	0.8618	0.0182	-0.8499	-0.1226
06	$U_1 = 0.8547 A + 0.3098 S + 0.1680 M$ $V_1 = -0.5046 IOS + 0.1935 ODP + 0.6925 SGR$	0.9767	0.1193	-0.2858	-0.7803	-0.1352	0.9132

A continuación se detallan los resultados estadísticos de las correlaciones canónicas cuando las variables ambientales puedan estar presentando un efecto sobre las poblaciones de pelágicos menores dos meses después de que se ha provocado el estímulo. En la primera década, resultaron correlaciones canónicas significativas en los años 1972, 1974, 1976 y 1977 (Tabla XXI). Las variables canónicas y correlaciones estructurales correspondientes a estos años se muestran en la tabla XXII. En 1972, se obtuvieron dos correlaciones canónicas. En la primera la asociación se dio entre la captura de anchoveta y las variables ambientales ODP y SGR, en las correlaciones estructurales fueron la captura de anchoveta y SGR. En la segunda correlación canónica la captura de sardina tuvo un coeficiente alto en U_1 , mientras que IOS y ODP representaron a V_1 . En el siguiente año, 1974, la variable canónica U_1 estuvo en función de la captura de anchoveta, mientras que V_1 mostró un balance entre las variables ambientales IOS y SGR. Las correlaciones estructurales tuvieron altos coeficientes en estas mismas variables aunque también sucedió para ODP. En 1976, hubo una relación entre la captura de anchoveta y ODP, en las correlaciones estructurales lo fueron la captura de anchoveta, IOS y ODP. En el último año, 1977, las capturas de la anchoveta y la macarela se correlacionaron con SGR, pero dentro de las correlaciones estructurales fueron la captura de la anchoveta y SGR.

Tabla XXI. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1972-1978. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
72	0.9346	0.0015	√
	0.8809	0.0238	√
	0.0749	0.8372	
73	0.8837	0.1908	
	0.3431	0.9049	
	0.1109	0.7607	
74	0.9500	0.0070	√
	0.7043	0.2658	
	0.1010	0.7816	
75	0.6852	0.5986	
	0.5309	0.6240	
	0.1325	0.7156	
76	0.9548	0.0023	√
	0.7738	0.1139	
	0.2776	0.4381	
77	0.9109	0.0398	√
	0.6356	0.3611	
	0.2452	0.4953	
78	0.9452	0.1487	
	0.3984	0.9089	
	0.0999	0.8143	

Tabla XXII. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1972-1978. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
72	$U_1 = 1.1088 A + 0.3778 S + 0.0972 M$ $V_1 = -0.2486 IOS - 0.6766 ODP + 0.6922 SGR$	0.9396	-0.0724	-0.1492	-0.3566	-0.5069	0.8212
	$U_2 = 0.0344 A + 0.9581 S - 0.2484 M$ $V_2 = 0.6485 IOS - 0.4833 ODP - 0.0167 SGR$	-0.2995	0.9664	-0.3396	0.9143	-0.8259	-0.4788
74	$U_1 = 1.0017 A + 0.1978 S - 0.1191 M$ $V_1 = -0.5509 IOS - 0.0506 ODP + 0.5422 SGR$	0.9890	0.2404	0.3211	-0.9436	0.7059	0.9515
76	$U_1 = -0.9062 A - 0.2129 S - 0.1977 M$ $V_1 = 0.3191 IOS - 0.5365 ODP - 0.2963 SGR$	-0.9639	-0.2013	-0.4235	0.9599	-0.9109	-0.6919
77	$U_1 = 0.8139 A - 0.1904 S + 0.6545 M$ $V_1 = 0.1876 IOS + 0.1153 ODP + 1.1624 SGR$	0.8280	0.1796	0.5505	-0.5080	-0.3847	0.9804

El período 1984-1989, hubo correlaciones canónicas significativas en 1985, 1986, 1987 y 1989 (Tabla XXIII). Las variables canónicas y correlaciones estructurales correspondientes a estos años, se presentan en la tabla XXIV. Las variables macarela en 1985 y anchoveta en 1986, se relacionaron con SGR. En 1987 hubo dos correlaciones canónicas significativas. En la primera la captura de la sardina y de la macarela se asociaron con SGR y en las correlaciones estructurales las capturas de las tres especies se relacionaron con esta misma variable. En la segunda las capturas de la anchoveta y la sardina fueron las variables representativas de U_2 y ODP de V_2 . En las correlaciones estructurales se observaron coeficientes altos en las capturas de anchoveta y sardina, así como de IOS y ODP. En 1989 la correlación estuvo fuertemente representada por la captura de anchoveta y SGR. En este mismo año las capturas de anchoveta y sardina, además de IOS y ODP, mostraron una mayor participación en las correlaciones estructurales.

Tabla XXIII. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1984-1989. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
84	0.8666	0.1904	
	0.4692	0.7361	
	0.1329	0.7147	
85	0.9701	0.0093	√
	0.5843	0.4853	
	0.3273	0.3908	
86	0.9006	0.0208	√
	0.7691	0.1322	
	0.2152	0.5510	
87	0.9622	0.0004	√
	0.8646	0.0333	√
	0.1345	0.7113	
88	0.8431	0.7400	
	0.5608	0.7985	
	0.3023	0.5625	
89	0.9718	0.0011	√
	0.7366	0.2093	
	0.0075	0.9835	

Tabla XXIV. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1984-1989. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
85	$U_1 = 0.5377 A - 0.0611 S + 1.0034 M$ $V_1 = 0.0948 IOS + 0.5927 ODP + 1.1788 SGR$	0.3469	0.5687	0.8454	0.0454	-0.0243	0.8569
86	$U_1 = -0.8615 A - 0.0118 S - 0.5947 M$ $V_1 = 0.1299 IOS + 0.2263 ODP - 0.9730 SGR$	-0.8061	-0.0857	-0.5120	0.1661	0.1830	-0.9630
87	$U_1 = 0.3197 A + 0.7882 S + 0.5840 M$ $V_1 = -0.1022 IOS + 0.4421 ODP + 0.8329 SGR$	0.5629	0.6416	0.5383	-0.3065	0.5151	0.8895
	$U_2 = 0.8113 A - 0.6357 S - 0.0907 M$ $V_2 = -0.5421 IOS + 0.8102 ODP + 0.2824 SGR$	0.7848	-0.6318	0.4231	0.5479	0.7519	0.3319
89	$U_1 = 0.7309 A + 0.0558 S + 0.4169 M$ $V_1 = 0.2690 IOS - 0.4442 ODP + 1.4288 SGR$	0.9280	0.5114	0.7033	-0.2904	0.6178	0.9466

En la década de los noventa, hubo correlaciones significativas en 1990, 1991, 1994, 1997 y 1999 (Tabla XXV). En la tabla XXVI, se muestran las variables canónicas y correlaciones estructurales correspondientes a estos años. En 1990, la correlación entre U_1 y V_1 esta en función de la captura de macarela y SGR. En el año 1991 se dio una asociación entre la captura de sardina y ODP. El año 1994 presentó una relación entre las capturas de macarela y sardina, así como de las variables ambientales ODP y SGR, esto mismo se observa en las correlaciones estructurales con la variable IOS. En 1997 las capturas de los tres pelágicos menores influyeron en la variable canónica U_1 , mientras que V_1 estuvo representada por ODP. Los mayores coeficientes de las correlaciones estructurales correspondientes a este año fueron la captura de sardina, ODP y SGR. El último año de este período, 1999, tuvo una correlación entre la captura de sardina y SGR. En cuanto a las correlaciones estructurales, estas mismas variables presentaron elevados coeficientes aunque también se les suma las variables de la captura de macarela y ODP.

Tabla XXV. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 1990-1999. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
90	0.9438	0.0173	√
	0.5658	0.4782	
	0.2783	0.4368	
91	0.8798	0.0773	√
	0.6136	0.3577	
	0.3238	0.3620	
92	0.7595	0.5189	
	0.4472	0.7902	
	0.0629	0.8632	
93	0.7831	0.2780	
	0.5228	0.4278	
	0.4190	0.2288	
94	0.9228	0.0143	√
	0.6953	0.1746	
	0.4119	0.2377	
95	0.7667	0.4899	
	0.4297	0.7729	
	0.1869	0.6056	
96	0.7726	0.5992	
	0.2392	0.9684	
	0.1201	0.7413	
97	0.9600	0.0056	√
	0.6398	0.3833	
	0.1712	0.6367	
98	0.7895	0.3191	
	0.5419	0.5452	
	0.2461	0.4936	
99	0.9771	0.0010	√
	0.6446	0.3365	
	0.2597	0.4693	

Tabla XXVI. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 1990-1999. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
90	$U_1 = 0.0672 A - 0.1743 S + 0.9080 M$ $V_1 = 0.2340 IOS - 0.2017 ODP + 1.0194 SGR$	0.4067	-0.4516	0.9846	0.5681	0.6498	0.9792
91	$U_1 = 0.2410 A + 1.0936 S - 0.5107 M$ $V_1 = 0.4261 IOS + 1.2295 ODP - 0.5231 SGR$	0.1926	0.8419	-0.0644	-0.1803	0.7730	-0.2416
94	$U_1 = 0.0853 A - 0.6288 S - 0.7272 M$ $V_1 = -0.1716 IOS + 0.5750 ODP - 0.8419 SGR$	-0.0205	-0.6843	-0.7859	0.7728	0.6877	-0.8757
97	$U_1 = -0.7214 A - 0.9905 S - 0.7769 M$ $V_1 = -0.7694 IOS - 1.4035 ODP - 0.1605 SGR$	0.2484	-0.8106	-0.4844	0.4901	-0.8903	-0.7954
99	$U_1 = 0.5237 A - 1.0092 S + 0.3929 M$ $V_1 = 0.5400 IOS + 0.3450 ODP + 1.1397 SGR$	-0.2962	-0.8685	0.7092	-0.0873	0.5470	0.7532

En el último bloque del análisis, se encontraron correlaciones canónicas en los años 2000 y 2001 (Tabla XXVII). En el año 2000 se observaron dos correlaciones canónicas significativas (Tabla XVIII). En la primera, la captura de sardina tuvo una correlación con las tres variables ambientales, sin embargo en las correlaciones estructurales la captura de sardina, IOS y ODP tuvieron los coeficientes más altos. En la segunda, la captura de macarela se asoció con SGR y en las correlaciones estructurales hubo una fuerte participación de estas dos variables y de IOS. En el 2001 las capturas de la sardina y la macarela se relacionaron con ODP y SGR, los coeficientes más representativos de las correlaciones estructurales los tuvieron la captura de sardina, IOS, ODP y SGR (Tabla XVIII).

Al realizar la correlación canónica entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales con un retraso en el tiempo por dos meses, se observó que en las cuatro décadas SGR tuvo altos coeficientes. En las décadas de los setenta y ochenta esta variable se relacionó principalmente con la captura de anchoveta. Mientras que en las siguientes dos décadas lo fue principalmente con la captura de sardina y en menor medida con la captura de macarela. La variable SGR, después de dos meses, puede estar influenciando la magnitud de la captura de la sardina y la macarela.

Tabla XXVII. Descripción estadística de la correlación canónica con desfase en el tiempo de dos meses entre las capturas de pelágicos menores y los parámetros ambientales, correspondientes al período 2000-2006. La correlación resulta no significativa si el valor P es mayor o igual que alfa ($\alpha = 0.1$).

Año	Correlación Canónica	Valor-P	Correlación significativa
00	0.9379	0.0007	√
	0.8757	0.0111	√
	0.4949	0.1466	
01	0.9604	0.0156	√
	0.3862	0.8755	
	0.0241	0.9473	
02	0.8774	0.1514	
	0.4954	0.6925	
	0.1280	0.7249	
03	0.8046	0.3120	
	0.5363	0.6135	
	0.1321	0.7164	
04	0.6332	0.6804	
	0.5532	0.6022	
	0.0102	0.9777	
05	0.8293	0.1358	
	0.6277	0.2969	
	0.3772	0.2834	
06	0.9095	0.4655	
	0.3446	0.9385	
	0.2237	0.6307	

Tabla XXVIII. Variables canónicas y correlaciones estructurales de las correlaciones canónicas que resultaron significativas con desfase de dos meses en el tiempo, correspondientes al período 2000-2006. La variable canónica U muestra los coeficientes de las capturas de anchoveta (A), sardina (S) y macarela (M). La variable canónica V presenta a los coeficientes del Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) e Índice de Surgencias (SGR).

Año	Variables canónicas	Correlaciones estructurales					
		U			V		
		A	S	M	IOS	ODP	SGR
00	$U_1 = -0.1942 A + 0.7917 S - 0.2803 M$ $V_1 = 1.4716 \text{ IOS} - 1.2479 \text{ ODP} + 1.6210 \text{ SGR}$	-0.5254	0.9472	-0.5280	0.4740	-0.6288	-0.2975
	$U_2 = -0.1942 A + 0.7917 S - 0.2803 M$ $V_2 = 0.2443 \text{ IOS} - 0.4906 \text{ ODP} + 1.4260 \text{ SGR}$	-0.4910	0.1605	0.7936	-0.7771	0.3026	0.9385
01	$U_1 = 0.3943 A - 0.7795 S + 0.4124 M$ $V_1 = 0.1111 \text{ IOS} + 0.4944 \text{ ODP} - 0.5473 \text{ SGR}$	0.3470	-0.8524	0.4820	0.7494	0.8545	-0.9032

En general, la captura de anchoveta influyó más en las correlaciones canónicas durante las primeras dos décadas, lo cual puede estar muy relacionado con la predominancia de esta especie en los desembarques de la flota de Baja California. La captura de anchoveta se asoció con SGR debido a que esta variable es la que dispara los procesos productivos en el hábitat de la anchoveta y ambos presentan una estacionalidad muy parecida.

Por otro lado, la captura de anchoveta y principalmente la captura de sardina, presentaron una asociación con ODP en períodos fríos (1947-1976) y cálidos (1978-1999) respectivamente. En el análisis de correlación canónica la variable IOS no tuvo mucha influencia en las capturas de anchoveta, sardina y macarela, estas tres especies parecen estar más relacionadas con SGR y ODP.

4. DISCUSIÓN

4.1 Distribución temporal y espacial de la captura de *E. mordax* y su relación con la temperatura superficial del mar

Dentro de este estudio se observó que la captura de anchoveta mostró un comportamiento estacional similar a través de los años analizados. Por ejemplo, en invierno las capturas eran escasas y generalmente estas se realizaban en el norte de Baja California. Conforme avanzaba el año los desembarques se hacían cada vez más abundantes, hasta alcanzar un máximo pico en verano. Mientras tanto, los cercos pesqueros se realizaban dentro de un área cada vez más extensa, desde Tijuana hasta Punta San Carlos. Después del período de alta productividad venía una reducción paulatina en los volúmenes y en el área de pesca, hasta llegar de nuevo a un mínimo de invierno.

Este comportamiento en las capturas podría estar reflejando la distribución temporal y espacial de la población central de *E. mordax*. De ser así, la razón por la cual en invierno los volúmenes de captura son pocos y se encuentran en el norte del estado, puede deberse a que la población migra hacia la costa de E. U. A. En estudios anteriores, ya se ha confirmado un movimiento de la especie desde Baja California hasta las costas sureñas de California y viceversa (Vrooman *et al.*, 1966; Wood y Collins, 1969).

Mais (1974) menciona que la anchoveta migra en invierno desde las costas de Baja California hasta las de California. La migración hacia aguas más al norte ocasiona que las máximas capturas en California ocurran en invierno (Sunada y Silva, 1980; Vidal-Talamantes, 1995), lo que sugiere que la mayor parte de la población se encuentra en esa región y en esa época. Esta migración invernal parece verse favorecida por la intensificación y persistencia de contracorrientes costeras (Lynn y Simpson, 1987).

La anchoveta nortea se reproduce principalmente a finales de invierno y principios de primavera (Chávez *et al.*, 1977; Chiappa-Carrara *et al.*, 1989; Smith, 1972), aunque también se ha reportado un segundo pulso de desove menos intenso durante octubre (Chávez *et al.*, 1977). En la región del sur de California, se ha observado que esta población desova cerca de la costa (Peterson *et al.*, 2006). Sin embargo, también se ha documentado un desove en la zona oceánica en algunos años, debido a la presencia anómala de un vórtice anticiclónico ubicado a 400 km al sureste de Punta Concepción (Brewer y Smith, 1982; Fiedler, 1986).

Después de dos o cuatro días del desove las larvas de esta especie eclosionan (Vidal-Talamantes, 1989) y se mueven hacia dentro de la costa durante marzo (Fiedler, 1986). De primavera a verano las larvas y organismos adultos podrían migrar al sur cuando la corriente de California intensifica su flujo hacia el ecuador (Lynn y Simpson, 1987) durante la época de surgencias (Fig.

12). Es así que en verano gran parte de la población se localiza en la zona costera de Baja California y es en este período cuando se presentan los mayores desembarques en la región.

En primavera-verano los vientos del noroeste generan surgencias en la región de la Corriente de California (Lynn y Simpson, 1987) (Fig. 12). Si bien, en toda el área migratoria de la anchoveta se presenta este fenómeno estacional, no significa que en todos los sitios se este presentando con la misma intensidad. En la región costera de San Diego (33° norte y 119° oeste) esta variable alcanza valores tan altos como $\sim 350 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ m}$ de línea de costa durante los meses de mayo a julio (Schwing *et al.*, 1996). En cambio, en la zona costera de Baja California el índice de surgencias alcanza $\sim 200 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ m}$ de línea de costa a los 30° N (Schwing *et al.*, 1996).

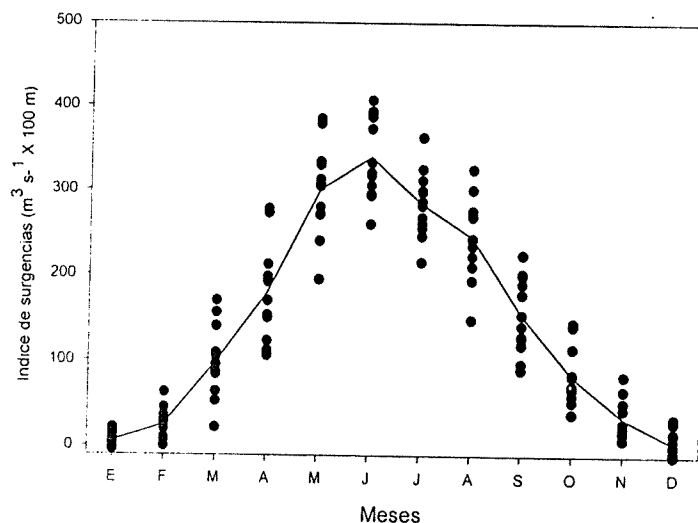


Figura 12. Comportamiento mensual del índice de surgencias del período 1972-2006. La línea indica el promedio mensual del índice de surgencias a través este período.

Las condiciones de surgencia en las costas norteamericanas quizá resulten desventajosas para las larvas, pues la fuerza del transporte de Ekman hacia fuera de la costa podría arrastrarlas lejos de su hábitat. Además, el éxito en la supervivencia de las larvas no solo depende de la intensidad de las surgencias sino de períodos de relajación que permitan la acumulación de alimento (Wroblewski *et al.*, 1989; Wilkerson *et al.*, 2006). Las costas de Baja California probablemente ofrezcan condiciones óptimas en la velocidad, frecuencia y duración del viento, por lo cual son utilizadas como zonas de alimentación.

Durante verano los organismos juveniles y adultos de la anchoveta norteña se alimentan e incrementan su biomasa. Se ha encontrado una fuerte dependencia entre el estado de gordura y la temperatura superficial del mar, donde los meses cálidos corresponden a un alto contenido de grasas (García-Franco *et al.*, 1999). Muy probablemente, parte de la energía consumida sea destinada al desarrollo de gónadas para el siguiente ciclo reproductivo y también para la migración.

En la figura 3 se puede observar que la flota de Baja California pescaba una menor magnitud de captura a principios del año. Probablemente esta pesca correspondía a individuos juveniles de anchoveta que recorrían un área menos extensa para cumplir con su migración. Se ha observado en otras especies de

menor locomoción y por lo tanto viajan distancias más reducidas en comparación a los adultos de mayor tamaño (Harden-Jones, 1968).

Los mayores volúmenes de captura generalmente se realizaban en zonas de influencia de surgencia provocadas por puntas. Se puede inferir que estos lugares son fuente de alimento para esta población, ya que alrededor de las puntas se forman remolinos que atrapan y concentran nutrientes (Singel y Rockwell, 1991).

Robinson (2004), observó que cuando los pigmentos de clorofila eran escasos, la anchoveta norteña desaparecía del área. Esta evidencia sugiere que cuando el cardumen agota el recurso concentrado en zonas de influencia de surgencias provocadas por puntas, este se desplaza hacia a otros sitios, como la región oceánica, en donde pueda continuar con su alimentación.

Al correlacionar la temperatura con la captura, se observó que no hubo asociación entre las variables en la mayoría de los meses analizados. Esto podría deberse a la poca variación que tuvo la temperatura en la zona de pesca en cada uno de los meses analizados, pues generalmente esta oscilaba dentro de un intervalo menor a 1°C.

El análisis de correlación anual mostró que en seis años hubo una asociación significativa y resultó positiva en tres de ellos. A temperaturas bajas

se realizó un menor número de desembarques y de bajo tonelaje. Cuando la temperatura incrementaba también aumentaba la cantidad de capturas y su peso (Fig. 6-10). Esto podría probar que las temperaturas promedio semanales, a lo largo de un año, representan características generales del hábitat de la anchoveta norteña. La temperatura refleja los cambios estacionales que rigen el ciclo de vida de esta población. La transición de temperatura de invierno-primavera, probablemente sea el disparador para que *E. mordax* migre al sur, y al norte cuando el cambio es de otoño a invierno.

En el período de 1982 a 1984 hubo una correlación negativa entre ambas variables, es decir, a menor temperatura mayor captura y viceversa. Esto pudo ser el resultado de la manifestación del fenómeno de El Niño 1982-1983 (Fig. 13). Cuyo efecto en la temperatura del mar se prolongó hasta 1984 (Fiedler *et al.*, 1986). Durante este período se presentaron anomalías térmicas mayores de 3°C (Simpson, 1983; Lynn, 1983). Debido a que la temperatura regula los procesos metabólicos en los peces (Laevastu y Hayes, 1981), probablemente las temperaturas más elevadas del mar afectaron los ciclos biológicos de los organismos (Tont y Delistraty, 1980). Por ejemplo Fiedler (1984), encontró durante este fenómeno climático que las hembras tuvieron una frecuencia de desove y fecundidad anormal, mientras que los huevos maduraron ligeramente rápido.

El Niño también modifica drásticamente los procesos físicos del océano y consecuentemente los ecosistemas marinos (Cubillos y Arcos, 2002; Macfarlane *et al.*, 2005). En El Niño 1982-1983, la profundidad de la capa de mezcla se incrementó hasta 50 m, lo que causó valores bajos de nutrientes, fitoplancton y zooplancton (Fiedler *et al.*, 1986; Torres-Moye y Alvarez-Borrego, 1985; Castro y Hamman, 1989; Simpson, 1983). La disminución en la densidad y composición del alimento planctónico afecta seriamente la sobrevivencia de las larvas (Lasker, 1975; Lasker, 1978) y los juveniles y adultos también pudieron sufrir por la escasez de presas. Fiedler *et al.*, (1986), encontraron que durante este periodo los organismos tuvieron un crecimiento lento con respecto a 1978-1981.

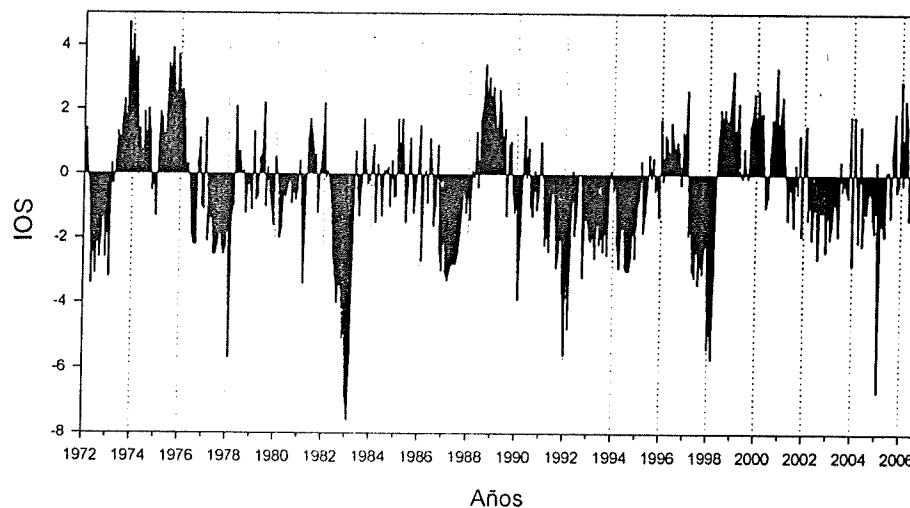


Figura 13. Variación mensual del índice de oscilación del sur durante el periodo 1972 a 2006. Los valores positivos indican La Niña y los valores negativos El Niño.

4.2 Relación entre las capturas de pelágicos menores y las variables ambientales

Dentro del análisis de correlación canónica se observó que las capturas de las especies de pelágicos menores se relacionaron principalmente con el índice de surgencias. Esta es una variable ambiental que promueve los procesos productivos de los cuales dependen los pelágicos menores. Por otro lado, al comparar los valores del índice de surgencias con los desembarques mensuales de la anchoveta, se observó que ambos presentan un comportamiento anual muy similar (Fig. 3 y 12), los máximos picos se dan en junio y julio respectivamente. Cuando se retardó el efecto de las surgencias se apreció un mayor número de correlaciones canónicas, muy probablemente porque los organismos tardan en responder a los cambios en su medio.

Durante el período de tiempo analizado se observó que en los años setenta y ochenta, la captura de la anchoveta fue una variable predominante dentro del análisis de correlación canónica. En las siguientes dos décadas, fueron las capturas de sardina y macarela más constantes y grandes. Este cambio interdecadal de especies responde al colapso de la pesquería de anchoveta y la subsecuente predominancia de la sardina (Fig. 11).

Mantua *et al.*, (1997) mencionan que de 1947 a 1976 hubo un episodio de condiciones frías, después inició una etapa cálida que según Chávez *et al.*,

(2003) finalizó a finales de los años noventa (Fig. 14). Las asociaciones directas entre la captura de la anchoveta y la Oscilación Decadal del Pacífico (1972 y 1999 sin desfase en el tiempo; 1976 con un mes de desfase) coinciden con períodos fríos, mientras que los de la sardina con los cálidos (1989 sin desfase en el tiempo; 1997 un mes de desfase; y 1991 y 1997 dos meses de desfase). Esto sugiere que la alternancia entre estas dos especies se debe a cambios en los regímenes climáticos, a la anchoveta le corresponden períodos fríos mientras que a la sardina los cálidos (Lluch-Belda *et al.*, 1992; Schwartzlose *et al.*, 1999; Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2002; Chávez *et al.*, 2003).

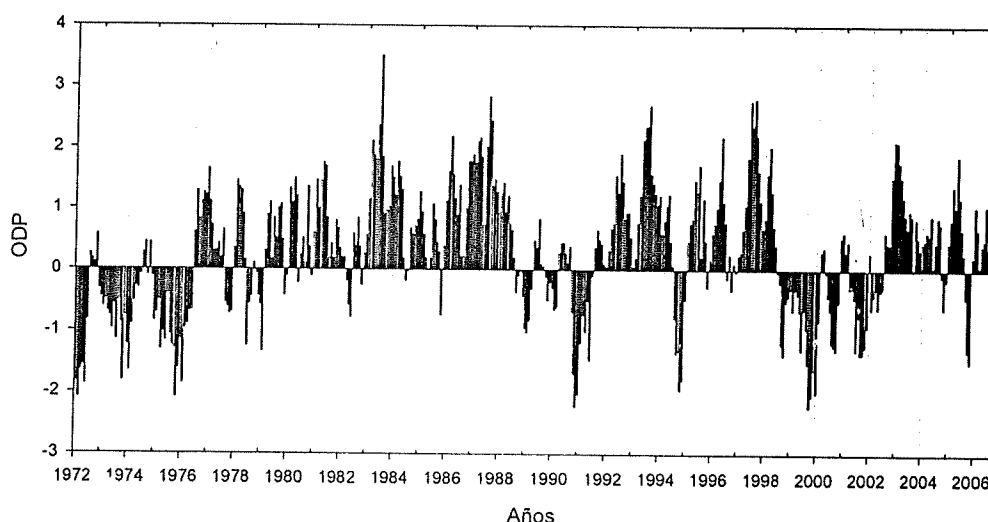


Figura 14. Variación mensual del índice de Oscilación Decadal del Pacífico durante el periodo 1972 a 2006. Los valores positivos indican periodos cálidos y los negativos fríos. Índice graficado a partir de los datos de Mantua *et al.*, (1997).

La abundancia de las especies está regulada por factores intrínsecos (por ejemplo, mortalidad, comportamiento, genética, fisiología, crecimiento) y extrínsecos (clima, depredadores, competencia interespecífica, parásitos, abundancia del alimento, entre otros) (Alvariño, 1980; Tont y Delistraty, 1980). En el caso de los recursos pesqueros también se incorpora la explotación. Por ello debe tomarse en cuenta que además de la Oscilación Decadal del Pacífico, también existen otras causas que pueden alterar la respuestas de las poblaciones al cambio natural del ambiente. Para la anchoveta, en este trabajo, se identificaron tres factores adicionales que pudieron influir en su abrupta disminución al iniciar la década de los noventa.

En el primero se considera que la sobrepesca puede influir en la alternancia interdecadal de la anchoveta y la sardina (Chávez *et al.*, 2003). A continuación se explicará brevemente el desarrollo de la pesquería de anchoveta a través de la disminución en su talla y como esto repercutió en la reproducción de la población.

En 1975, cerca del inicio de la pesquería, la longitud modal fue de 120 mm (Vidal-Talamantes, 1995). Pedrín-Osuna *et al.*, (1992) reportan que para el período de 1974 a 1982, los principales grupos de edad en las capturas fueron de 1, 2 y 3 años, en tanto que los de 4 y 5 años eran reducidos. En 1979 la población mantenía un reclutamiento que permitió el crecimiento de la pesquería hasta los niveles máximos alcanzados entre 1979 y 1981 (Pedrín-

Osuna *et al.*, 1992). En 1981, en promedio la longitud patrón fue de 100 mm y en 1984 cerca de 90 mm (Vidal-Talamantes, 1995). Cuatro años después el 70% de los individuos capturados fueron menores de 100 mm, la mayor parte de ellos alrededor de los 85 mm de longitud patrón (González-Dávila, 1990).

El 50 % de la población de la anchoveta alcanza su madurez gonádica al cumplir dos o tres años de edad (130 mm de longitud patrón), mientras que el 100% de los organismos llega a su madurez sexual a los cuatro años de edad (150 mm de longitud patrón) (Baxter, 1963; Clark y Phillips, 1952). Esto implica que en 1988 la mayor parte de los organismos jamás maduraron ni se reprodujeron (González-Dávila, 1990).

El segundo factor que influyó en la disminución de la captura de anchoveta fue el fenómeno de El Niño 1982-1983 que repercutió negativamente, como ya se explicó en párrafos anteriores.

La población de *E. mordax* estuvo representada principalmente por organismos juveniles a finales de la década de los ochenta. Durante esta etapa de su vida, los organismos son más vulnerables a la competencia y depredación. Por esta razón se propone como última posibilidad que la sardina y la macarela aprovecharon la vulnerable situación de la anchoveta, desplazándola fácilmente de su nicho que a su vez se reflejó en su escasa pesca.

Finalmente, en el análisis de correlación canónica se observó que IOS fue una variable que tuvo pocas asociaciones con las capturas de pelágicos (1976, 1989 y 1999 sin desfase en el tiempo; 1991, 2001 y 2006 con un mes de desfase en el tiempo; y 1972 y 2000 con dos meses de desfase). Al parecer IOS es una variable que influye en las poblaciones de pelágicos menores y en su hábitat cuando El Niño provoca cambios fuertes en el ambiente (Hernández *et al.*, 2004; Lluch-Belda *et al.*, 2005). Aunque no se llevó a cabo el análisis de correlación canónica en 1982 y 1983, muy probablemente se hubiera observado una relación negativa entre IOS y la captura de anchoveta. Pues durante ese lapso de tiempo en el que esta especie fue abundante, se presentó El Niño más severo (Fig. 13).

5. CONCLUSIONES

El estudio de la variabilidad espacio-temporal de la captura de *E. mordax* y su relación con la variabilidad ambiental, permite establecer las siguientes conclusiones.

- La anchoveta migra al norte durante invierno para llevar a cabo su reproducción. En primavera regresa a las costas de Baja California para alimentarse y prepararse para su siguiente ciclo reproductivo. La flota de Baja California podría comenzar la explotación de este recurso en abril y finalizar en octubre. Esta propuesta tiene como finalidad que los barcos no extraigan esta especie del mar cuando es escasa en la región, pues representaría pérdidas económicas. Además se le daría oportunidad a un mayor porcentaje de la población de *E. mordax* para que se reproduzca y mantenga un reclutamiento relativamente constante a través de los años.
- Los mayores volúmenes de captura de la anchoveta se realizan principalmente cerca de las puntas o de la costa y muy rara vez en la parte oceánica. Los barcos deben evitar alejarse de la costa pues el gasto de diésel es mayor y las capturas son pocas y pequeñas. Algunas puntas podrían ser establecidas como áreas de protección al recurso, de esta manera se aumentaría la capacidad de repoblación, así como las

tallas de los organismos y habría exportación de biomasa hacia otros lugares.

- La anchoveta norteña tiene una relación directa con la temperatura. Sin embargo, las anomalías térmicas positivas en el océano pueden influir negativamente en el desarrollo de los organismos de esta especie y también en la estructura de su hábitat. Se recomienda que durante próximos eventos de El Niño se reduzca el esfuerzo pesquero para disminuir la presión sobre el recurso.
- El análisis de correlación canónica indicó que la anchoveta tiene una mayor relación con el índice de surgencias. Por otro lado, *E. mordax* y *S. sagax* se asociaron con ODP durante los periodos fríos y cálidos respectivamente. Si la hipótesis sobre la alternancia de especies es verdadera, entonces deben tomarse en cuenta las propuestas realizadas en los párrafos anteriores para tener un mejor aprovechamiento del recurso.

Literatura citada

- ALVARIÑO, A. 1980. The relation between the distribution of zooplankton predators and anchovy larvae. CalCOFI Rep., 21:150-160.
- ANDERSON, D. W., F. Gress, K. F. Mais y P. R. Kelly. 1980. Brown pelicans as anchovy stock indicators and their relationships to commercial fishing. CalCOFI Rep., 21:54-61.
- ARENAS, P., J. T. Barnes y L. D. Jacobson. 1994. Fishery and biological data for northern anchovy taken in mexican waters, 1978-1989. U.S. Dep. Commer., NOAA, NMFS, SWFSC Admin. Rep., La Jolla, Calif. LJ-94-03, 24 p.
- BAGARINAO, T. y J. R. Hunter. 1983. The visual feeding threshold and action spectrum of northern anchovy (*Engraulis mordax*) larvae. CalCOFI Rep., 24:245-254.
- BAKUN, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946-71. U. S. Dept. of Commerce, NOAA Tech. Rep., NMFS SSRF-671. 103 p.
- BARTON, E. D. y M. L. Argote. 1980. Hydrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1967. Journal of Marine Research, 38:631-649.
- BAUMGARTNER, T. R., A. Soutar y 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. CalCOFI Rep., 33:24-40.
- BAXTER, J. L. 1963. Summary of biological information on the northern anchovy *Engraulis mordax* Girard. CalCOFI Rep., 11:110-116.
- BREWER, G. D. y P. E. Smith. 1982. Northern anchovy and Pacific sardine spawning off southern California during 1978-80: Preliminary

observations on the importance of nearshore coastal region. CalCOFI Rep., 23:160-171.

- CASTRO, L. E. y M. G. Hamman. 1989. Biomasa y composición general de la comunidad de zooplankton en la Bahía de Todos Santos B. C., México, durante el evento de El Niño 1982-1983. Ciencias Marinas, 15:1-20.
- CHÁVEZ, F. P., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota y M. Niguen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. Science, 299:217-221.
- CHÁVEZ, H., S. Silva y J. S. Sunada. 1977. The fishery for northern anchovy, *Engraulis mordax*, off California and Baja California in 1975. CalCOFI Rep., 19:147-165.
- CHIAPPA-CARRARA, X. y M. Gallardo-Cabello. 1993. Estudio del régimen y hábitos alimentarios de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard (Pisces:Engraulidae), en Baja California, México. Ciencias Marinas, 19:285-305.
- CHIAPPA-CARRARA, X., M. Gallardo-Cabello y M. Jacob-Cervantes. 1989. Análisis del régimen alimentario de tres poblaciones de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard (Pisces: Engraulidae), en el norte de Baja California. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 16:361-377.
- CLARK, F. N. y J. E. Phillips. 1952. The northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California fishery. California Fish and Game, 38:189-207.
- COLLINS, R. A. y J. D. Spratt. 1969. Age determination of northern anchovies *Engraulis mordax* from otoliths. California Fish and Game Fisheries Bulletin, 147:39-55.
- COTERO-ALTAMIRANO, C. E. y Y. Green-Ruiz. 1997. Spawning biomass of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the Gulf of California during 1991. CalCOFI Rep., 38:171-179.

- CUBILLOS, L. A. y D. F. Arcos. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s and the impact of the 1997-1998 El Niño. *Aquatic Living Resources*, 15:87-94.
- CURTIS, A. K. 2004. Fine scale spatial pattern of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) eggs. *Fisheries Oceanography*, 13:239-254.
- CUSHING, D. H. 1975. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press. 278 p.
- DANIEL, W. W. 2000. *Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud*. Limusa, D. F. 878 p.
- DÍAZ-JAIMES, P., M. Uribe-Alcocer y E. Ayala-Duval. 1999. Variación electroforética entre las poblaciones central y sureña de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard 1854 (Engraulidae, Pisces) de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 25:579-595.
- DURAZO, R., G. Gaxiola-Castro, B. Lavaniegas, R. Castro-Valdez, J. Gómez-Valdés y A. S. Mascarenhas Jr. 2005. Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002-2003: Influencia de un El Niño débil y del incremento de agua subártica. *Ciencias Marinas*, 31:537-552.
- FIEDLER, P. C. 1983. Satellite remote sensing of the habitat of spawning anchovy in the Southern California Bight. *CalCOFI Rep.*, 24:202-209.
- FIEDLER, P. C. 1984. Some effects of El Niño 1983 on the northern anchovy. *CalCOFI Rep.*, 25:53-58.
- FIEDLER, P. C. 1986. Offshore entrainment of anchovy spawning habitat, eggs, and larvae by displaced eddy in 1985. *CalCOFI Rep.*, 27:144-152.
- FIEDLER, P. C., R. D. Methot y R. P. Hewitt. 1986. Effects of California El Niño 1982-1984 on the northern anchovy. *Journal of Marine Research*, 44:317-338.

- GALLARDO-CABELLO, M. 1983. Determinación de la edad de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard, en aguas del Baja California Norte (Pisces: Engraulidae). Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 12:221-233.
- GARCÍA-FRANCO, W., R. Vidal-Talamantes, A. Cota-Villavicencio, J. Ramón-Corrales y I. Prieto-Montalvo. 1999. Variation in the fat content of northern anchovy (*Engraulis mordax*) in relation to the Baja California environment. CalCOFI Rep., 40:165-169.
- GONZÁLES-DÁVILA, G. 1990. Edad óptima de captura según el método de Allen y propuesta de talla mínima legal para la anchoveta nortea *Engraulis mordax* Girard, 1856. Ciencias Marinas, 16:129-153.
- GOULD, J. L. y G. F. Gould. 2002. Biostats Basics. W. H. Freeman and Company, USA. 421 p.
- HARDEN JONES, F. R. 1968. Fish Migration. Edward Arnold Publishers, London. 325 p.
- HAURY, L. R., E. L. Venrick, C. L. Fey, J. A. McGowan y P. Niller Pearn. 1993. The Ensenada front: july 1985. CalCOFI Rep., 34:70-88.
- HEDGECOCK, D., E. S. Hutchinson, G. Li, F. I. Sly y K. Nelson. 1994. The central stock of northern anchovy (*Engraulis mordax*) is not a randomly mating population. CalCOFI Rep., 35:121-136.
- HERNÁNDEZ, B., G. Gaxiola-Castro y S. Nájera- Martínez. 2004. Efectos del ENSO en la producción primaria frente a Baja California. Ciencias Marinas, 30:427-441.
- HERNÁNDEZ-VAZQUEZ, S. 1987. Pesquerías pelágicas y neríticas de la costa occidental de Baja California, México. CalCOFI Rep., 28:53-56.
- HUNTER, J. 1976. Behavior and survival of northern anchovy *Engraulis mordax* larvae. CalCOFI Rep., 19:138-146.

- HUNTER, J. R. y B. J. Macewicz. 1980. Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency, and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season. CalCOFI Rep., 21:139-149.
- HUNTER, J. R. y H. Dorr. 1982. Thresholds for filter feeding in northern anchovy, *Engraulis mordax*. CalCOFI Rep., 23:198-204.
- JEAN-DIDIER, O. y J. M. Conrad. 1994. An open-access analysis of the northern anchovy fishery. Journal of Environmental Economics and Management, 27:21-37.
- JIMÉNEZ, L. C., M. G. Hamman y M. T. Gutierrez. 1985. Depredación sobre estadíos tempranos de la anchoveta nortea (*Engraulis mordax* Girard) en la zona costera de playa San Ramón, Baja California, México. Ciencias Marinas, 11:49-63.
- JOBSON, J. D. 1992. Applied Multivariate Data Analysis Vol. II: Categorical and Multivariate Methods. Springer-Verlag, New York. 611 p.
- JOHNSON, D. E. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores, México D. F. 566 p.
- JOHNSON, R. A. y D. W. Wichern. 1992. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, New Jersey E. U. A. 642 p.
- LAEVASTU, T. y M. L. Hayes. 1981. Fisheries Oceanography and Ecology. Fishing News Books Ltd., UK. 202 p.
- LASKER, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: The relation between inshore chlorophyll maximum layers and succesful first feeding. Fishery Bulletin, 73:453-462.
- LASKER, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and laraval anchovy food in the California Current: Identification of factors contributing to recruitment failure. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 173:212-230.

- LECOMTE, F., W. S. Grant, J. J. Dodson, R. Rodríguez-Sánchez y B. W. Bowens. 2004. Living with uncertainty: genetic imprints of climate shifts in East Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Molecular Ecology*, 13:2169-2182.
- LEONG, R. J. H. 1989. Sperm concentrations and egg fertilization rates during spawning of captive anchovy, *Engraulis mordax*. *CalCOFI Rep.*, 30:136-139.
- LLUCH-BELDA, D., S. Hernández-Vazquez, D. B. Lluch-Cota, C. A. Salinas-Zavala y R. A. Schwartzlose. 1992. The recovery of the California sardine as related to global change. *CalCOFI Rep.*, 33:50-59.
- LLUCH-BELDA, D., D. B. Lluch-Cota, S. Henández-Vazquez, C. A. Salinas-Zavala y R. A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. *CalCOFI Rep.*, 32:105-111.
- LLUCH-BELDA, D., D. B. Lluch-Cota y S. E. Lluch-Cota. 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography*, 14:458-467.
- LO, N. C. H. y R. D. Methot. 1989. Spawning biomass of the northern anchovy in 1988. *CalCOFI Rep.*, 30:18-31.
- LYNN, R. J. 1966. Seasonal variation of temperature and salinity at 10 meters in the California Current. *CalCOFI Rep.*, 11:157-186.
- LYNN, R. J. 1983. The 1982-1983 warm episode in the California Current. *Geophysical Research Letters*, 10:1093-1095.
- LYNN, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92:12947-12966.
- MACCALL, A. 1973. The mortality rate of *Engraulis mordax* in Southern California. *California Department Fish and Game*, 17:131-135.

- MACFARLANE, B. R., S. Ralston, C. Royer y E. C. Norton. 2005. Juvenil chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) growth on the central California coast during the 1998 El niño and 1999 La niña. *Fisheries Oceanography*, 14:321-332.
- MAIS, K. F. 1974. Pelagic fish surveys in the California Current. California Department Fish and Game Fish Bulletin, 162:1-79.
- MAIS, K. F. 1981. Age-composition changes in the anchovy, *Engraulis mordax*, central population. *CalCOFI Rep.*, 22:82-87.
- MANTUA, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace y R. C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:1069-1079.
- MCCLAIN, E. P., W. G. Pichel y C. C. Walton. 1985. Comparative Performance of AVHRR-Based Multichannel Sea Surface Temperatures. *Journal of Geophysical Research*, 90:11587-11601.
- MOSER, H. G. y T. Pommeranz. 1999. Vertical distribution of eggs and larvae of northern anchovy, *Engraulis mordax*, and of the larvae of associated fishes at two sites in the Southern California Bight. *Fishery Bulletin*, 97:920-943.
- NELSON, K., E. S. Hutchinson, G. Li, F. I. Sly y D. Hedgecock. 1994. Variation in the life history and morphology in northern anchovies (*Engraulis mordax*). *CalCOFI Rep.*, 35:108-120.
- PEDRÍN-OSUNA, O., Ma. L. Granados-Gallegos y A. Cota-Villavicencio. 1992. Tasas de explotación y mortalidad por pesca de la anchoveta nortea (*Engraulis mordax*), para el periodo de 1974 a 1989. *Ciencias Marinas*, 18:97-113.
- PETERSON, B., R. Emmet, R. Goericke, E. Venrick, A. Mantyla, S. J. Bograd, F. B. Scwing, S. Ralston, K. A. Forney, R. Hewitt, N. C. H. Lo, W. Watson, J. Barlow, M. Lowry, B. E. Lavaniegos, F. Chavez, W. J. Sydeman, D. Hyrenbach, R. W. Bradley, P. Warzybok, K. Hunter, S.

- Benson, M. Weise y J. Harvey. 2006. The state of the California Current, 2005-2006: Warm in the north, cool in the south. CalCOFI Rep., 47:30-74.
- RADOVICH, J. y A. D. MacCall. 1979. A management model for the central stock of the northern anchovy, *Engraulis mordax*. CalCOFI Rep., 20:83-88.
- REID, J. L. 1958. Oceanography of the northeastern Pacific Ocean during the last ten years. CalCOFI Rep., 7:77-90.
- RENCER, A. C. 2001. Methods of Multivariate Analysis. Wiley-Interscience, E.U. A. 715 p. p.
- ROBINSON, C. J. 2004. Responses of the northern anchovy to the dynamics of the pelagic environment: identification of fish behaviors that may leave the population under risk of overexploitation. Journal of Fish Biology, 64:1072-1087.
- RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos y S. Ortega-García. 2002. Dynamic geography of small pelagic fish populations in the California Current System on the regime time scale (1931- 1977). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 59:1980-1988.
- SCHWARTZLOSE, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford, W. J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. E. Lluch-Cota, A. D. MacCall, Y. Matsuura, M. O. Nevarez-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N. Ward y J. Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. South African Journal of Marine Science, 21:289-347.
- SCHWARTZLOSE, R. A. y J. L. Reid. 1972. Near-shore circulation in the California Current. CalCOFI Rep., 16:57-65.
- SCHWING, F. B., M. O'Farrel, J. M. Steger y K. Baltz. 1996. Coastal upwelling indices west coast of North America 1946-1995. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-231, Pacific Grove, California. 32 p.

- SIMPSON, J. J. 1983. Large-scale thermal anomalies in the California Current during 1982-1983 El Niño. *Geophysical Research Letters*, 10:937-940.
- SINGEL, R. P. y W. Rockwell. 1991. Transient eddy formation around headlands. *Journal of Geophysical Research*, 96:2561-2575.
- SMITH, P. E. 1972. The increase in spawning biomass of northern anchovy *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 70:849-874.
- SMITH, D., W. Wall, Z. Chen, R. Barnes y B. Simons. 1995. Surface mapping system. Surfer (win 32) ver. 6.01. Golden Software. Colorado.
- SPRATT, J. D. 1975. Growth rate of the northern anchovy, *Engraulis mordax*, in southern California waters, calculated from otoliths. *California Fish and Game*, 61:116-126.
- SQUIRE, J. L. 1978. Northern anchovy school shapes as related to problems in school size estimation. *Fishery Bulletin*, 76:443-447.
- STAUFFER, G. D. 1980. Estimate of the spawning biomass of the northern anchovy central subpopulation for the 1979-80 fishing season. *CalCOFI Rep.*, 21:17-22.
- SUNADA, J. S. y S. Silva. 1980. The fishery for norther anchovy, *Engraulis mordax*, off California and Baja California in 1976 y 1977. *CalCOFI Rep.*, 21:132-138.
- SVERDRUP, H. V., M. W. Johnson y R. H. Fleming. 1942. *The Oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, Inc., New York. 1087 p.
- TONT, S. A. y D. A. Delistraty. 1980. The effects of climate on terrestrial and marine populations. *CalCOFI Rep.*, 21:85-89.

- TORRES-MOYE, G. y S. Alvarez-Borrego. 1985. Efectos de El Niño en los nutrientes y el fitoplancton de verano de 1983, en aguas costeras de Baja California. *Ciencias Marinas*, 11:107-113.
- TRUJILLO-ORTIZ, A., R. Hernández-Walls, A. Castro-Perez, A. Agundez-Amador, J. C. Solis-Bautista, E. Romero-Hernández y L. Huerta-Tamayo. 2004. ACAPE: Canonical correlation analysis. A MATLAB file. [WWW document]. URL <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=5230&objectType=FILE>.
- URIBE-ALCOCER, M., N. Valdés-Morales, P. Díaz-Jaimes, Y. Hornelas-Orozco y V. Arenas. 1996. Comparación de los cariotipos de las poblaciones central y sureña de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard 1854 (Engraulidae, Pisces). *Ciencias Marinas*, 22:361-376.
- VIDAL-TALAMANTES, R. 1989. Anchoveta. In: M. Siri and P. Moctezuma (Editors), *La Pesca en Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali B. C., pp. 35-42.
- VIDAL-TALAMANTES, R. 1991. Variaciones en la composición por edades de la captura de anchoveta (*Engraulis mordax*) y alternativas para el manejo del recurso. *Ciencias Marinas*, 17:73-89.
- VIDAL-TALAMANTES, R. 1995. Desarrollo de la pesquería de anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) en Baja California durante el periodo 1972-1992. *Ciencias Marinas*, 21:243-263.
- VROOMAN, A. M., P. A. Paloma y R. Jordan. 1966. Experimental tagging of the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *California Fish and Game*, 52:228-239.
- VROOMAN, A. M. y P. E. Smith. 1970. Biomass of the subpopulations of northern anchovy *Engraulis mordax* Girard. *CalCOFI Rep.*, 15:49-51.
- WILKERSON, F. P., A. M. Lassiter, R. C. Dugdale, A. Marchi y V. E. Hogue. 2006. The phytoplankton bloom response to wind events and upwelled nutrients during the CoOP WEST study. *Deep-Sea Research*, 53:3023-3048.

WOOD, R. y R. A. Collins. 1969. First report of anchovy tagging in California. California Fish and Game, 55:141-148.

WROBLEWSKI, J. S., J. G. Richman y G. L. Mellor. 1989. Optimal wind conditions for the survival of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*: A modeling investigation. Fishery Bulletin, 87:387-398.

ZAR, J. H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey. 998 p.

ANEXO

Calculo del Índice de Oscilación del Sur

Este índice se obtiene a partir de la desviación estándar de la presión atmosférica de Tahití (DET) y Darwin (DED) como:

$$DET = \sqrt{\frac{\sum AT^2}{n}} \quad (12), \quad DED = \sqrt{\frac{\sum AD^2}{n}}$$

Donde n es igual al número de meses, mientras que AT o AD son las anomalías en Tahití y Darwin respectivamente, también representan la diferencia entre la presión atmosférica al nivel del mar actual (PNMA) y la presión atmosférica al nivel del mar promedio (PNMP). La estandarización de la presión atmosférica de Tahití (ET) y Darwin (ED) es:

$$ET = \frac{PNMA - PNMP}{DET}, \quad ED = \frac{PNMA - PNMP}{DED}$$

Posteriormente se calcula la desviación estándar mensual (DEM):

$$DEM = \sqrt{\frac{\sum (ET - ED)^2}{n}}$$

Finalmente el índice de oscilación del sur (IOS), se calcula como:

$$IOS = \frac{ET - ED}{DEM}$$

Detalle estadístico del contraste mensual entre IP y CC. La cuarta y quinta columna corresponden a la suma de rangos de IP Y CC respectivamente. En la última columna se señala cuando la captura fue mayor en IP. El valor crítico de $X^2_{0.1,2}$ es igual a 2.706.

Año	Mes	n en IP	n en CC	R LC	R CC	H calc	IP con mayores capturas
78	Junio	2	4	7	14	6.0	
	Agosto	2	6	8	28	6.1	
	Septiembre	3	1	9	1	7.8	√
	Octubre	5	3	24	12	6.2	√
	Noviembre	6	4	35	20	6.2	√
	Diciembre	3	3	10	11	6.0	
79	Abril	2	3	5	10	6.3	
	Mayo	9	10	109	81	8.4	√
	Junio	4	9	21	70	7.2	
	Julio	3	4	15	13	7.1	√
	Agosto	4	9	31	60	6.2	
	Septiembre	2	5	4	24	8.4	
	Octubre	7	7	66	39	9.0	√
	Noviembre	6	6	34	44	6.6	
80	Diciembre	6	5	44	22	8.1	√
	Mayo	5	7	24	54	7.9	
	Junio	6	11	75	77	9.9	
	Julio	10	7	78	75	7.4	√
	Agosto	7	3	42	13	6.6	√
	Septiembre	13	7	115	95	8.9	√
	Octubre	6	5	41	25	6.8	√
	Noviembre	5	6	36	30	7.2	√
81	Diciembre	4	6	25	30	6.4	
	Enero	4	2	18	3	9.4	√
	Abril	4	5	25	20	7.5	√
	Mayo	10	5	77	43	6.1	√
	Junio	10	4	94	11	13.2	√
	Julio	9	3	62	16	6.4	√
	Agosto	7	3	40	15	6.1	√
	Septiembre	9	6	71	48.5	5.6	√
82	Octubre	5	5	26	29	6.1	
	Abril	4	1	11	4	6.5	
	Mayo	7	6	65	25	10.7	√
	Junio	11	6	110	43	7.2	√
	Julio	12	9	152	79	8.0	√
	Agosto	9	7	94	42	9.4	√
	Septiembre	2	2	5	5	6.0	
	Octubre	4	5	24	21	7.0	√
	Noviembre	6	5	36	30	6.0	√
	Diciembre	4	3	21	7	9.1	√

Detalle estadístico del contraste mensual entre IP y CC (continuación).

Año	Mes	n en IP	n en CC	R LC	R CC	H calc	IP con mayores capturas
83	Mayo	4	2	10	11	9.4	
	Junio	2	7	5.5	39.5	7.7	
	Julio	4	1	10	5	8.0	√
	Octubre	5	3	28	8	8.7	√
	Octubre	5	3	28	8	8.7	√
84	Mayo	5	4	26	19	6.1	√
	Junio	4	9	23	68	6.6	
	Julio	5	6	36	30	7.2	√
	Octubre	6	3	36	8	7.6	√
	Noviembre	3	3	12	9	6.4	√
85	Abril	5	4	28	17	6.5	√
	Mayo	7	4	46	20	6.6	√
	Mayo	7	4	46	20	6.6	√
	Junio	6	4	36	19	6.4	√
	Agosto	8	4	53	25	6.0	√
	Octubre	3	2	11	4	7.3	√
	Octubre	3	2	11	4	7.3	√
	Noviembre	2	7	4	41	9.1	
86	Noviembre	2	7	4	41	9.1	
	Abril	3	2	10	5	6.3	√
	Junio	5	5	31	24	6.5	√
	Julio	5	7	31	47	6.1	
	Agosto	4	5	25	20	7.5	√
	Septiembre	3	4	9	19	7.1	
87	Octubre	3	2	10	5	6.3	√
	Abril	2	2	5	5	6.0	
	Mayo	5	3	23	12	4.6	√
	Junio	5	4	26	19	6.1	√
	Julio	6	2	28	8	6.1	√
	Agosto	4	4	20	16	6.3	√
	Septiembre	5	3	22	14	6.0	√
	Octubre	5	5	22	33	7.3	
88	Noviembre	2	1	4	2	6.0	√
	Mayo	7	1	31	5	6.0	√
	Junio	6	4	39	16	7.6	√
	Julio	2	4	5	16	6.9	
	Septiembre	1	5	2	19	6.8	
	Octubre	2	1	1	5	19.5	
89	Noviembre	1	1	2	1	7.0	
	Abril	3	2	7	8	7.3	
	Mayo	4	3	16	12	6.0	
	Septiembre	2	3	9	6	9.0	√

Detalle estadístico del contraste mensual entre IP y LC. La cuarta y quinta columna corresponden a la suma de rangos de IP Y LC respectivamente. En la última columna se señala cuando la captura fue mayor en IP. En 1989 la pesca de la Pesquera Zapata sólo se realizó en IP y CC, por lo tanto este análisis estadístico llega hasta 1988. El valor crítico de $X^2_{0.1,2}$ es igual a 2.706.

Año	Mes	n en IP	n en CC	R LC	R CC	H calc	IP con mayores capturas
78	Junio	2	5	12	16	8.4	
	Agosto	2	3	3	12	9.0	
	Octubre	5	6	35	31	6.8	√
79	Abril	2	4	7	14	6.0	
	Mayo	9	3	64	14	7.0	√
	Junio	4	10	27.5	77.5	6.1	
	Julio	3	3	15	6	9.9	√
	Agosto	4	5	13	32	8.9	
	Septiembre	2	8	8	47	6.6	
	Octubre	7	2	38	7	6.8	√
	Diciembre	6	1	26	2	7.0	√
80	Mayo	3	5	17	19	7.1	
	Junio	6	3	38	7	10.3	√
	Julio	10	1	58	8	6.4	√
	Septiembre	13	2	101	19	6.3	√
	Octubre	6	4	29	26	6.7	√
	Noviembre	5	3	22	14	6.0	√
	Diciembre	4	7	29	37	6.9	
81	Abril	4	8	26	52	6.0	
	Mayo	10	3	72	19	6.1	√
	Junio	10	2	74	4	9.7	√
	Julio	9	1	53	2	7.5	√
	Agosto	7	4	52	14	9.6	√
	Septiembre	9	1	52	3	6.8	√
	Octubre	5	3	22	14	6.0	√
82	Junio	11	1	69	9	6.5	√
	Julio	12	1	78	13	8.6	√
	Noviembre	6	2	26	10	6.1	√
83	Septiembre	4	2	15	6	6.2	√
	Octubre	5	2	25	3	9.8	√
84	Mayo	5	3	25	11	6.6	√
	Junio	4	2	17	4	7.9	√
	Julio	5	3	24	12	6.2	√
85	Abril	5	2	21	7	6.2	√
	Agosto	8	2	46	9	6.3	√
	Noviembre	2	3	3	12	9.0	
	Noviembre	2	3	3	12	9.0	
86	Abril	3	2	10	5	6.3	√
87	Noviembre	2	1	4	2	6.0	√
88	Septiembre	1	1	1	2	7.0	